



Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft



Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser

Dokumentation der Methoden und Meßdaten des
Entwicklungsvorhabens 1988-1992

Materialien Nr.40 (August 1994)

Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser

Dokumentation der Methoden und Meßdaten des
Entwicklungsvorhabens 1988-1992

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstr. 67, D-80636 München

Gesamtredaktion: Dipl.-Ing.(FH) Klaus Moritz, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Dipl.-Geol. Dr. Jochen Bittersohl, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Dipl.-Chem. Dr. Franz-Xaver Müller, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Dipl.-Geoök. Marianne Krebs, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Projektleitung: Dipl.-Ing. Helmut Sager, Leitender Baudirektor, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Bearbeitung: Dipl.-Ing.(FH) Wolfgang von Bohlen, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Dipl.-Ing.(FH) Martin Pfaffinger, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Dipl.-Forstrat Dr. Christian Kölling, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
Dipl.-Geol. Dr. Michael T. Zahn, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Druck: Gebr. Parcus KG, München
Für den Druck wurde Recycling-Papier aus 100% Altpapieranteilen verwendet.

Vorwort

Gebiete abseits landwirtschaftlicher und urbaner Nutzung galten bis in jüngste Zeit als weitgehend unbelastet und die dortigen Grundwasservorkommen als qualitativ hochwertig. Der dort verbreitete Wald sorgt mit seinen Böden für eine Vorfilterung des Niederschlagswassers und dämpft den Abfluß. Er ist jedoch nur begrenzt in der Lage, Schadstoffeinträge aus der Luft zurückzuhalten. Über Stofftransporte mit dem Sickerwasser kann die Qualität des Grundwassers verändert werden. Unter Umständen werden Trinkwasserressourcen gefährdet und Wasserversorgungsanlagen in ihrer Betriebssicherheit beeinträchtigt.

Mit besonderem Augenmerk auf die Versauerung des Grundwassers wird die wasserwirtschaftliche Bedeutung dieser Vorgänge für Bayern seit 1986 vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft gemeinsam untersucht. Einige Wasserwirtschaftsämter haben bei den umfangreichen Datenerhebungen mitgeholfen. Die vorliegende Methoden- und Datendokumentation bildet die Grundlage für eine nachfolgende Abschlußauswertung zur "Grundwasserversauerung in Bayern". Die Dokumentation soll zum einen die fachlichen Grundlagen der Arbeiten am grundwasserbezogenen Wasser- und Stoffkreislauf aufzeigen, zum anderen soll das vielfältige Datenmaterial den Fachinteressenten aus Praxis und Wissenschaft Möglichkeiten für Datenvergleiche und weiterführende Untersuchungen bieten.

Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft
München, im Mai 1994

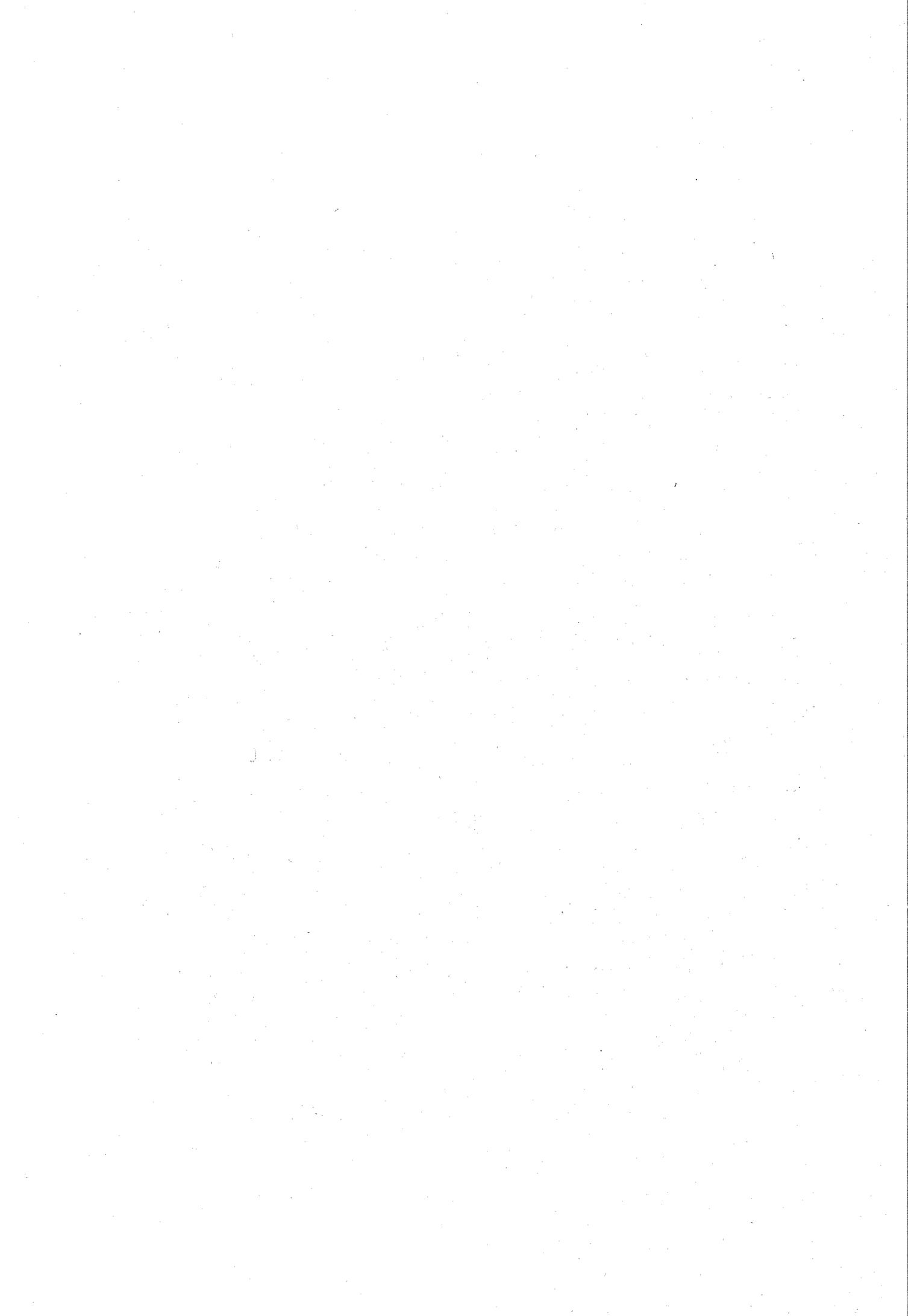


Dipl.-Ing. H. Sager
Ltd. Baudirektor

Bayerische Landesanstalt
für Wald und Forstwirtschaft
Freising, im Mai 1994



Dr. G. Braun
Ltd. Forstdirektor



Inhaltsverzeichnis

Seite

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	12
1. Einleitung.....	23
1.1 Anlaß und Bedeutung des Untersuchungsprogramms....	23
1.2 Untersuchungskonzept.....	26
2. Beschreibung der Regionen und der Modell-Untersuchungsgebiete.....	32
2.1 Beschreibung der Regionen.....	32
2.1.1 Spessart.....	33
2.1.2 Frankenwald.....	34
2.1.3 Fichtelgebirge.....	34
2.1.4 Oberpfälzer Wald.....	35
2.1.5 Bayerischer Wald.....	36
2.1.6 Münchener Schotterebene.....	37
2.2 Beschreibung der Modell-Untersuchungsgebiete.....	37
2.2.1 Metzenbach/Birkwasser.....	37
2.2.2 Lehstenbach.....	44
2.2.3 Markungsgraben.....	51
2.2.4 Ebersberger Forst.....	57
3. Methoden.....	64
3.1 Forstinventur.....	64
3.2 Waldzustand.....	65
3.2.1 Luftbildinventur.....	66
3.2.2 Terrestrische Erfassung.....	67
3.3 Deposition und Klima.....	68
3.3.1 Erfassung der Deposition.....	69
3.3.2 Berechnung der Gebietsdeposition.....	72
3.3.3 Klimamessung.....	77
3.4 Boden und tiefere Sickerzone.....	79
3.4.1 Standortkartierung.....	79
3.4.2 Sickerwasser.....	80
3.4.3 Bodenchemie.....	84
3.4.4 Bodenphysik.....	87

3.5	Grundwasser und Quellen.....	90
3.5.1	Hydrogeologische Untersuchungen.....	90
3.5.2	Modell-Untersuchungsgebiete.....	91
3.5.3	Roh- und Reinwasser der Wasserversorgungen.....	92
3.6	Oberirdische Gewässer.....	93
3.6.1	Gewässerchemie und Stoffaustrag.....	93
3.6.2	Kieselalgen.....	95
3.7	Wasseranalytik.....	98
3.7.1	Analyseparameter und Analyseverfahren.....	98
3.7.2	Plausibilitätskontrollen.....	103
3.8	Art und Umfang der Datendarstellung.....	109
4.	Meßergebnisse.....	111
4.1	Region Spessart.....	111
4.1.1	Situation der Wasserversorgungen Region Spessart.....	111
4.1.2	Modell-Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	133
4.1.2.1	Forstinventur und Waldzustand.....	133
4.1.2.2	Deposition.....	136
4.1.2.3	Boden und tiefere Sickerzone.....	143
4.1.2.3.1	Standortbeschreibung.....	143
4.1.2.3.2	Sickerwasser.....	143
4.1.2.3.3	Bodenchemie.....	153
4.1.2.3.4	Bodenphysik.....	160
4.1.2.4	Grundwasser und Quellen.....	162
4.1.2.5	Oberirdische Gewässer.....	169
4.1.2.5.1	Gewässerchemie und Stoffaustrag.....	169
4.1.2.5.2	Kieselalgen.....	173
4.2	Region Frankenwald.....	175
4.2.1	Situation der Wasserversorgungen Region Frankenwald.....	175
4.3	Region Fichtelgebirge.....	192
4.3.1	Situation der Wasserversorgungen Region Fichtelgebirge/Steinwald.....	192
4.3.2	Modell-Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	219
4.3.2.1	Forstinventur und Waldzustand.....	219
4.3.2.2	Deposition.....	222
4.3.2.3	Boden und tiefere Sickerzone.....	228
4.3.2.3.1	Standortbeschreibung.....	228
4.3.2.3.2	Sickerwasser.....	229
4.3.2.3.3	Bodenchemie.....	239
4.3.2.3.4	Bodenphysik.....	247
4.3.2.4	Grundwasser und Quellen.....	249
4.3.2.5	Oberirdische Gewässer.....	256
4.3.2.5.1	Gewässerchemie und Stoffaustrag.....	256
4.3.2.5.2	Kieselalgen.....	260

4.4	Region Oberpfälzer Wald.....	261
4.4.1	Situation der Wasserversorgungen Region Oberpfälzer Wald.....	261
4.5	Region Bayerischer Wald.....	274
4.5.1	Situation der Wasserversorgungen Region Bayerischer Wald.....	274
4.5.2	Modell-Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	297
4.5.2.1	Forstinventur und Waldzustand.....	297
4.5.2.2	Deposition.....	300
4.5.2.3	Boden und tiefere Sickerzone.....	306
4.5.2.3.1	Standortbeschreibung.....	306
4.5.2.3.2	Sickerwasser.....	307
4.5.2.3.3	Bodenchemie.....	315
4.5.2.3.4	Bodenphysik.....	318
4.5.2.4	Grundwasser und Quellen.....	320
4.5.2.5	Oberirdische Gewässer.....	327
4.5.2.5.1	Gewässerchemie und Stoffaustrag.....	327
4.5.2.5.2	Kieselalgen.....	331
4.6	Region Münchener Schotterebene.....	332
4.6.1	Situation der Wasserversorgungen Region Münchener Schotterebene.....	332
4.6.2	Modell-Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	333
4.6.2.1	Forstinventur und Waldzustand.....	333
4.6.2.2	Deposition.....	336
4.6.2.3	Boden und tiefere Sickerzone.....	342
4.6.2.3.1	Standortbeschreibung.....	342
4.6.2.3.2	Sickerwasser.....	342
4.6.2.3.3	Bodenchemie.....	351
4.6.2.3.4	Bodenphysik.....	354
4.6.2.4	Grundwasser und Quellen.....	356
4.6.2.5	Oberirdische Gewässer.....	360
5.	Schlußfolgerung.....	361
5.1	Bedeutung der Methoden in der praktischen Anwendung.....	361
5.2	Folgerungen im Bereich der Wasserversorgung.....	365
5.3	Ausblick.....	367
6.	Zusammenfassung.....	369
7.	Literatur.....	375
Anhang.....		382

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 1:	Lage der untersuchten Wasserversorgungen und Modell-Untersuchungsgebiete.....	28
Abb. 2:	Konzept einer Integrierten Meßstelle.....	30
Abb. 3:	Lage der Meßstellen im Modell-Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	39
Abb. 4:	Lage der Meßstellen im Modell-Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	46
Abb. 5:	Lage der Meßstellen im Modell-Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	53
Abb. 6:	Lage der Meßstellen im Modell-Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	59
Abb. 7:	Schema der Depositionsprozesse und Erfassungsmethoden.....	68
Abb. 8:	Klimastation mit Tensiometermeßfeld und Grundwasser-Meßeinheit.....	78
Abb. 9:	Beziehungen zwischen Saugspannung und Porengröße und die daraus abgeleiteten Wasserbindungsformen und Speicherkapazitäten.....	88
Abb. 10:	Organisation von Probennahme, Versand und Laborvorbereitung.....	100
Abb. 11:	Fehler der Ionenbilanz in Abhängigkeit der Ionensumme aller Grundwasserproben der drei nord- und ostbayerischen Modell-Untersuchungsgebiete...	106
Abb. 12:	Zusammenhang von berechneter und gemessener el. Leitfähigkeit für alle vollständigen Sickerwasseranalysen.....	107
Abb. 13:	Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Spessart im hydrologischen Jahr 1989.....	114
Abb. 14:	Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Spessart.....	132
Abb. 15:	Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Niederschlag im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser (1988 - 1992).....	137

Abb. 16:	Tiefenprofile der Summenkonzentrationen von Aluminium und Mangan bzw. Calcium und Magnesium im Vergleich zum %-Anteil an austauschbaren Basenkationen, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01.....	144
Abb. 17:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe.....	149
Abb. 18:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01, 200 cm Tiefe.....	150
Abb. 19:	Tiefenprofil der Austauscherbelegung, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01.....	154
Abb. 20:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Grundwasser, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßstelle 01.....	164
Abb. 21:	Ganglinien ausgewählter Parameter der Metzenbachquelle.....	168
Abb. 22:	Ganglinien ausgewählter Parameter am Pegel Metzenbach.....	172
Abb. 23:	Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Frankenwald im hydrologischen Jahr 1989.....	178
Abb. 24:	Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Frankenwald.....	191
Abb. 25:	Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Fichtelgebirge im hydrologischen Jahr 1989.....	195
Abb. 26:	Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Fichtelgebirge.....	218
Abb. 27:	Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Niederschlag im Untersuchungsgebiet Lehstenbach (1988 - 1992).....	223
Abb. 28:	Tiefenprofile der Summenkonzentrationen von Aluminium und Mangan bzw. Calcium und Magnesium im Vergleich zum %-Anteil an austauschbaren Basenkationen, Untersuchungsgebiet Lehstenbach Meßfläche 01.....	230
Abb. 29:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe.....	233

Abb. 30:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01, 200 cm Tiefe.....	234
Abb. 31:	Tiefenprofil der Austauschbelegung, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 05 (gekalkte Braunerde).....	240
Abb. 32:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Grundwasser, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01....	251
Abb. 33:	Ganglinien ausgewählter Parameter der Quelle Schlößnerbrunnen, Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	255
Abb. 34:	Ganglinien ausgewählter Parameter am Pegel Lehstenbach.....	259
Abb. 35:	Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Oberpfälzer Wald im hydrologischen Jahr 1989.....	264
Abb. 36:	Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Oberpfälzer Wald.....	273
Abb. 37:	Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Bayerischer Wald im hydrologischen Jahr 1989.....	277
Abb. 38:	Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Bayerischer Wald.....	296
Abb. 39	Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Niederschlag im Untersuchungsgebiet Markungsgraben (1989 - 1992).....	301
Abb. 40:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Stammabfluß in einem Buchenaltbestand im Untersuchungsgebiet Markungsgraben (1989 - 1992).....	305
Abb. 41:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 01, 50cm Tiefe.....	311
Abb. 42:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 01, 150cm Tiefe.....	312
Abb. 43:	Mächtigkeit der Humusauflage und des Ah-Horizontes an den 12 Probenahmepunkten, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 03.....	316
Abb. 44	Ganglinien ausgewählter Parameter im Grundwasser, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßstelle 01.....	323

Abb. 45:	Ganglinien ausgewählter Parameter der Quelle 1, Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	326
Abb. 46:	Ganglinien ausgewählter Parameter am Pegel Markungsgraben.....	330
Abb. 47:	Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Niederschlag im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst (1988-1992).....	337
Abb. 48:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 01, 50cm Tiefe.....	346
Abb. 49:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 01, 150cm Tiefe.....	347
Abb. 50:	Tiefenprofile der Summenkonzentrationen von Aluminium und Mangan bzw. Calcium und Magnesium im Vergleich zum %-Anteil an austauschbaren Basenkationen, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 03.....	350
Abb. 51:	Tiefenprofil des pH(H ₂ O)-Wertes an den 6 Bestandsmeßflächen des Untersuchungsgebietes Ebersberger Forst.....	352
Abb. 52:	Ganglinien ausgewählter Parameter im Grundwasser, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßstelle 01.....	358

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Ausfallzeiten bei der Niederschlagssammlung.....	75
Tab. 2: Wichtungsfaktoren zur Ermittlung der Gebiets- deposition.....	77
Tab. 3: Meßzeiträume bei der Sickerwasseruntersuchung.....	82
Tab. 4: Bodenphysikalische Beprobungen im Modell- Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	89
Tab. 5: Bodenphysikalische Beprobungen im Modell- Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	89
Tab. 6: Bodenphysikalische Beprobungen im Modell- Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	89
Tab. 7: Bodenphysikalische Beprobungen im Modell- Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	89
Tab. 8: Beschreibung der Abflußpegel.....	94
Tab. 9: Konzentrationsbereiche und Toleranzstufen bei der Bioindikation mit Kieselalgen.....	96
Tab. 10: Einteilung der Indikatorarten in Toleranzstufen...	97
Tab. 11: Probestandbehandlung und Messung vor Ort.....	98
Tab. 12: Verwendete Feldmeßgeräte für wasseranalytische Parameter.....	98
Tab. 13: Zeitlicher Ablauf der Probenahmen im zweiwöchigen Rhythmus.....	101
Tab. 14: Parameter, Analysemethoden und Bestimmungs- grenzen für die einzelnen Wassertypen.....	102
Tab. 15: Definierte Fehlergrenzen bei Ionenbilanzen.....	105
Tab. 16: Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers, Region Spessart.....	113
Tab. 17: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2021 der Wasserversorgung 202.....	115
Tab. 18: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2029 der Wasserversorgung 202.....	116
Tab. 19: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2041 der Wasserversorgung 204.....	117
Tab. 20: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2049 der Wasserversorgung 204.....	118

Tab. 21:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2111 der Wasserversorgung 211.....	119
Tab. 22:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2119 der Wasserversorgung 211.....	120
Tab. 23:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2321 der Wasserversorgung 232.....	121
Tab. 24:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2322 der Wasserversorgung 232.....	122
Tab. 25:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2323 der Wasserversorgung 232.....	123
Tab. 26:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2329 der Wasserversorgung 232.....	124
Tab. 27:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9131 der Wasserversorgung 913.....	125
Tab. 28:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9139 der Wasserversorgung 913.....	126
Tab. 29:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9181 der Wasserversorgung 918.....	127
Tab. 30:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9182 der Wasserversorgung 918.....	128
Tab. 31:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9189 der Wasserversorgung 918.....	129
Tab. 32:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9221 der Wasserversorgung 922.....	130
Tab. 33:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9229 der Wasserversorgung 922.....	131
Tab. 34:	Forstinventurdaten im Untersuchungsgebiet Metzen- bach/Birkwasser.....	134
Tab. 35:	Waldzustandsdaten im Untersuchungsgebiet Metzen- bach/Birkwasser.....	135
Tab. 36:	Jahresniederschläge in mm im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser und an der DWD-Station Bischbrunn.....	136
Tab. 37:	Beschaffenheitsdaten des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	138
Tab. 38:	Beschaffenheitsdaten des Bestandsniederschlags im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	139

Tab. 39:	Freilanddeposition in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	140
Tab. 40:	Gebietsdeposition mit dem Bestandsniederschlag (ohne Stammabfluß) in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	141
Tab. 41:	Deposition mit dem Stammabfluß (StA) im Bestand 01 (Buche, 116-jährig) in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ und Anteil an der Bestandsdeposition in % (1992).....	141
Tab. 42:	Deposition von Spurenmetallen im Freiland in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	142
Tab. 43:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe.....	146
Tab. 44:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01, 200 cm Tiefe.....	147
Tab. 45:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01, 450 cm Tiefe.....	148
Tab. 46:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 07, 50 cm Tiefe.....	151
Tab. 47:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 07, 200 cm Tiefe.....	152
Tab. 48a:	Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	156
Tab. 48b:	Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	157
Tab. 48c:	Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	158
Tab. 49:	Bodenchemische Kenndaten der tieferen Sickerzone, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	159
Tab. 50:	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] in Böden des Untersuchungsgebietes Metzenbach/Birkwasser.....	160
Tab. 51:	Bodenphysikalische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser (7 Profile).....	161
Tab. 52:	Beschaffenheitsdaten des Grundwassers, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	163

Tab. 53:	Beschaffenheitsdaten des Rohwassers der zugeordneten Wasserversorgung (Metzenbach/Birkwasser).....	165
Tab. 54:	Beschaffenheitsdaten der Metzenbachquelle.....	167
Tab. 55:	Hauptzahlen des Abflusses [$l \cdot s^{-1}$] und Jahresabflußhöhe h_A [mm] am Pegel Metzenbach.....	170
Tab. 56:	Beschaffenheitsdaten des oberirdischen Abflusses am Pegel Metzenbach.....	171
Tab. 57:	Stoffaustrag mit dem oberirdischen Abfluß am Pegel Metzenbach in $kg \cdot ha^{-1}$ (H^+vO in $g \cdot ha^{-1}$).....	173
Tab. 58:	Gewässerversauerung aufgrund des Diatomeen-Toleranzstufen-Systems, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser.....	174
Tab. 59:	Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers, Region Frankenwald.....	177
Tab. 60:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5021 der Wasserversorgung 502.....	179
Tab. 61:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5022 der Wasserversorgung 502.....	180
Tab. 62:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5051 der Wasserversorgung 505.....	181
Tab. 63:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5059 der Wasserversorgung 505.....	182
Tab. 64:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5161 der Wasserversorgung 516.....	183
Tab. 65:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5169 der Wasserversorgung 516.....	184
Tab. 66:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5191 der Wasserversorgung 519.....	185
Tab. 67:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5199 der Wasserversorgung 519.....	186
Tab. 68:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5302 der Wasserversorgung 530.....	187
Tab. 69:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5309 der Wasserversorgung 530.....	188
Tab. 70:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5311 der Wasserversorgung 531.....	189

Tab. 71:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5319 der Wasserversorgung 531.....	190
Tab. 72:	Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers, Region Fichtelgebirge.....	194
Tab. 73:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3024 der Wasserversorgung 302.....	196
Tab. 74:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3029 der Wasserversorgung 302.....	197
Tab. 75:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3031 der Wasserversorgung 303.....	198
Tab. 76:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3039 der Wasserversorgung 303.....	199
Tab. 77:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3091 der Wasserversorgung 309.....	200
Tab. 78:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3099 der Wasserversorgung 309.....	201
Tab. 79:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3141 der Wasserversorgung 314.....	202
Tab. 80:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3149 der Wasserversorgung 314.....	203
Tab. 81:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3191 der Wasserversorgung 319.....	204
Tab. 82:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3199 der Wasserversorgung 319.....	205
Tab. 83:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3291 der Wasserversorgung 329.....	206
Tab. 84:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3299 der Wasserversorgung 329.....	207
Tab. 85:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3311 der Wasserversorgung 331.....	208
Tab. 86:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3319 der Wasserversorgung 331.....	209
Tab. 87:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3341 der Wasserversorgung 334.....	210
Tab. 88:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3349 der Wasserversorgung 334.....	211

Tab. 89:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8261 der Wasserversorgung 826.....	212
Tab. 90:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8269 der Wasserversorgung 826.....	213
Tab. 91:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8271 der Wasserversorgung 827.....	214
Tab. 92:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8279 der Wasserversorgung 827.....	215
Tab. 93:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8421 der Wasserversorgung 842.....	216
Tab. 94:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8429 der Wasserversorgung 842.....	217
Tab. 95:	Forstinventurdaten im Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	219
Tab. 96:	Waldzustandsdaten im Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	221
Tab. 97:	Jahresniederschläge in mm im Untersuchungsgebiet Lehstenbach und an der DWD-Station Zell.....	222
Tab. 98:	Beschaffenheitsdaten des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	224
Tab. 99:	Beschaffenheitsdaten des Bestandsniederschlags im Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	225
Tab. 100:	Freilanddeposition in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungs- gebiet Lehstenbach.....	226
Tab. 101:	Gebietsdeposition mit dem Bestandsniederschlag in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	227
Tab. 102:	Deposition von Spurenmetallen im Freiland in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	228
Tab. 103:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe.....	231
Tab. 104:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01, 200 cm Tiefe.....	232
Tab. 105:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 02, 50 cm Tiefe.....	236

Tab. 106: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 06, 50 cm Tiefe.....	237
Tab. 107: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 06, 200 cm Tiefe.....	238
Tab.108a: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	241
Tab.108b: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	243
Tab.108c: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	244
Tab.108d: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	245
Tab. 109: Bodenchemische Kenndaten der tieferen Sickerzone, Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	246
Tab. 110: Durchlässigkeitsbeiwerte k_f [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$] in Böden des Untersuchungsgebietes Lehstenbach.....	247
Tab. 111: Bodenphysikalische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach (7 Profile).....	248
Tab. 112: Beschaffenheitsdaten des Grundwassers, Untersu- chungsgebiet Lehstenbach.....	250
Tab. 113: Beschaffenheitsdaten des Rohwassers der zugeordneten Wasserversorgung (Lehstenbach).....	253
Tab. 114: Beschaffenheitsdaten der Quelle Schlößpnerbrunnen.....	254
Tab. 115: Hauptzahlen des Abflusses [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$] und Jahres- abflußhöhe h_A [mm] am Pegel Lehstenbach.....	256
Tab. 116: Beschaffenheitsdaten des oberirdischen Abflusses am Pegel Lehstenbach.....	258
Tab. 117: Stoffaustrag mit dem oberirdischen Abfluß am Pegel Lehstenbach in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (H^+vO in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$).....	260
Tab. 118: Gewässerversauerung aufgrund des Diatomeen- Toleranzstufen-Systems, Untersuchungsgebiet Lehstenbach.....	260
Tab. 119: Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers, Region Oberpfälzer Wald.....	263
Tab. 120: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1041 der Wasserversorgung 104.....	265

Tab. 121:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1049 der Wasserversorgung 104.....	266
Tab. 122:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1091 der Wasserversorgung 109.....	267
Tab. 123:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1099 der Wasserversorgung 109.....	268
Tab. 124:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1111 der Wasserversorgung 111.....	269
Tab. 125:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1119 der Wasserversorgung 111.....	270
Tab. 126:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8141 der Wasserversorgung 814.....	271
Tab. 127:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8149 der Wasserversorgung 814.....	272
Tab. 128:	Gebietsmittelwerte der Region Bayerischer Wald...	276
Tab. 129:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4091 der Wasserversorgung 409.....	278
Tab. 130:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4099 der Wasserversorgung 409.....	279
Tab. 131:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4131 der Wasserversorgung 413.....	280
Tab. 132:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4139 der Wasserversorgung 413.....	281
Tab. 133:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4171 der Wasserversorgung 417.....	282
Tab. 134:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4179 der Wasserversorgung 417.....	283
Tab. 135:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4271 der Wasserversorgung 427.....	284
Tab. 136:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4279 der Wasserversorgung 427.....	285
Tab. 137:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6201 der Wasserversorgung 620.....	286
Tab. 138:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6209 der Wasserversorgung 620.....	287
Tab. 139:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6281 der Wasserversorgung 628.....	288

Tab. 140:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6289 der Wasserversorgung 628.....	289
Tab. 141:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6341 der Wasserversorgung 634.....	290
Tab. 142:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6349 der Wasserversorgung 634.....	291
Tab. 143:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6401 der Wasserversorgung 640.....	292
Tab. 144:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6409 der Wasserversorgung 640.....	293
Tab. 145:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 7101 der Wasserversorgung 710.....	294
Tab. 146:	Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 7109 der Wasserversorgung 710.....	295
Tab. 147:	Forstinventurdaten im Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	298
Tab. 148:	Waldzustandsdaten im Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	299
Tab. 149:	Jahresniederschläge in mm im Untersuchungsgebiet Markungsgraben und an der DWD-Station Waldhäuser.....	300
Tab. 150:	Beschaffenheitsdaten des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	302
Tab. 151:	Beschaffenheitsdaten des Bestandsniederschlags im Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	303
Tab. 152:	Freilanddeposition in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungs- gebiet Markungsgraben.....	304
Tab. 153:	Gebietsdeposition mit dem Bestandsniederschlag (ohne Stammabfluß) in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungs- gebiet Markungsgraben.....	304
Tab. 154:	Deposition mit dem Stammabfluß (StA) im Bestand 02 (Buche, alt) in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ und Anteil an der Bestandsdeposition in % (1989 - 1992).....	305
Tab. 155:	Deposition von Spurenmetallen im Freiland in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	306
Tab. 156:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe.....	309

Tab. 157:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 01, 150 cm Tiefe.....	310
Tab. 158:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 02, 50 cm Tiefe.....	313
Tab. 159:	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 02, 150 cm Tiefe.....	314
Tab. 160:	Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	317
Tab. 161:	Bodenphysikalische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Markungsgraben (3 Profile).....	319
Tab. 162:	Beschaffenheitsdaten des Grundwassers, Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	322
Tab. 163:	Beschaffenheitsdaten des Rohwassers der zugeordneten Wasserversorgung (Markungsgraben)...	324
Tab. 164:	Beschaffenheitsdaten der Quelle 1.....	325
Tab. 165:	Hauptzahlen des Abflusses [$l \cdot s^{-1}$] und Jahres- abflußhöhe h_A [mm] am Pegel Markungsgraben.....	327
Tab. 166:	Stoffaustrag mit dem oberirdischen Abfluß am Pegel Markungsgraben in $kg \cdot ha^{-1}$ (H^+vO in $g \cdot ha^{-1}$)....	328
Tab. 167:	Beschaffenheitsdaten des oberirdischen Abflusses am Pegel Markungsgraben.....	329
Tab. 168:	Gewässerversauerung aufgrund des Diatomeen- Toleranzstufen-Systems, Untersuchungsgebiet Markungsgraben.....	331
Tab. 169:	Forstinventurdaten im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	334
Tab. 170:	Waldzustandsdaten im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	335
Tab. 171:	Jahresniederschläge in mm im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst und an der DWD-Station Forstinning.....	336
Tab. 172:	Beschaffenheitsdaten des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	338
Tab. 173:	Beschaffenheitsdaten des Bestandsniederschlags im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	339

Tab. 174: Freilanddeposition in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	340
Tab. 175: Gebietsdeposition mit dem Bestandsniederschlag in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	341
Tab. 176: Deposition von Spurenmetallen im Freiland in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	341
Tab. 177: Deposition von Spurenmetallen mit dem Bestands- niederschlag in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	342
Tab. 178: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe.....	344
Tab. 179: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 01, 150 cm Tiefe.....	345
Tab. 180: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 03, 50 cm Tiefe.....	348
Tab. 181: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 03, 150 cm Tiefe.....	349
Tab. 182: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst.....	353
Tab. 183: Bodenphysikalische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst (6 Profile).....	355
Tab. 184: Beschaffenheitsdaten des Grundwassers, Untersu- chungsgebiet Ebersberger Forst.....	357
Tab. 185: Beschaffenheitsdaten des Rohwassers der zugeord- neten Wasserversorgung (Ebersberger Forst).....	359
Tab. 186: Dateien der beiliegenden Disketten zu Teilprojekt 1.....	383

1 Einleitung

1.1 Anlaß und Bedeutung des Untersuchungsprogramms

Anfang der 80er Jahre nahmen die als Waldsterben bezeichneten und wenige Jahre zuvor erkannten neuartigen Schädigungen der Wälder derart gravierend zu, daß vielfach ein großflächiges Absterben als durchaus realistisches Szenario angenommen wurde. In der mit großem Einsatz begonnenen Waldschadensforschung wurde von Anfang an auch die Bodenversauerungshypothese (ULRICH et al. 1979) verfolgt, denn mit ursprünglich anderen Zielsetzungen angesetzte wissenschaftliche Langzeituntersuchungen hatten bereits gravierende Einflüsse des Sauren Regens auf den Stoffhaushalt der Wälder aufgedeckt. Weiterhin mehrten sich, ausgehend von Untersuchungsergebnissen aus Skandinavien und Nordamerika, die Anzeichen über eine Versauerung von Fließgewässern und Seen bis hin zur biologischen Verödung (UBA 1984). Es wurde deutlich, daß die saure Luftverschmutzung und die großräumige Ausbreitung von Verbrennungsprodukten auch vor sogenannten Reinluftgebieten nicht haltmachten.

Angesichts dieser Sachlage zeichnete sich für die Wasserwirtschaft in Bayern ein erhebliches Gefahrenpotential ab, zumal erste Untersuchungen zeigten, daß der Saure Regen bereits bis in oberflächennahe Grundwasservorkommen vorgedrungen war (RÖDER et al. 1984). Damit wurde das traditionelle Vertrauen in die guten Puffer- und Filtereigenschaften der Wälder zumindest bei diesem Phänomen erschüttert. Bayern als relativ grundwasserreiches Land mit einer gerade in den Gefährdungsgebieten hohen Zahl von Kleinstwasserversorgungen ist von einer Qualitätsverschlechterung der Grundwasservorkommen besonders betroffen. Unter normalen Bedingungen müssen die von Natur aus schwach sauren Rohwässer dieser Gebiete entsäuert und zum Teil von Eisen und Mangan befreit werden. Auf massive Versauerung und Metallbelastung (besonders Aluminium) sind die kleinen Entsäuerungsanlagen in der Regel nicht vorbereitet.

Es war zu erwarten, daß sich dieses Problem der Qualitätsveränderung der Gewässer durch saure Deposition bei weiterer Zunahme der Waldschäden erheblich verschärfen würde. Bei flächigem Absterben der Bestände mußte zusätzlich mit Veränderungen der Wasserhaushaltskomponenten und Erosionsproblemen gerechnet werden (Unveröff. Bericht des LfW 1984, BENECKE u. LINKERSDÖRFER 1986).

So beschloß der Bayerische Landtag, die Gefährdung des Grund- und Trinkwassers durch Waldschäden und Sauren Regen umfassend untersuchen zu lassen. Mit der Durchführung eines langfristig angelegten Entwicklungsvorhabens wurde das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (früher: Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt) betraut. Ziel der Untersuchung ist die praxisgerechte Dokumentation der Belastungen und der Belastungspfade, die Prognose der weiteren Entwicklung und eine Aufstellung des Handlungsbedarfs für die Wasserwirtschaftsverwaltung in Bayern. Damit verbunden ist die problemorientierte Entwicklung und Bewertung von Meßverfahren für das gewässerkundliche Meßwesen.

Zur Erfassung der wasserwirtschaftlich relevanten Belastungspfade für das Grundwasser waren Meßprogramme in den Meßebenen des Wasser- und Stoffkreislaufs und im Bereich der Wasserversorgungen durchzuführen. Dabei fiel umfangreiches Datenmaterial an, das bislang nur zu geringen Teilen als Publikation oder auf Anfrage direkt zugänglich war. Darüberhinaus verdeutlicht aber die zunehmenden Zahl von Stellungnahmen und Fachdiskussionen einen breiten, fachübergreifenden Informationsbedarf der Wasserwirtschafts- und Forstverwaltung, anderer staatlicher und privater Institutionen mit Umweltkontrollaufgaben sowie verschiedener Umweltwissenschaften.

Für diesen Interessentenkreis gibt der vorliegende Datenband einen Überblick über die von 1987 bis 1992 in 5 hydrologischen Jahren erhobenen Daten. Der Band beinhaltet keine umfassende Datenauswertung. Vielmehr haben die Ausführungen zu den Meßergebnissen weitgehend informativen und kommentierenden Charakter auf der Basis wissenschaftlich bekannter Zusammenhänge.

Für problemorientierte, vertiefende Auswertung ist meist die Bereitstellung von Einzeldaten erforderlich. Wegen der großen Menge an Einzeldaten und der Vielzahl von Begleit- und Sonderuntersuchungen erscheint eine vollständig gedruckte Datenausgabe nicht sinnvoll. Der Datenband gliedert sich daher in die zwei Teile:

- Textteil als exemplarischer Überblick
- Anhang mit Originaldatensätzen auf Datendisketten

Der Textteil enthält eine ausführliche Methodendarstellung sowie eine ausgewählte und verdichtete Übersicht der Meßergebnisse. Auf den Datendisketten sind die Einzeldaten, geordnet nach Meßkomplexen abgelegt.

Es wird somit in dieser Arbeit keine abschließende Auswertung im Sinne der Projektzielsetzung vorgelegt. Vielmehr ist geplant, unabhängig von der reinen Datenpräsentation, die maßgeblichen wasserwirtschaftlichen Fragestellungen und Schlußfolgerungen als Abschlußberichte des Untersuchungsvorhabens im Rahmen der Schriftenreihe des LfW zu veröffentlichen.

Das Gesamtvorhaben "Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser" gliedert sich in zwei Teile:

Teilprojekt 1: "Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser"

(Kurztitel:Saurer Regen/Grundwasser)

In Teilprojekt 1 werden Prozesse und Belastungspfade bei der Grundwasserversauerung ausgehend von regionalen Fallstudien in vier Modell-Untersuchungsgebieten untersucht.

Teilprojekt 2 "Auswirkungen Saurer Niederschläge auf die Wasserversorgung unter besonderer Berücksichtigung wasser- und korrosionschemischer sowie aufbereitungstechnischer Aspekte"

(Kurztitel:Saurer Regen/Wasserversorgung)

Teilprojekt 2 erfaßt die Versauerung der Rohwässer in den betroffenen Regionen und bearbeitet die aufbereitungstechnischen Probleme.

Diese Aufgliederung ermöglicht für die versauerungsempfindlichen Landesgebiete eine differenzierte Wirkungsbeschreibung von der Säuredeposition über die Untergrundpassage zum Rohwasser und zum Trinkwasser.

In Teilprojekt 1 werden vier Fallstudien nach dem Konzept der integrierten Datenerfassung in den Meßebenen des Wasser- und Stoffkreislaufes von hydrologischen Kleineinzugsgebieten durchgeführt. Drei Gebiete repräsentieren die besonders versauerungsempfindlichen Landschaften in Nord- und Ostbayern, deren Trinkwasserprobleme flächendeckend erfaßt werden. In einem Vergleichsgebiet werden die diffusen Schadstoffeinflüsse auf das Grundwasser einer typischen südbayerischen Kalkschotterlandschaft untersucht.

Die ausgewählten Modell-Untersuchungsgebiete liegen in den Regionen:

- Spessart:
Modell-Untersuchungsgebiet 01: Metzenbach/Birkwasser

- Bayerischer Wald:
Modell-Untersuchungsgebiet 02: Markungsgraben
(Nationalpark)

- Fichtelgebirge:
Modell-Untersuchungsgebiet 03: Lehstenbach

- Münchener Schotterebene:
Modell-Untersuchungsgebiet 04: Ebersberger Forst

Die nord- und ostbayerischen Modellgebiete (Metzenbach/ Birkwasser, Lehstenbach, Markungsgraben) sind vollständig bewaldete Kleineinzugsgebiete mit 1 bis 4 km² Fläche. Anthropogene Einflüsse sind auf atmosphärische Schadstoffimmissionen und die Forstwirtschaft begrenzt. Das vierte Modell-Untersuchungsgebiet (Ebersberger Forst) stellt einen ca. 15 km² großen Ausschnitt aus dem Grundwasserströmungsfeld der östlichen Münchener Schotterebene dar. In allen Gebieten ist ein direkter Bezug zu einer gebietstypischen Trinkwasserversorgung gegeben.

Zur Erfassung der Wasser- und Stoffausträge wurden Abflußmeßwehre eingerichtet. Durch den Betrieb mehrerer (4 bis 8) Integrierter Meßstellen in jedem Einzugsgebiet wird die Variation der grundwasserrelevanten Einflußgrößen erfaßt.

Das Prinzip der Integrierten Meßstelle wurde Mitte der 80er Jahre - aufbauend auf Erfahrungen bundesweiter Ökosystemforschung (z.B. MEIWES et al. 1983) und Depositionsmessungen in bayerischen Waldbeständen (Forstliches Depositionsmeßnetz, Projekt Große Ohe) - von der damaligen Bayer. Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (heute: Landesanstalt für Wald und Forst-

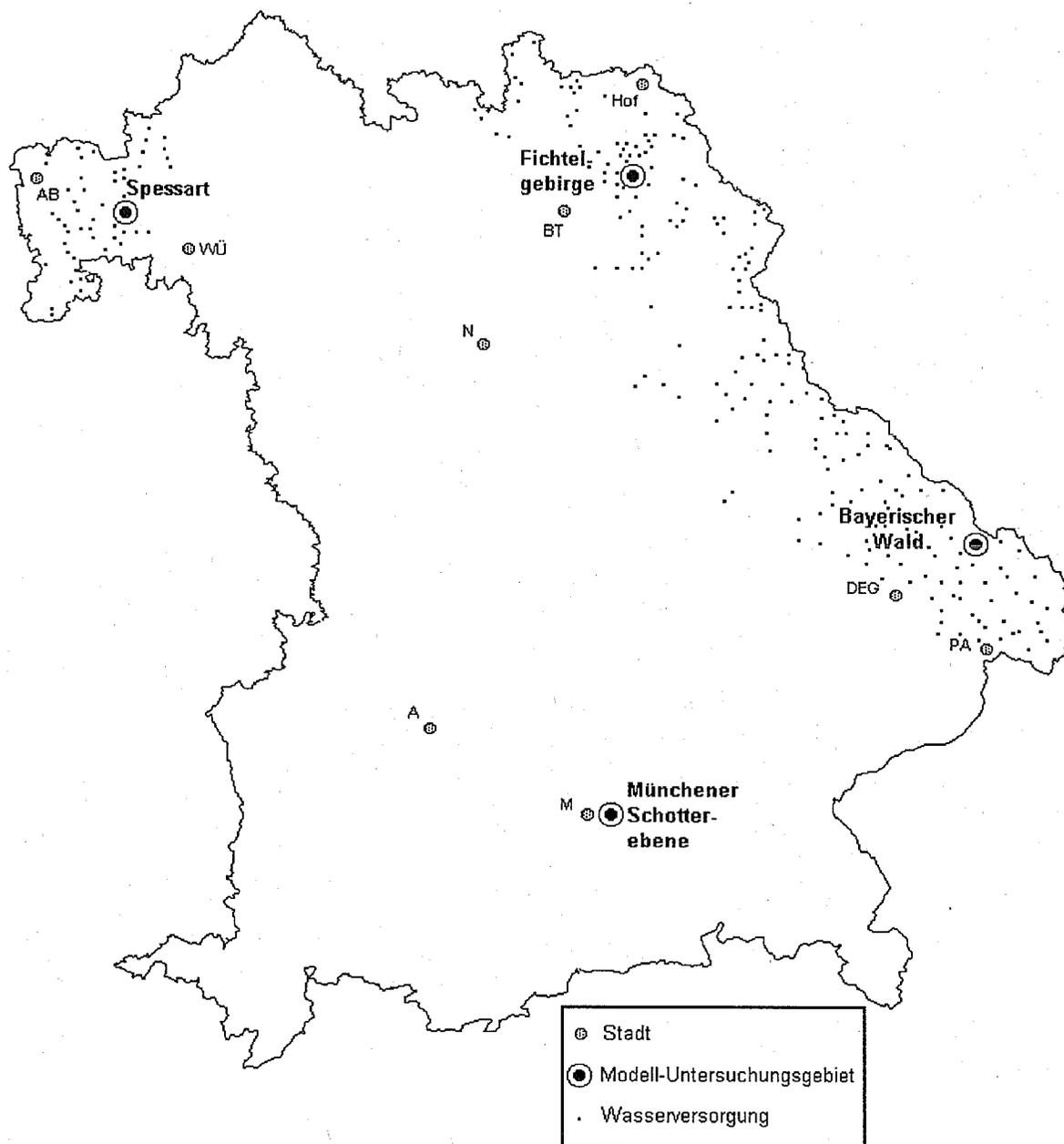


Abb. 1: Lage der untersuchten Wasserversorgungen und Modell-Untersuchungsgebiete

wirtschaft) für die geplanten Waldklimastationen konzipiert und für die besonderen wasserwirtschaftlichen Fragestellungen dieses Kooperationsprojektes um den Grundwasserbereich erweitert.

Dabei werden als wesentliche Meßebenen des Wasser- und Stoffkreislaufs an einem Meßstandort erfaßt (Abb. 2):

- Freifläche (Ersatz für Überkronenmessung)
- Bestandsfläche (Unterkronenmessung)
- Sickerraum
- Grundwasser

Im Idealfall erfaßt die Integrierte Meßstelle den vertikalen Wasser- und Stofffluß am Meßort in Kombination mit einem unter gleichen Bedingungen gebildeten "Stromfaden" an der zugehörigen Grundwassermeßstelle. Innerhalb der Meßebenen sind je nach Aufwand und Fragestellung weitere Unterteilungen möglich. Die Auswahl der Meßorte innerhalb eines Modell-Untersuchungsgebietes richtet sich, bei gleichartigen geologischen Rahmenbedingungen, vor allem nach den Kriterien:

- gebietstypische Bestockung (Baumart, -alter)
- gebietsrelevante Standortseinheit
- vertretbarer Betreuungsaufwand

Die Grundcharakteristiken und die langfristig veränderlichen Einflußgrößen der Gebiete werden in Kartierprogrammen, Inventuren und Sonderuntersuchungen ermittelt:

- geologische Kartierung
- forstliche Standortkartierung
- Inventurdaten aus der Forsteinrichtung (Waldwachstumskundliche Parameter der Bestände auf den Versuchsflächen, Alter und Baumartenzusammensetzung der Bestände im Modell-Untersuchungsgebiet)
- Eingriffe in den Waldbestand und Veränderungen der Waldzusammensetzung

- bodenphysikalische Zustandsgrößen
- bodenchemische Zustandsgrößen
- Hydrologie des Einzugsgebietes
- Kartierung gewässerbiologischer Versauerungsindikatoren

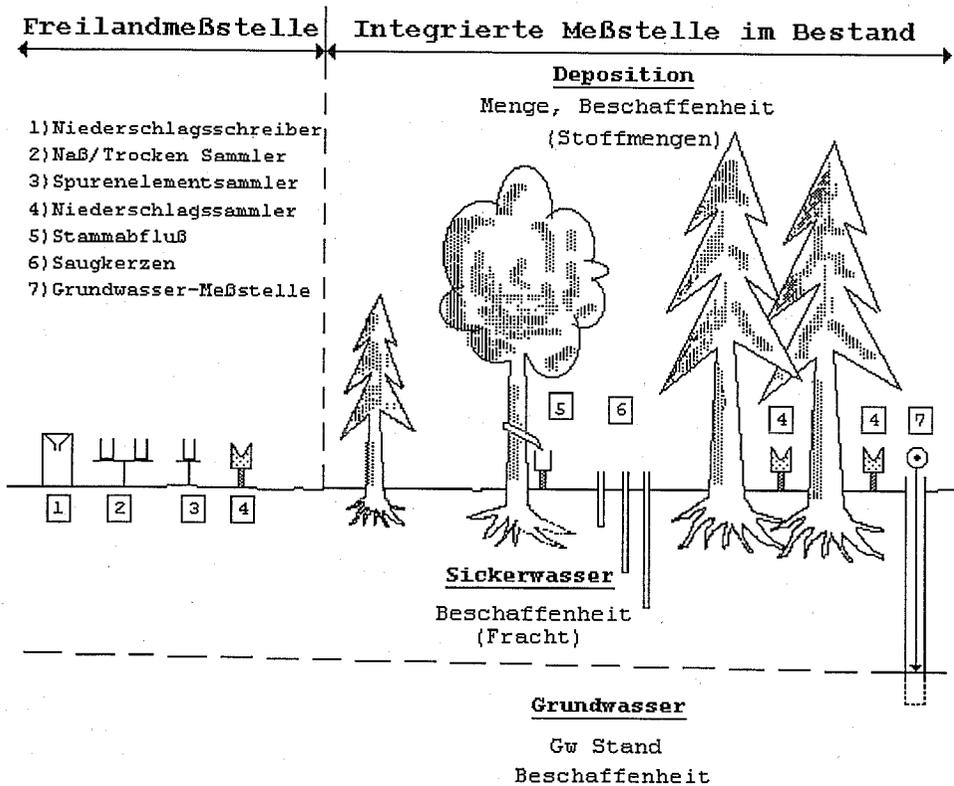


Abb. 2: Konzept einer Integrierten Meßstelle

Dauermeßprogramme erfassen in 2-wöchigem Turnus (Grundwasser 8-wöchig) die Stoffkonzentrationen, die Wasser- und Stoffflüsse sowie in jährlichen Wiederholungen den Waldzustand (Neuartige Waldschäden):

- Niederschlag im Freiland
- Niederschlag im Bestand
- Sickerwasser
- Grundwasser
- Quellen
- oberirdischer Abfluß
- terrestrische Waldzustandserfassung

In Teilprojekt 2 wird die Situation in den Weichwassergebieten Bayerns durch die repräsentative Beobachtung von ca. 350 betroffenen Wasserversorgungen dargestellt. Untersucht werden:

- Rohwasser (vor Aufbereitung)
- Reinwasser (nach Aufbereitung)
- Zustand und Betriebsweise der Aufbereitungsanlagen

Begleitend werden Versuche zur Optimierung der Entsäuerung und Elimination von Metallen (Aluminium, Mangan, Eisen) durchgeführt.

Das Projekt wurde mit Auftrag vom 20.01.1986 begonnen.
Es endet voraussichtlich am 31.12.1994.

Nach Vorlaufmessungen und Basisuntersuchungen begannen am 01.11.87 (Beginn des hydrologischen Jahres 1988) in den Modelluntersuchungsgebieten Metzenbach/Birkwasser, Lehstenbach und Ebersberger Forst, am 01.11.88 im Gebiet Markungsgraben die hydrologischen Jahresmeßreihen. In Teilprojekt 2 wurden die ersten Wasserversorgungen im September 1988 beprobt.

2. Beschreibung der Regionen und der Modell-Untersuchungsgebiete

2.1 Beschreibung der Regionen

Zur regionalen Charakterisierung der Wasserversorgungsdaten und zur räumlichen Verknüpfung mit den Ergebnissen der Modell-Untersuchungsgebiete wurde eine Aufgliederung in 6 Regionen vorgenommen. Sie umfassen jeweils mehrerer Landkreise, wobei in den nord- und ostbayerischen Regionen ausschließlich auf die versauerungsempfindlichen Flächenanteile bezuggenommen wird.

Die Region Spessart umfaßt die Landkreise Main-Spessart, Aschaffenburg und Miltenberg.

In der Region Frankenwald sind die Landkreise Kulmbach, Kronach, Coburg und Hof zusammengefaßt, wobei der Landkreis Hof den nordwestlichen Randbereich des Fichtelgebirges miterfaßt.

Die Region Fichtelgebirge/Steinwald wird von den Landkreisen Wunsiedel, Bayreuth und Tirschenreuth gebildet.

Die Region Oberpfälzer Wald erstreckt sich über die Landkreise Amberg-Sulzbach, Schwandorf, Neustadt a. d. Waldnaab und den nördlichen Teil des Landkreises Cham.

Die Grenze zur Region Bayerischer Wald bildet die Cham-Further-Senke, so daß zur Region Bayerischer Wald der südliche Teil des Landkreises Cham und ein Teil des Landkreises Regensburg sowie die Landkreise Deggendorf, Straubing-Bogen, Regen, Passau und Freyung-Grafenau zählen.

Die in den ersten 5 Regionen untersuchten, durchwegs gering mineralisierten Rohwässer, die zur Wasserversorgung herangezogen werden, sind durchwegs kalkaggressiv und zeigen mitunter erhöhte

Eisen-, Mangan- und Aluminiumwerte. Für die Wasserversorgung hat das zur Folge, daß bei diesen Wässern eine Entsäuerung bzw. Aufhärtung sowie gegebenenfalls eine Entmanganung, Enteisenung und Aluminiumeliminierung durchzuführen sind.

Das Wasserdargebot sowie die Siedlungsstruktur der Regionen führten zu kleinräumiger Wassergewinnung und -verteilung, was vielfach eine einfache Bauweise der Aufbereitungsanlagen zur Folge hat.

2.1.1 Spessart

Versauerungssensitiv sind die Verbreitungsgebiete des Buntsandsteins im Zentral- und Hochspessart und des paläozoischen Grundgebirges im Raum Aschaffenburg (Vorspessart). Die Waldzusammensetzung wechselt, der laubholzreichen Bestockung des Hochspessarts stehen die Nadelholzbestände des Nordspessarts gegenüber. Die Ausbildung der Böden auf Buntsandstein wird im wesentlichen durch die meist sandigen bis schluffig-sandigen Deckschichten beeinflusst. Deren Mächtigkeit ist in den Plateau- und Kuppenlagen gering, erreicht am Mittelhang ca. 1 m und kann an Unterhängen bis über 2 m ansteigen.

Im Mittel fallen je nach Höhenlage zwischen 700 und 1100 mm·a⁻¹ Niederschlag, von denen ca. 100 - 500 mm·a⁻¹ der Grundwasserneubildung zugutekommen. Für den Buntsandstein-Spessart wird eine mittlere Grundwasserspense von 205 - 246 mm·a⁻¹ entsprechend 6,5 - 7,8 l·s⁻¹·km⁻² angegeben (MATTHESS u. MURAWSKI 1978). Eine quantitativ bedeutsame Grundwasserbewegung findet, mit Ausnahme der entfestigten Gesteinspartien, nur auf den Trennfugen der Buntsandsteinschichten statt. Kluffreiche Störungszonen wirken dränierend. ANDRES (1978) gibt für den Buntsandstein-Spessart mittlere Grundwasserhöffigkeiten (pro Fassungsanlage wirtschaftlich gewinnbare Wassermengen) bis 10 l·s⁻¹ an. Bis zu 3 l·s⁻¹ ergeben sich im Paläozoikum des Vorspessart.

2.1.2 Frankenwald

Zu den versauerungsempfindlichen Bereichen der Region Frankenwald gehört der Bereich des Alten Gebirges vom nördlichen Fichtelgebirgsrand bis zum nördlichen Frankenwald sowie kleinere Bereiche mit Buntsandstein und Sandsteinkeuper im westlich vorgelagerten Bruchschollenland. Fichte als Hauptbaumart prägt den eigentlichen Frankenwald und die zahlreichen kleineren Waldgebiete im Bereich des Alten Gebirges. Die Böden im Verbreitungsgebiet der Schiefer und Gneise sind aus schuttreichen Deckschichten mit sandigem bis tonigem Zwischenmittel hervorgegangen.

Im Bereich des Mainvorlandes fallen $650 - 700 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ Niederschlag, auf den Höhen ca. $900 - 1000 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$. Im Einzugsgebiet der Rodach fielen in den Jahren 1961 bis 1970 im Mittel $968 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ Niederschlag, wovon $186 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ unterirdisch abfließen und $456 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ verdunsteten (KANZ u. SCHNITZER 1978). Die mäßige Grundwasserneubildung in den wenig durchlässigen Grundgebirgsgesteinen bewirkt eine geringe Grundwasserhöflichkeit (meist Quellfassungen) von maximal $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Sie kann lediglich im Bereich der Münchberger Gneisfläche durch örtlich hohe Klüftigkeit erhöht sein (ANDRES 1978). Durch die Trinkwassertalsperre Mauthaus im Frankenwald wird die Wasserknappheit des nordbayerischen Raumes gemildert.

2.1.3 Fichtelgebirge

In der Region Fichtelgebirge mit Steinwald sind die Gebiete mit granitischem Untergrund, daneben verschiedenste Schiefer- und Gneisformationen besonders versauerungsempfindlich. Vorherrschende Baumart, vor allem der Hochlagen, ist die Fichte. Die Granite sind bereichsweise bis über 10 m Tiefe vergrüst. Sie lieferten das Material für zum Teil mächtige, in den Unterhängen und Mulden stark durchnäßte, grusig-sandige Deckschichten. Deckschichten und Vergrusungs- mit Kluftzone bilden lokal begrenzte, aber für die regionale Wasserwirtschaft wichtige Grundwasserleiter.

Der mittlere Niederschlag erreicht in den Hochlagen 1000 - 1100 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$, im östlich gelegenen Becken der Wondreb nur noch 650 - 700 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$. Bei einer durchschnittlichen Jahresverdunstung von 450 - 500 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ gelangen 150 - 700 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ zum Abfluß (KERN 1973). Für den Abfluß des Weißen Mains bei Bad Berneck von 640 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ wurde ein unterirdischer Abflußanteil von 170 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ bestimmt (MATTHESS 1978). Die mittlere nutzbare Grundwasserhöflichkeit der Fassungsanlagen (meist Quelfassungen) dürfte wie in der Region Frankenwald bis zu 3 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ betragen. Daher werden vereinzelt auch quellnahe Fließgewässer für die Trinkwassergewinnung genutzt.

2.1.4 Oberpfälzer Wald

Die Granite und Gneise des Grundgebirges bedingen die Versauerungsempfindlichkeit großer Teile der Region Oberpfälzer Wald. Weiterhin sind die Bereiche des Oberpfälzer Beckens mit Verwitterungsbildungen der Kreide und Flugsandüberdeckungen als empfindlich einzustufen. Neben der Fichte ist die Kiefer als bestandsbildende Baumart auf nährstoffarmen Böden und in den niederschlagsärmeren Beckenlagen stark verbreitet.

Unterschiedliche Verwitterungsfähigkeit und Zersetzungsgrade der anstehenden Gesteine prägen die Zusammensetzung der daraus hervorgegangenen grusig-sandigen bis sandig-tonigen Schuttdecken. Das Wasserspeichervermögen ist entsprechend sehr wechselhaft und insgesamt gering.

Die mittleren Jahresniederschläge liegen zwischen 700 und 1000 mm, wovon 200 - 600 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ abfließen. Untersuchungen in Kleingebieten des Raumes Roding (MÜLLER 1991) erweisen für Granitgebiete höhere Speichervermögen als für Gneisgebiete. Insgesamt ergaben jedoch die aus Abflußanalysen abgeleiteten Grundwasserneubildungsraten mit 60 - 70 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ sehr geringe Werte. Die mittlere Grundwasserhöflichkeit der Fassungsanlagen im Alten Gebirge ist entsprechend im Bereich bis 3 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ anzunehmen.

2.1.5 Bayerischer Wald

Gneise und Granite unterschiedlicher Ausprägung bestimmen großflächig die Versauerungsempfindlichkeit der Region Bayerischer Wald. Vorherrschende Baumart ist die Fichte, die in den Hochlagen als montaner Fichtenbergwald in natürlichen Reinbeständen auftritt. Daneben sind Bergmischwälder verbreitet. Die alte, bereichsweise tiefgründige Verwitterung und Vergrusung förderte die Ausbildung der quartären Schuttdecken. Zusammen mit den Auswirkungen der lokalen Vergletscherung bildete sich in den Hochlagen des Inneren Bayerischen Waldes ein vielfältiges Deckschichtmosaik. Moor- und Naßböden sind stark verbreitet.

Die mittleren Jahresniederschläge liegen zwischen 800 bis 1600 mm (BAYER. LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE 1971). In den Kamm- und Hochlagen hat die Nebelinterzeption einen wesentlichen Anteil an der Höhe der Bestandsniederschläge. Der Gesamtabfluß beträgt 300 - 1000 mm·a⁻¹ (BAYER. LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE 1973) bei einer Verdunstung von 450 - 550 mm·a⁻¹ (BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1974). Hydrologische Untersuchungen im hochliegenden Einzugsgebiet der Großen Ohe (Pegel Taferlruck) ergaben eine wesentlich höhere Gebietsverdunstung von ca. 670 mm·a⁻¹ (KENNEL 1987). Derartige Verdunstungsraten können kleinräumig auch in anderen Waldgebieten bei entsprechenden klimatischen Voraussetzungen auftreten. Das geringe bis mäßige Grundwasserspeichervermögen der Deckschichten und der Verwitterungszone wird durch ganzjährig hohe Niederschläge ausgeglichen. Dennoch ist die mittlere Grundwasserhöflichkeit (meist Quellfassungen) im Bereich bis 3 l·s⁻¹ einzustufen. Aus der Talsperre Frauenau wird der Trinkwasserbedarf des Ostbayerischen Raumes ergänzt.

2.1.6 Münchener Schotterebene

Die Münchener Schotterebene wird aus kalkhaltigen, sandigen Schottern der Würm-Eiszeit aufgebaut. Ihre Wurzel bilden die südlich vorgelagerten Jungmoränenbögen. Unterlagert werden die Schotter von überwiegend stauenden bis hemmenden Feinsedimenten des Tertiärs. Hauptbaumart der großen Waldgebiete im südlichen und mittleren Teil der Schotterebene ist die Fichte. Die nach-eiszeitliche Verwitterung hat zur Ausbildung einer ca. 0,5 m mächtigen, weitgehend entkalkten Bodendecke geführt. Waldfreie Flächen werden durch die Siedlungs- und Industriestrukturen des Großraumes München sowie durch Land- und Gartenbau intensiv genutzt.

Die mittleren Niederschläge steigen von $850 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ im Norden bis $1100 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ im Süden. Der nicht verdunstende Anteil versickert vollständig in den gut durchlässigen Böden und führt mit $350 - 500 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ zu einer hohen Grundwasserneubildung. Diese günstigen Voraussetzungen werden seit langem für die Trinkwasserversorgung genutzt. Sie steht wegen des geringen Schadstoffrückhaltevermögens der Böden im zunehmenden Konflikt mit den konkurrierenden Landnutzungen.

2.2 Beschreibung der Modell-Untersuchungsgebiete

2.2.1 Metzenbach/Birkwasser

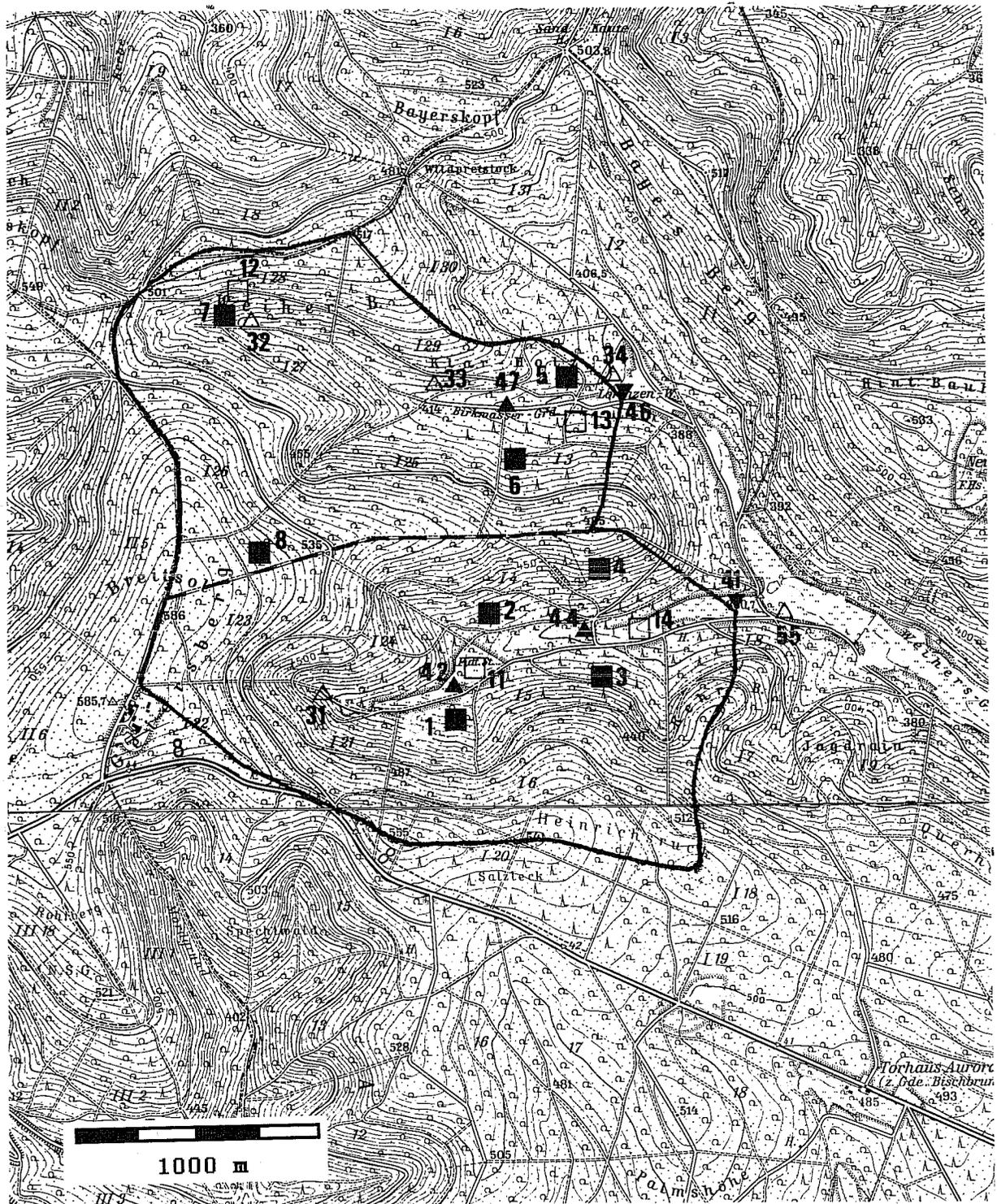
Das Modell-Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser liegt östlich des Geiersbergs im Hochspessart (586 m ü. NN) und besteht aus den Einzugsgebieten von Metzenbach und Birkwasser. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt im Einzugsgebiet des Metzenbachs, dessen Quelle perennierend ist, während die Schüttung der Birkwasserquelle intermittierenden Charakter besitzt. Der Gebietsabfluß findet am Birkwasser zum Teil unterirdisch statt, so daß der Meßpunkt am Abflußpegel regelmäßig im Sommer bzw. Herbst trockenfällt.

Das Gebiet prägen die bis zu 190 m mächtigen Schichten des Mittleren Buntsandsteins von der Volpriehausen-Folge über die Dethfurth-Folge bis zur Hardeggen-Folge. An der höchsten Erhebung, dem Geiersberg, wird die Solling-Folge angetroffen. Der Untere Buntsandstein tritt im Gebiet nicht zutage. Die Schichten fallen leicht von Nordwesten nach Südosten ein. In den entfestigten Gesteinspartien der unteren Talbereiche ist neben der Kluftwasserbewegung die Porenwasserbewegung bedeutend.

Die Rahmendaten der beiden Teiluntersuchungsgebiete sind:

Metzenbach	2,4 km ²
Birkwasser	2,1 km ²
Bestockung	überwiegend Laubholz (Buche und Eiche), im Talbereich Fichte
Böden	Braunerden, z.T. schwach podsoliert
Geologie	Mittlerer Buntsandstein
Höhenlage	385 - 586 m ü. NN
Mittl. Lufttemp.	6 - 7 °C
Mittl. Dauer der Vegetationszeit	ca. 140 Tage
Niederschlag	1000 - 1100 mm
Gesamtabfluß	450 - 550 mm
GwNeubildung	< 150 mm
GwBeschaffenheit	mineralarm, erdalkalisch-sulfatisch

Insgesamt sind in beiden Einzugsgebieten acht integrierte Meßstellen eingerichtet (Abb. 3). Daneben werden vier Quellen innerhalb des Einzugsgebietes, sowie zwei Quellen außerhalb und fünf Meßstellen an den beiden Bachläufen regelmäßig beprobt, soweit die Abflußsituation dies zuläßt. Die oberirdischen Gebietsabflüsse werden kontinuierlich an den beiden Abflußpegeln ermittelt. Zur Kontrolle der Niederschlagsmengen während der frostfreien Zeit werden zwei Hellmann-Regenschreiber betrieben.



- | | | | |
|---|-----------------------|---|------------------------|
| ■ | Integrierte Meßstelle | ▲ | oberirdisches Gewässer |
| □ | Freiland-Meßstelle | ▼ | Abflußpegel |
| △ | Quelle | ~ | Grenze Einzugsgebiet |

Abb. 3: Lage der Meßstellen im Modell-Untersuchungsgebiet Metzchenbach/Birkwasser

Beschreibung der Meßstellen:

Meßfläche 01

Höhe ü. NN: 430 m
R-Wert: 3532150
H-Wert: 5529630
örtliche Lage: schwach nach Norden geneigter Unterhang
Standorteinheit: mäßig wechselfeuchter Sand über Ton in ebener Lage
Bestockung: Buche - 116-jährig (1988)
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 2,70 m - 13,90 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe und Stammabfluß)
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 250cm, 300cm, 350cm, 450cm)
Grundwasser

Meßfläche 02

Höhe ü. NN: 415 m
R-Wert: 3532330
H-Wert: 5530060
örtliche Lage: schwach nach Süden geneigter Hangfuß
Standorteinheit: schwach wechselfeuchter Sand über Ton in ebener Lage
Bestockung: Buche-Eiche - 114-jährig (1988)
Bodentyp: Pseudogley
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 14,58 m - 20,99 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe)
Grundwasser
Bemerkungen: Die Ausbautiefe der Grundwasserbeschaffenheitsmeßstelle erwies sich im Laufe der Untersuchung als zu gering, sodaß sich in den trockenen Jahren Schwierigkeiten bei der Probenahme einstellten.

Meßfläche 03

Höhe ü. NN: 415 m
R-Wert: 3532730
H-Wert: 5529830
örtliche Lage: Mittelhang, Nord-Ost-exponiert
Standorteinheit: frischer Sand
Bestockung: Buche - 112-jährig (1988)
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 23,76 m - 33,10 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe und Stammabfluß)
Grundwasser
Bemerkungen: Die Qualität der Stammabflußmessung entsprach nicht den Anforderungen, so daß auf eine Datendarstellung verzichtet wird.

Meßfläche 04

Höhe ü. NN: 430 m
R-Wert: 3532800
H-Wert: 5530220
örtliche Lage: Oberhang, Süd-exponiert
Standorteinheit: mäßig trockener bis mäßig frischer schluffarmer Hangsand
Bestockung: Eiche - 118-jährig (1988), mit Buche im Unter- und Zwischenstand
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 15,80 m - 24,19 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe)
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 280cm)
Grundwasser
Bemerkungen: Die zugehörige Grundwasserbeschaffenheitsmeßstelle liegt nicht auf der Meßfläche, sondern am Hangfuß in 405 m ü. NN.

Meßfläche 05

Höhe ü. NN: 400 m
R-Wert: 3532550
H-Wert: 5530970
örtliche Lage: Mulde, Süd-exponiert
Standorteinheit: mäßig wechselfeuchte Schichtsand über Ton in ebener Lage
Bestockung: Buche - 155-jährig (1988)
Bodentyp: Primärer Pseudogley
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 3,20 m - 13,65 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe und Stammabfluß)
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 450cm)
Grundwasser
Bemerkungen: Die Qualität der Stammabflußmessung entsprach nicht den Anforderungen, so daß auf eine Datendarstellung verzichtet wird.

Meßfläche 06

Höhe ü. NN: 420 m
R-Wert: 3532400
H-Wert: 5530750
örtliche Lage: Unterhang, Nord-exponiert
Standorteinheit: schwach wechselfeuchter Lehm über Ton
Bestockung: Fichte - 89-jährig (1988), mit Buche im Unterstand
Bodentyp: Pseudogley-Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 14,23 m - 26,89 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe)
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 450cm)
Grundwasser
Bemerkungen: Die Frühjahrsstürme 1990 führten zum Verlust von ca. 12 Altfeichten darunter der dem Saugkerzenfeld zugeordnete Baum. Nach Versetzen von 2 Bulk-Sammlern wurde die Depositionsmessung fortgesetzt.

Meßfläche 07

Höhe ü. NN: 450 m
R-Wert: 3531420
H-Wert: 5531310
örtliche Lage: Unterhang, Süd-exponiert
Standorteinheit: mäßig frischer Sand
Bestockung: Eiche - 30-jährig (1988)
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 0,41 m - 3,36 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe)
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 390cm)
Grundwasser

Meßfläche 08

Höhe ü. NN: 550 m
R-Wert: 3535450
H-Wert: 5530325
örtliche Lage: Kuppe, Ost-Nord-Ost-exponiert
Standorteinheit: mäßig frischer schluffarmer Hangsand
Bestockung: Buche - Altbestand
Bodentyp: Pseudogley - Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: kein Meßpunkt
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe)
Sickerwasser (Tiefenstufen: 150cm, 280cm, 340cm)
Bemerkungen: Die Einrichtung dieser Meßstelle erfolgte im Sommer 1992 zur Erfassung der Hochlagensituation.

Meßfläche 11

Höhe ü. NN: 410 m
R-Wert: 3532250
H-Wert: 5529850
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler
Hellmann-Regenschreiber, Trocken-Naß-Sammler (Stromanschluß)

Meßfläche 12

Höhe ü. NN: 480 m
R-Wert: 3531470
H-Wert: 5531340
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler
Hellmann-Regenschreiber
Bemerkungen: Die Meßinstrumente befinden sich auf einem ca. 15m hohen Turm oberhalb eines Jungeichenbestandes.

Meßfläche 13

Höhe ü. NN: 400 m
R-Wert: 3532850
H-Wert: 5530870
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler

Meßfläche 14

Höhe ü. NN: 390 m
 R-Wert: 3533030
 H-Wert: 5530050
 Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler

Quellen und oberirdische Gewässer:

Name (Nr.):		Bemerkung:
Metzenbachquelle (31)	Höhe ü. NN: 457 m R-Wert: 3531620 H-Wert: 5529730	perennierende Quelle
Birkwasserquelle (32)	Höhe ü. NN: 450 m R-Wert: 3531350 H-Wert: 5531350	intermittierende Quelle
Klarholzquelle (33)	Höhe ü. NN: 414 m R-Wert: 3532080 H-Wert: 5530930	intermittierende Quelle
Quelle nördl. Birkwasser- pegel (34)	Höhe ü. NN: 395 m R-Wert: 3532880 H-Wert: 5530960	intermittierende Quelle
Krebsbachquelle (54)	Höhe ü. NN: 410 m R-Wert: 3535650 H-Wert: 5527760	perennierende Quelle (außerhalb des Untersuchungsgebietes)
Glückquelle (55)	Höhe ü. NN: 380 m R-Wert: 3533550 H-Wert: 5530020	intermittierende Quelle (außerhalb des Untersuchungsgebietes)
Forstratsbrunnen (51)	Höhe ü. NN: 375 m R-Wert: 3533470 H-Wert: 5530130	aufgebohrte Quelle (Wasserversorgung)
Goldbrunnen (52)	Höhe ü. NN: 375 m R-Wert: 3534190 H-Wert: 5529700	aufgebohrte Quelle (Wasserversorgung)
Kieselbrunnen (53)	Höhe ü. NN: 375 m R-Wert: 3534230 H-Wert: 5529630	aufgebohrte Quelle (Wasserversorgung)
Metzenbach Pegel (41)	Höhe ü. NN: 385 m R-Wert: 3533300 H-Wert: 5530040	Meßwehr mit Dreiecksüberfall
Metzenbach oberhalb der Teiche (42)	Höhe ü. NN: 420 m R-Wert: 3532150 H-Wert: 5529720	Metzenbach ist unterhalb der Meßstelle eingestaut; 2 kleine Teiche, einer davon mit extensivem Fischbesatz, im oberen Teich befinden sich Grundquellen.
Metzenbach bei B4 (44)	Höhe ü. NN: 395 m R-Wert: 3532720 H-Wert: 5529970	
Birkwasser Pegel (46)	Höhe ü. NN: 393 m R-Wert: 3532910 H-Wert: 5530900	Meßwehr mit Dreiecksüberfall. Meßstelle fällt im Sommer regelmäßig trocken. Von Wegeschotter beeinflusst!
Birkwasser bei B6 (47)	Höhe ü. NN: 404 m R-Wert: 3532390 H-Wert: 5530880	Meßstelle fällt im Sommer regelmäßig trocken.

2.2.2 Lehstenbach

Das Modell-Untersuchungsgebiet Lehstenbach liegt im nördlichen Fichtelgebirgsbogen östlich des Großen Waldsteins. Das Einzugsgebiet bildet ein von Bergkopf und Waldstein eingerahmtes nach Südosten geöffnetes Becken, das vom Lehstenbach entwässert wird.

Kerngranit und Randgranit des Waldsteinmassivs bilden den geologischen Untergrund. Von der tiefgründigen Verwitterung tertiären Alters ist in der Regel nur die Vergrusungszone erhalten. Sie kann eine Mächtigkeit bis zu 30 m erreichen und ist durchsetzt mit schwach verwitterten Gesteinspartien wechselnder Mächtigkeit. Pleistozäne Fließerden, zum Teil mit starker Blockführung, überdecken den Granit. Eine mit Quarzgängen durchsetzte Hauptstörung zieht sich von Nordwesten nach Südosten durch das Einzugsgebiet.

Die Bestockung des Gebietes besteht weitgehend aus Fichtenbeständen, die vor allem in den Hochlagen zum Teil erhebliche Schädigungen aufweisen.

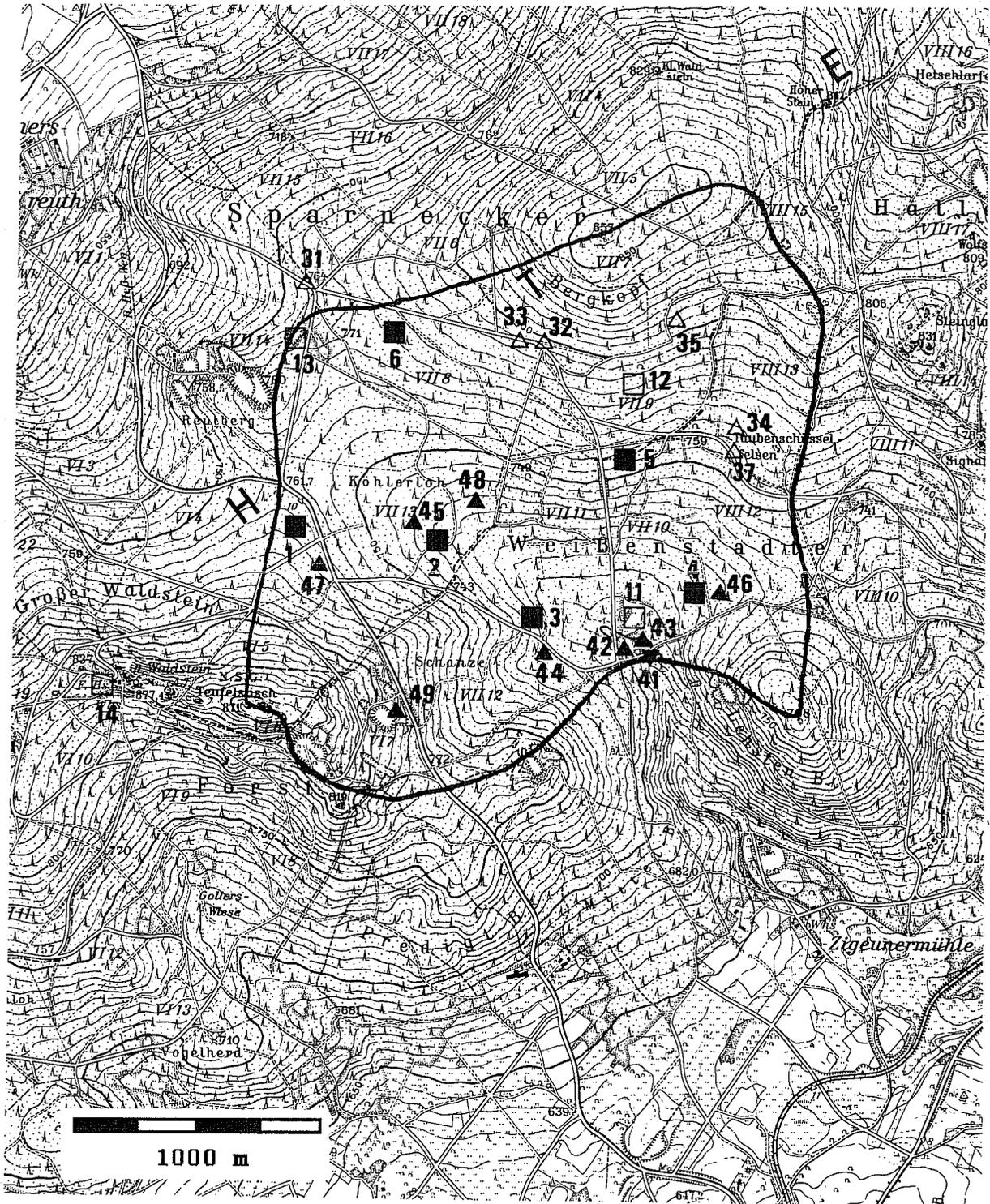
Etwa ein Drittel des Gebietes ist von Anmoor- und Moorböden geprägt, die in Hochmoorresten mehrere Meter Mächtigkeit erreichen. Sie bewirken eine zusätzliche Wasserretentionskapazität und haben besondere Einflüsse auf die Gewässerchemie.

In den Jahren 1978 bis 1985 wurden ca. 15% der Einzugsgebietsfläche im Rahmen von Meliorationskalkungen und -düngungen behandelt. 1992 wurde zur Untersuchung hydrochemischer Wirkungen das Einzugsgebiet der Quelle Schlöppnerbrunnen in eine forstliche Praxiskalkung einbezogen.

Die Rahmendaten des Modell-Untersuchungsgebietes Lehstenbach sind:

Einzugsgebiet	4,2 km ²
Bestockung	reine Fichtenbestände
Böden	Braunerden, Gleye und Moore
Geologie	mittelkörnige Granite
Höhenlage	694 - 871 m ü. NN
Mittl. Lufttemp.	5 - 6,5 °C
Mittl. Dauer der Vegetationszeit	ca. 110 - 130 Tage
Niederschlag	1000 - 1200 mm
Gesamtabfluß	550 - 650 mm
GwNeubildung	100 - 200 mm
GwBeschaffenheit	mineralarm, alkalisch-sulfatisch

Der Bestandsniederschlag wird auf sechs Meßflächen, der Freilandniederschlag auf drei Meßflächen erfaßt (Abb. 4). Eine weitere Freifläche am Großen Waldstein (Meßturm) erfaßt die Klimasituation in randlicher Kuppenlage. Die zahlreichen Gewässer werden durch die repräsentative Beprobung von sechs Quellaustritten, neun Meßpunkten an Fließgewässern und einem grundwassergefülltem Steinbruch erfaßt. Das Grundwasser wird an sechs Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen kontrolliert.



- | | | | |
|---|-----------------------|---|------------------------|
| ■ | Integrierte Meßstelle | ▲ | oberirdisches Gewässer |
| □ | Freiland-Meßstelle | ▼ | Abflußpegel |
| △ | Quelle | ~ | Grenze Einzugsgebiet |

Abb. 4: Lage der Meßstellen im Modell-Untersuchungsgebiet Lehenstenbach

Beschreibung der Meßstellen:

Meßfläche 01

Höhe ü. NN: 770 m
R-Wert: 4490220
H-Wert: 5555400
örtliche Lage: Hanglage, Nordost-exponiert
Standorteinheit: frische (tiefgründige) schluffig lehmige Gruse (Sande)
Bestockung: Fichte, 93-jährig (1988)
Bodentyp: Podsol - Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 4,45 m - 9,29 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 300cm)
Grundwasser

Meßfläche 02

Höhe ü. NN: 733 m
R-Wert: 4490810
H-Wert: 5555400
örtliche Lage: Talsenke, Ost-exponiert
Standorteinheit: sehr frische (grundfeuchte) schluffig-sandige Lehme
Bestockung: Fichte, 52-jährig (1988)
Bodentyp: Niedermoor
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 0,77 - 1,90 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm)
Grundwasser

Meßfläche 03

Höhe ü. NN: 710 m
R-Wert: 4491240
H-Wert: 5555080
örtliche Lage: nach Osten geneigte Hanglage
Standorteinheit: frische (tiefgründige) lehmige, schluffige Sande und sandige schluffige Lehme
Bestockung: Fichte, 103-jährig (1988)
Bodentyp: Braunerde - Podsol
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 2,52 m - 4,53 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm)
Grundwasser

Meßfläche 04

Höhe ü. NN: 718 m
R-Wert: 4491830
H-Wert: 5555210
örtliche Lage: nach Südwesten geneigte Hanglage
Standorteinheit: Übergangsmoor bzw. Niedermoor mit Hangwasserzug
Bestockung: Fichte, 47-jährig (1988)
Bodentyp: Anmoorgley
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 0,65 m - 1,52 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm)
Grundwasser
Bemerkungen: Veränderung der natürlichen teilweise reduzierten Grundwasserbeschaffenheit durch Verlagerung organischer Substanz und zurückbleibende Eisenteile beim Brunnenausbau.

Meßfläche 05

Höhe ü. NN: 758 m
R-Wert: 4491540
H-Wert: 5555720
örtliche Lage: nach Süden geneigte Hanglage
Standorteinheit: frische (tiefgründige) lehmig (schluffige) Sande und sandig (schluffige) Lehme
Bestockung: Fichte, 117-jährig (1988)
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 9,51 m - 16,48 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 300cm)
Grundwasser
Bemerkungen: 1985 wurden 2t kohlensaurer Magnesiakalk und 0,6t Kalimagnesia pro ha ausgebracht.

Meßfläche 06

Höhe ü. NN: 780 m
R-Wert: 4490660
H-Wert: 5556200
örtliche Lage: nach Südwesten geneigte Hanglage
Standorteinheit: frische (tiefgründige) schluffig lehmige Gruse (Sande)
Bestockung: Fichte, 42-jährig (1988)
Bodentyp: Podsol - Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 4,18 m - 15,70 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 300cm)
Grundwasser

Meßfläche 11

Höhe ü. NN: 705 m
R-Wert: 4491680
H-Wert: 5555000
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler

Meßfläche 12

Höhe ü. NN 785 m
R-Wert: 4491540
H-Wert: 5556040
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler

Meßfläche 13

Höhe ü. NN 770 m
R-Wert: 4490210
H-Wert: 5556190
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler

Meßfläche 14

Höhe ü. NN 830 m
R-Wert: 4489425
H-Wert: 5554825
Meßobjekte und Instrumentierung: Hellmann-Regenschreiber, Trocken-Naß-Sammler
Bemerkungen: Die Geräte sind auf einem ca. 10 m hohen Holzturm aufgebaut (Stromanschluß).

Quellen und oberirdische Gewässer:

Name (Nr.):		Bemerkung:
Weidenbrunnen (31)	Höhe ü. NN: 760 m R-Wert: 4490220 H-Wert: 5556380	ausgebaut, evtl. Einfluß durch benachbarten Pflanzgarten
Schlöppnerbrunnen (32)	Höhe ü. NN: 795 m R-Wert: 4491170 H-Wert: 5556140	Das Quelleinzugsgebiet wurde im Juni 1992 gekalkt (2,5 t ha ⁻¹ kohlensaurer Dolomit)!
Schlöppner I (33)	Höhe ü. NN: 795 m R-Wert: 4491160 H-Wert: 5556150	
Gebhardt-Brunnen (34)	Höhe ü. NN: 760 m R-Wert: 4491950 H-Wert: 5555770	Meßstelle an Sammelgraben
Bergkopfquelle 1 (35)	Höhe ü. NN: 810 m R-Wert: 4491730 H-Wert: 5556320	Meßstelle an Sammelgraben
Gebhardt II (37)	Höhe ü. NN: 760 m R-Wert: 4492020 H-Wert: 5555660	Meßstelle an Sammelgraben
Lehstenbach Gesamtabfluß bei B2 (40)	Höhe ü. NN: 730 m R-Wert: 4490850 H-Wert: 5555360	Sammelabfluß westliches Lehstenbach-quellgebiet
Lehstenbach Pegel (41)	Höhe ü. NN: 694 m R-Wert: 4491600 H-Wert: 5554930	Gesamtabfluß des Einzugsgebietes, Pegel mit Venturi-Gerinne
Lehstenbach Pegel rechts (42)	Höhe ü. NN: 694 m R-Wert: 4491580 H-Wert: 5554940	rechter Hauptzufluß vor Lehstenbach Pegel
Lehstenbach Pegel links (43)	Höhe ü. NN: 694 m R-Wert: 4491590 H-Wert: 5554940	linker Hauptzufluß vor Lehstenbach Pegel
Ruttnergraben (44)	Höhe ü. NN: 710 m R-Wert: 4491220 H-Wert: 5554940	
B2 - hoch (45)	Höhe ü. NN: 738 m R-Wert: 4490690 H-Wert: 5555410	
östl. Zufluß bei B4 (46)	Höhe ü. NN: 720 m R-Wert: 4491900 H-Wert: 5555200	
Zufluß Höhe B1 (47)	Höhe ü. NN: 766 m R-Wert: 4490310 H-Wert: 5555300	
Schlöppnerbach (48)	Höhe ü. NN: 745 m R-Wert: 4490900 H-Wert: 5555540	
Steinbruch - See (49)	Höhe ü. NN: 790 m R-Wert: 4490570 H-Wert: 5554640	aufgelassener Steinbruch

2.2.3 Markungsgraben

Das Einzugsgebiet Markungsgraben liegt als Teil des Einzugsgebietes der Großen Ohe (Pegel Taferlruck) im Nordwesten des Nationalparks Bayerischer Wald. Das reich strukturierte Modell-Untersuchungsgebiet reicht von der Unteren Hanglage bis in die Hochlagen des Hauptkamms. Es weist Hangneigungen bis zu 25% auf und ist hauptsächlich südwest- und südexponiert.

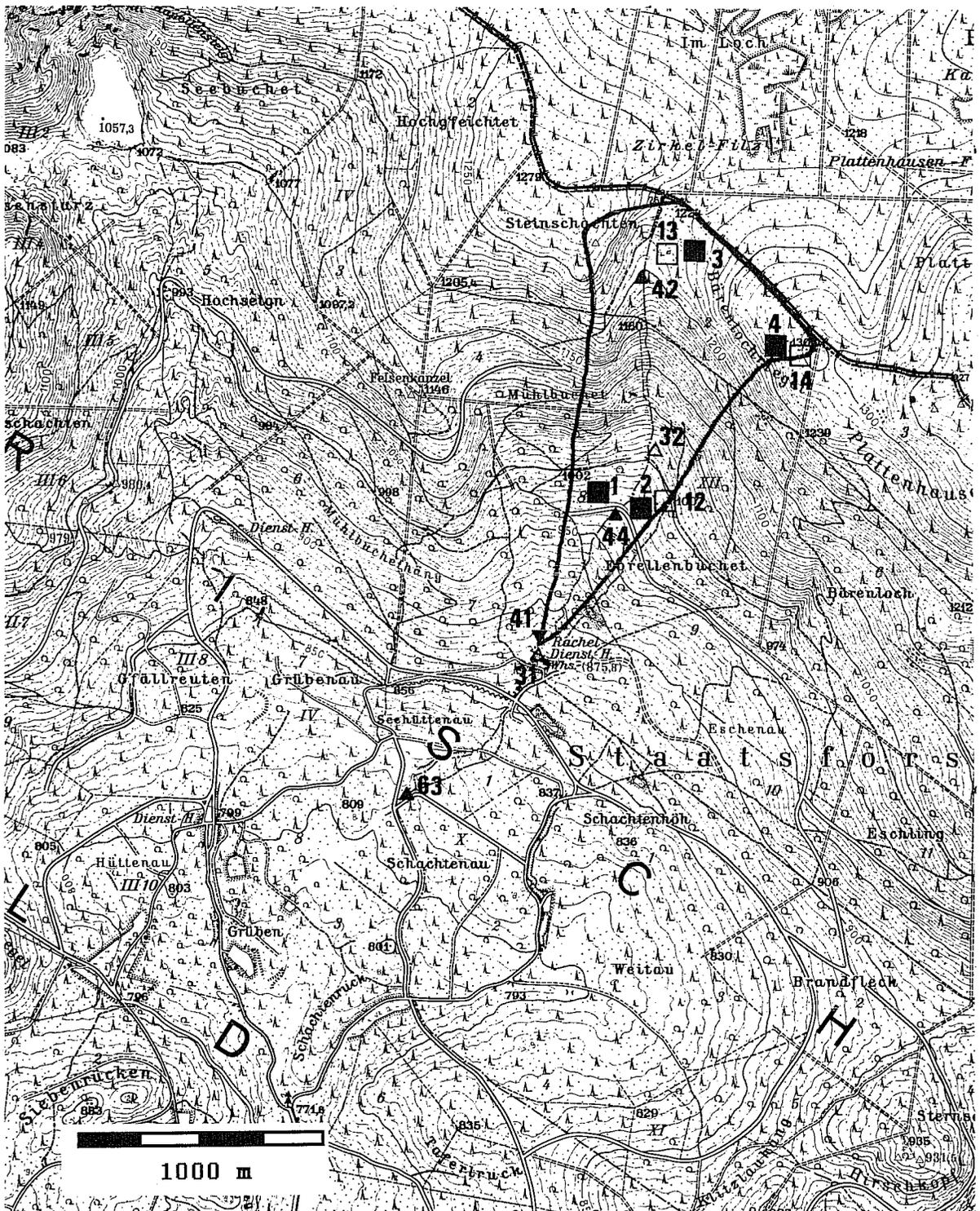
Die Geologie wird von Gneis (Cordierit - mit Biotit-Plagioklas-Gneis), Granit (Finsterauer Kristallgranit) und deren Verwitterungsprodukten bestimmt, die die chemische Beschaffenheit der äußert mineralarmen Wässer prägen. Bei starkem Sickerwasserandrang wirkt der in den Deckschichten verbreitete Basisschutt wasserstauend. Das heterogene Kleinklima kann in den Tallagen sehr kalt sein gegenüber den relativ warmen Hanglagen und den sehr rauhen Hochlagen. Diese sind in der Regel kälter als vergleichbare Höhenlagen in den Alpen. In den Hochlagen tragen Nebelereignisse an 100 bis 150 Tagen im Jahr als Zusatzkomponente der Niederschläge erheblich zur Deposition von Stoffen bei. Schneeniederschlag hat einen großen Anteil an der hydrologischen Dynamik des Gebietes. Stellenweise werden Schneehöhen bis zu 3 m erreicht und Schneeflecken können in den Hochlagen bis in den Juni hinein liegenbleiben.

Aufgrund des Schutzstatus des Gebietes (Nationalpark) fanden seit ca. 1970 im Untersuchungsgebiet mit geringen Einschränkungen keinerlei forstwirtschaftliche Eingriffe mehr statt. Dies umschließt auch die Bekämpfung des Borkenkäfers, der sich im Nationalpark, ausgelöst durch größere Windwürfe Anfang der achtziger Jahre, stärker vermehrt hat.

Die Rahmendaten des Modell-Untersuchungsgebietes Markungsgraben sind:

Einzugsgebiet	1,1 km ²
Bestockung	Fichtenbestände in den Hochlagen, Tanne-Fichte-Buche-Mischwald in der Hanglage
Böden	Braunerden z.T. podsoliert, Block-Humus-Mosaikböden, Naßböden
Geologie	Granit, Gneis
Höhenlage	890 - 1300 m ü. NN
Mittl. Lufttemp.	3 - 6 °C
Mittl. Dauer der Vegetationszeit	ca. 130 - 160 Tage
Niederschlag	1300 - 1600 mm
Gesamtabfluß	800 - 1100 mm
GwNeubildung	150 - 200 mm
GwBeschaffenheit	mineralarm, erdalkalisch- bis alkalisch-sulfatisch

Das Gebiet ist mit vier integrierten Meßstellen ausgestattet, davon zwei in mittlerer Hanglage und zwei in der Hochlage (Abb. 5). Die Grundwasserbeschaffenheit wird an den zwei Hangmeßstellen sowie an einer als Erkundungsbohrung ausgeführten Meßstelle in Tallage außerhalb des Einzugsgebietes Markungsgraben erfaßt. Im Routineprogramm werden zwei Quellen, drei Meßpunkte am Markungsgraben und der Hintere Schachtenbach als Folgegewässer des Markungsgrabens beprobt.



- | | | | |
|---|-----------------------|---|------------------------|
| ■ | Integrierte Meßstelle | ▲ | oberirdisches Gewässer |
| □ | Freiland-Meßstelle | ▼ | Abflußpegel |
| △ | Quelle | ~ | Grenze Einzugsgebiet |

Abb. 5: Lage der Meßstellen im Modell-Untersuchungsgebiet
Markungsgraben

Beschreibung der Meßstellen:

Meßfläche 01

Höhe ü. NN: 970 m
R-Wert: 4604770
H-Wert: 5425850
örtliche Lage: Hanglage, südexponiert
Standorteinheit: Lehm
Bestockung: Fichte - Altbestand
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 5,51 m - 12,49 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm)
Grundwasser
Bemerkungen: 1990 wurden mehrere Bäume südlich der Meßfläche vom Borkenkäfer befallen, darunter der dem Sickerwassermeßfeld zugeordnete Baum. Die Erfassung der Deposition wurde nicht beeinträchtigt.

Meßfläche 02

Höhe ü. NN: 975 m
R-Wert: 4604900
H-Wert: 5426090
örtliche Lage: Hanglage, süd-exponiert
Standorteinheit: Lehm
Bestockung: Buche - Altbestand
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 4,18 m - 15,70 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (Kronentraufe und Stammabfluß)
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm)
Grundwasser

Meßfläche 03

Höhe ü. NN: 1220 m
R-Wert: 4605000
H-Wert: 5426830
örtliche Lage: Hanglage, südwestexponiert
Standorteinheit: mittelgründiger Lehm über verfestigtem Schutt
Bestockung: Fichte - Altbestand
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: kein Meßpunkt
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Bemerkungen: 1989 wurde die Meßfläche vom Borkenkäfer befallen, sodaß ab 1990 ca. die Hälfte der Bäume abgestorben war. Danach kam es zu keinen weiteren Schädigungen des restlichen Bestandes.

Meßfläche 04

Höhe ü. NN: 1290 m
R-Wert: 4605550
H-Wert: 5426310
örtliche Lage: Hanglage, südwestexponiert
Standorteinheit: mittelgründiger Lehm über verfestigtem Schutt
Bestockung: Fichte - Altbestand
Bodentyp: Podsol-Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: kein Meßpunkt
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm)

Meßfläche 21

Höhe ü. NN: 820 m
R-Wert: 4604550
H-Wert: 5424500
örtliche Lage: Tallage, eben
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 2,73 - 6,48 m
Meßobjekte: Grundwasser
Bemerkungen: Die Meßstelle ist als Erkundungsbohrung (DN50) ausgeführt und liegt außerhalb des Untersuchungsgebietes.

Meßfläche 12

Höhe ü. NN: 980 m
R-Wert: 4604650
H-Wert: 5425720
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler Hellmann-Regenschreiber
Bemerkungen: Die Schneeniederschläge werden an einem separaten Meßpunkt ca. 300 m westlich in gleicher Höhenlage erfaßt.

Meßfläche 13

Höhe ü. NN: 1210 m
R-Wert: 4605010
H-Wert: 5426800
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler

Meßfläche 14

Höhe ü. NN: 1290 m
R-Wert: 4605570
H-Wert: 5426300
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler

Quellen und oberirdische Gewässer:

Name (Nr.):		Bemerkung:
Quelle 1 (32)	Höhe ü. NN: 1010 m R-Wert: 4605010 H-Wert: 5426050	perennierende Quelle
Quelle Diensthütte (31)	Höhe ü. NN: 876 m R-Wert: 4604550 H-Wert: 5426050	intermittierende Quelle
Markungsgraben Hochfilz (42)	Höhe ü. NN: 1200 m R-Wert: 4604930 H-Wert: 5426730	Meßpunkt kurz unterhalb des Quellmoores
Markungsgraben B1/B2 (44)	Höhe ü. NN: 965 m R-Wert: 4604840 H-Wert: 5425770	Meßstelle in Blocklagen ist einige Male trockengefallen
Markungsgraben Pegel (41)	Höhe ü. NN: 890 m R-Wert: 4604570 H-Wert: 5425250	Ausgebautes Gerinne mit Druckluftpegel
Hinterer Schachtenbach (63)	Höhe ü. NN: 810 m R-Wert: 5425660 H-Wert: 4604100	Meßstelle außerhalb des Untersuchungsgebietes nach Zusammenfluß des Markungsgrabens mit der Kaltenbrunner Seige

2.2.4 Ebersberger Forst

Das Modell-Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst liegt etwa 30 km östlich von München als Teil der pleistozänen Aufschotterung im Vorfeld der Moränen des Innletschers. Oberirdische Abflüsse fehlen. Für die Untersuchung wurde ein ca. 3 km breiter und 5 km langer Streifen im Westteil des Forstes und seinem südlichen Vorland abgegrenzt. Innerhalb dieses Streifens liegen die Zuflussgebiete von zwei Versorgungsbrunnen. Südlich des Forstes werden Siedlungs- und Landwirtschaftsflächen erfaßt, die rund 22% der Fläche des Grundwasserneubildungsgebietes einnehmen.

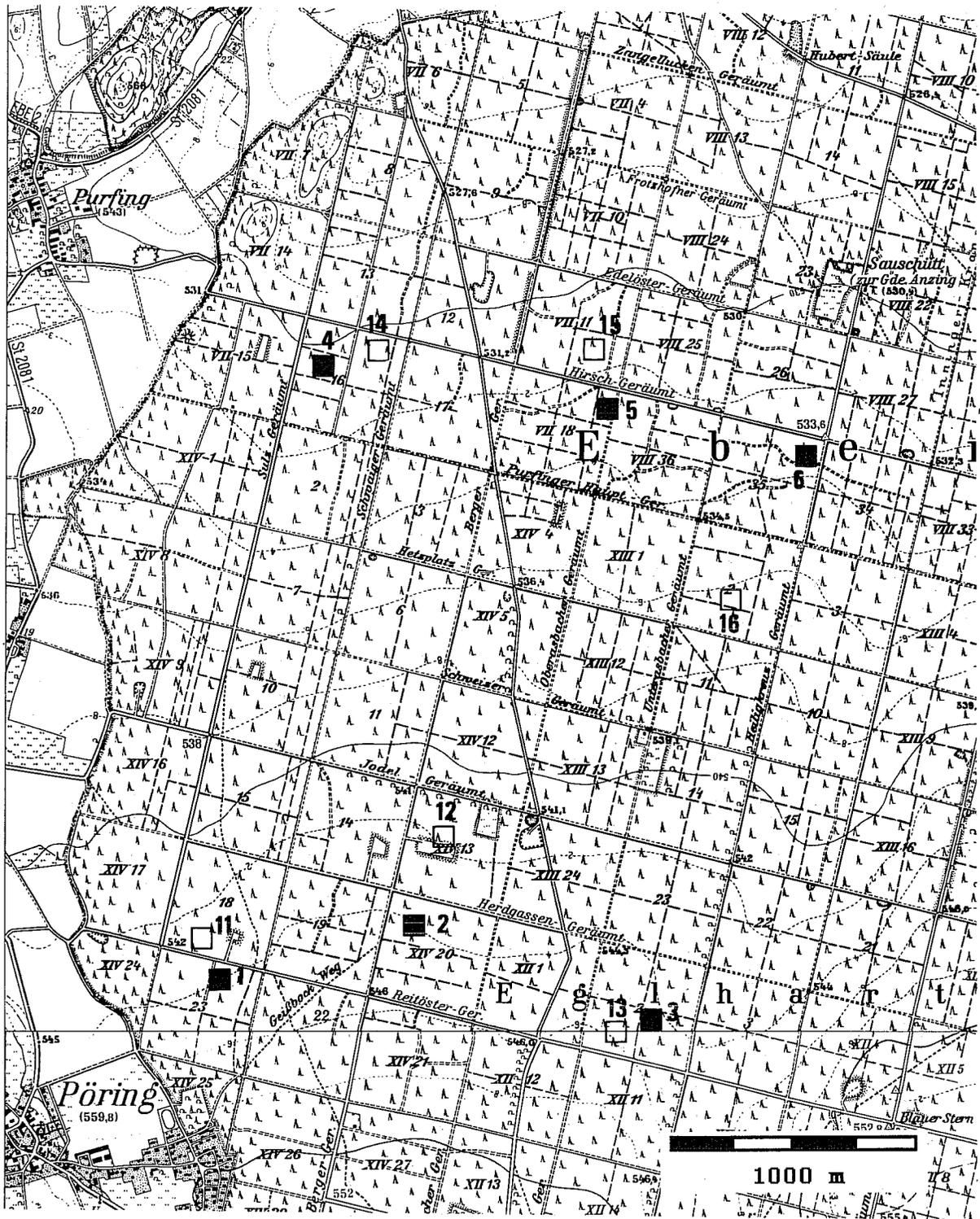
Nahemissionen aus angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen beeinflussen die Depositionssituation. Die Belastung mit Säuren und Säurebildnern stellt für das Grundwasser keine Gefährdung dar, da die kalkreichen Schotter in ausreichender Menge und Geschwindigkeit puffern. Untersuchungsschwerpunkte sind weitere stoffliche Belastungen, vor allem die Wirkungen hoher Stickstoffeinträge in Verbindung mit Veränderungen des Waldzustands.

Die Bestockung ist zum Großteil von Fichtenbeständen geprägt. Der Laubholzanteil im Untersuchungsgebiet lag 1987 bei ca. 5%. Die Orkane des Frühjahrs 1990 führten vor allem im exponierten Bereich der westlichen Waldränder zu großflächigen Windwürfen. In den Folgejahren entstanden durch die Bekämpfung des von der warmtrockenen Witterung begünstigten Borkenkäfers weitere Kahlflecken. Bereits 1984 waren Teile der untersuchten Waldbestände durch einen Hagelschlag schwer geschädigt worden. Bei der Aufforstung der Schadensflächen liegt der Laubholzanteil bei 30 - 40%.

Die Rahmendaten des Modell-Untersuchungsgebietes Ebersberger Forst sind:

Untersuchungsgebiet	15 km ²
Bestockung	Fichtenbestände, im Umbau
Böden	vorwiegend Parabraunerden
Geologie	Niederterrassenschotter, zum Teil über älteren Schottern
Höhenlage	520 - 550 m ü. NN
Mittl. Lufttemp.	7 - 8 °C
Mittl. Dauer der Vegetationszeit	ca. 140 - 150 Tage
Niederschlag	900 - 1000 mm
Gesamtabfluß	kein oberirdischer Abfluß
GwNeubildung	300 - 350 mm
GwBeschaffenheit	erdalkalisch-hydrogencarbonatisch

Die sechs integrierten Meßflächen sind auf zwei Traversen quer zur Grundwasserfließrichtung angeordnet (Abb. 6). Daneben gehören die zwei Brunnen der im Grundwasserabstrom gelegenen Wasserversorgungen und die Überwachungsmeßstelle einer stillgelegten Hausmülldeponie zum routinemäßigen Untersuchungsprogramm. Südlich des Untersuchungsgebietes wird außerhalb des Waldes eine Klimastation betrieben, die Pilotfunktion für den routinemäßigen Einsatz im Integrierten Meßnetz Stoffeintrag - Grundwasser hat.



- Integrierte Meßstelle ▲ oberirdisches Gewässer
- Freiland-Meßstelle ▼ Abflußpegel
- △ Quelle

Abb. 6: Lage der Meßstellen im Modell-Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Beschreibung der Meßstellen:

Meßfläche 01

Höhe ü. NN: 544 m
R-Wert: 4488500
H-Wert: 5329260
örtliche Lage: ebene Lage
Standorteinheit: mäßig frischer, kiesiger, sandiger Lehm
Bestockung: Fichte, 56-jährig (1988)
Bodentyp: Braunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 15,63 m - 20,13 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm)
Grundwasser

Meßfläche 02

Höhe ü. NN: 544 m
R-Wert: 4489270
H-Wert: 5329160
örtliche Lage: ebene Lage
Standorteinheit: mäßig frische, tiefgründige, stellenweise grusig (kiesige) sandige Lehme
Bestockung: Fichte, 109-jährig (1988)
Bodentyp: Parabraunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 18,02 m - 20,19 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Grundwasser

Meßfläche 03

Höhe ü. NN: 544 m
R-Wert: 4490280
H-Wert: 5329160
örtliche Lage: ebene Lage
Standorteinheit: mäßig frische, kiesige sandige Lehme
Bestockung: Fichte, 32-jährig (1988)
Bodentyp: Parabraunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 20,00 m - 24,24 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm)
Grundwasser

Meßfläche 04

Höhe ü. NN: 531 m
R-Wert: 4488870
H-Wert: 5331720
örtliche Lage: ebene Lage
Standorteinheit: mäßig frische, tiefgründige kiesige sandige Lehme
Bestockung: Fichte, 121-jährig (1988)
Bodentyp: Parabraunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 7,88 m - 9,96 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag (ab Herbst 1992 Freilandniederschlag)
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm)
Grundwasser

Bemerkungen: Die Frühjahrsorkane 1990 vernichteten den Großteil der Bestände im Umfeld der Meßfläche. Im Sommer 1991 wurde durch weitere Stürme ca. ein Drittel des Bestandes im östlichen Bereich der Meßfläche geworfen. Am Saugkerzenmeßfeld entstand so eine Freiflächensituation. Acht von sechzehn Saugkerzen wurden beschädigt und sofort nachgerüstet. Zur Fortführung der Depositionsmessungen im Bestand wurden fünf Bulk-Sammler versetzt. Wegen des nachfolgenden Borkenkäferbefalls mußte der verbleibende Bestand im Sommer 1992 eingeschlagen werden. Den Zustand nach Wiederaufforstung mit Laubholz (Frühjahr 1993) erfaßt das Sickerwassermeßfeld.

Meßfläche 05

Höhe ü. NN: 533 m
R-Wert: 4490020
H-Wert: 5331580
örtliche Lage: ebene Lage
Standorteinheit: mäßig frische, tiefgründige, stellenweise grusige sandige Lehme
Bestockung: Fichte, 36-jährig (1988)
Bodentyp: Parabraunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 11,95 m - 14,39 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Sickerwasser (Tiefenstufen: 50cm, 100cm, 150cm, 200cm)
Grundwasser

Meßfläche 06

Höhe ü. NN: 534 m
R-Wert: 4490820
H-Wert: 5331380
örtliche Lage: ebene Lage
Standorteinheit: mäßig frische kiesig sandige Lehme
Bestockung: Fichte, 83-jährig (1988)
Bodentyp: Parabraunerde
Schwankungsbreite
Abstich Grundwasser: 13,74 m - 15,65 m
Meßobjekte: Waldzustand
Bestandsniederschlag
Grundwasser
Bemerkungen: Eingeschlagen nach Sturmschäden und Borkenkäferbefall (Sommer 1993)

Meßfläche 11

Höhe ü. NN: 544 m
R-Wert: 4488400
H-Wert: 5329420
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag

Meßfläche 12

Höhe ü. NN 544 m
R-Wert: 4489320
H-Wert: 5329760
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag

Meßfläche 13

Höhe ü. NN 544 m
R-Wert: 4490110
H-Wert: 5329100
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag

Meßfläche 14

Höhe ü. NN 530 m
R-Wert: 4489100
H-Wert: 5331790
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag

Meßfläche 15

Höhe ü. NN 533 m
R-Wert: 4490000
H-Wert: 5331740
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag, Schwermetallsammler

Meßfläche 16

Höhe ü. NN 535 m
R-Wert: 4490590
H-Wert: 5330760
Meßobjekte und Instrumentierung: Freilandniederschlag

Meßfläche 71

Höhe ü. NN 542 m
R-Wert: 4487900
H-Wert: 5329500
Meßobjekte und Instrumentierung: Grundwasser
Bemerkungen: Grundwasserbeschaffenheitsmeßstelle zur Überwachung einer ehemaligen Mülldeponie (als DN50 ausgebaut)

Meßpunkt 21

Höhe ü. NN

522 m

R-Wert:

4489900

H-Wert:

5333550

Meßobjekte und
Instrumentierung:

Hellmann-Regenschreiber, Trocken-Naß-Sammler
Rohwasser (Versorgungsbrunnen)

Meßpunkt 22

Höhe ü. NN

525 m

R-Wert:

4490800

H-Wert:

5332850

Meßobjekte und
Instrumentierung:

Rohwasser (Versorgungsbrunnen)

3. Methoden

3.1 Forstinventur

Zur Beschreibung der Waldbestockung im Modell-Untersuchungsgebiet sowie auf den einzelnen Meßflächen werden Forsteinrichtungsdaten herangezogen. Es werden die Baumartenverteilung, die Altersstruktur sowie ertragskundliche Kenngrößen (Höhen, Brusthöhendurchmesser, Grundflächen, Holzvorräte) erfaßt. Auf den Meßflächen wurden zusätzlich die Kronenansatzhöhen und Kronenlängen bestimmt, da die Ausbildung des Kronenraums den Depositionsvorgang beeinflußt.

Die Daten der Einzugsgebiete stammen aus den einschlägigen Forsteinrichtungsoperaten. Mit Hilfe von Stichprobepunkten wurden die Baumarten- und Altersklassenverteilungen (<60-jährige, 60 bis 120-jährige und >120-jährige Bestände) erhoben. Bei der Zahl der Stichprobenpunkte (81 im Gebiet Metzenbach/Birkwasser, 110 im Gebiet Markungsgraben, 91 im Gebiet Lehstenbach und 281 im Gebiet Ebersberger Forst) werden jedoch Baumarten mit geringem Flächenanteil nicht erfaßt (z.B. ca. 5% Laubholzanteil im Gebiet Ebersberger Forst oder ca. 2% Fichtenanteil im Gebiet Metzenbach/Birkwasser).

Die Daten der Meßflächen wurden folgendermaßen erhoben:

Zur Bestimmung der Kreisflächen wurde in den über 60-jährigen Beständen an allen Bäumen der Meßfläche der Baumdurchmesser in 1,30 m Höhe (Brusthöhendurchmesser) mittels Umfangmeßband ermittelt.

Für Bestände mit einem Alter von 60 Jahren und geringer erfolgte die Ermittlung der Kreisfläche an einem repräsentativen Teilbestand mittels Spiegel-Relaskop nach BITTERLICH (1952).

Baumhöhen, Kronenlängen und Kronenansätze wurden an jedem 10. Baum, gleich welcher Baumklasse (nach KRAFT), mit Hilfe eines Blume-Leiss Altimeters BL 8 ermittelt.

Der Brusthöhendurchmesser wurde in den Altbeständen an allen Bäumen der Kraftklassen 1 und 2 aufgenommen und arithmetisch gemittelt. Die Berechnung des aufstockenden Holzvorrates erfolgte für die über 60-jährigen Bestände nach KRENN (1948), für die jüngeren Bestände über die Derbholzformzahl-Tafeln nach FRANZ (1972).

Vor Versuchsbeginn war auf den Meßflächen vereinzelt die Entnahme von Tot- und Schwachholz erforderlich. Während der Untersuchung wurden diese Flächen nicht bewirtschaftet, ausgenommen Einzelmaßnahmen nach Sturmwurf. Bedeutende Flächeneingriffe (Holzräumung, Kalkung, Pflanzung, etc.) wurden fallweise registriert.

Im Modell-Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst wurden Daten über Siedlungs- und Agrarflächen im Zustrombereich des Grundwassers erhoben. Sie dienen der Bewertung oberstromiger Stoffbelastungen vor Eintritt des Grundwassers in das Waldgebiet.

3.2 Waldzustand

Die Erfassung des Waldzustands (Gesundheitszustand im Sinne der Neuartigen Waldschäden) und seines Einflusses auf den Wasser- und Stoffkreislauf wurde dem Untersuchungsprogramm als wichtige Teilaufgabe gestellt. Deshalb wurde zu Beginn, Mitte und Ende des Untersuchungszeitraumes eine Dokumentation des Gesundheitszustandes vorgesehen. Bei der Ansprache des Gesundheitszustandes wurde 2-stufig vorgegangen:

- In den Untersuchungsgebieten:
Luftbildinventur
- Auf den einzelnen Meßflächen:
Luftbildinventur und terrestrische Ansprache

3.2.1 Luftbildinventur

Befliegungen wurden zu Beginn und in der Mitte des Untersuchungszeitraumes durchgeführt:

Die Erstbefliegung erfolgte für die Untersuchungsgebiete Metzenbach/Birkwasser, Lehstenbach und Ebersberger Forst im Jahr 1986, für das Gebiet Markungsgraben 1988. Eine Zweitbefliegung fand im Jahr 1990 für alle Untersuchungsgebiete statt.

Aufgenommen wurde aus rd. 900 m Flughöhe mit einer Zeiss RMK A 30/23 Kamera in Nord-Süd verlaufenden Streifen von 500 m Breite. Die Längsüberdeckung der Flugstreifen beträgt 60%, der Maßstab der Color-Infrarot-Luftbilder 1:3000. Die Auswertung erfolgte in der Abteilung Fernerkundung der LWF mittels Wild-Aviopret APT 1 an Stichprobepunkten eines zentral projektierten 200 m Rasters, das nach Gauss-Krüger-Koordinaten bestimmt und über die Modell-Untersuchungsgebiete gelegt wurde. Abweichend davon wurde die Interpretation der Luftbilder des Untersuchungsgebietes Markungsgraben aufgrund des ausgeprägten Geländereiefs an einem projektiv verzerrten, d.h. der Geometrie des Luftbildes angepaßten Raster durchgeführt (KÖLBL u. TRACHSLER 1978, KÖLBL 1982). Die Erstellung einer Kronenkarte für acht den Stichprobepunkten nächstgelegene Bäume sicherte die Reproduzierbarkeit der an diesen Bäumen vorgenommenen Einwertung.

Für die einzelnen Meßflächen eines Untersuchungsgebietes wurde die Lage bestimmt und eine Kronenkarte dieser Flächen gezeichnet. Mit Hilfe einer im Gelände durchgeführten Kronenprojektion konnte der Zugriff auf jeden einzelnen, forsteinrichtungstechnisch und terrestrisch erfaßten Baum über das Luftbild sichergestellt werden, so daß ein Vergleich zwischen aero-photogrammetrischer und terrestrischer Schadensauswertung möglich ist.

Bestimmt wurden folgende Parameter gemäß der Interpretationsschlüssel der ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (1988):

Baumart, Phänotyp, Altersgruppe, Schadstufe nach Strukturmerkmalen, Vergilbung und Endschadstufe.

3.2.2 Terrestrische Erfassung

Die auf den Bestandsmeßflächen seit 1988 jährlich durchgeführte terrestrische Waldzustandserfassung erfolgte nach der Arbeitsanweisung der Waldschadensinventur in Bayern (FVA 1987). Die Schadstufen wurden durch Anschätzung der Entnadelung bzw. Entlaubung in 5% Stufen bestimmt. Bedeutende Vergilbungserscheinungen an den Blattorganen erhöhen die Schadstufe. Schädigungen, die nachweislich auf biotische Einflüsse zurückgehen (z.B. Borkenkäferbefall) werden bei der Schadansprache nicht berücksichtigt.

Schadstufe 0:	0 - 10% Nadel-/Blattverlust
Schadstufe 1:	15 - 25% Nadel-/Blattverlust
Schadstufe 2:	30 - 60% Nadel-/Blattverlust
Schadstufe 3:	65 - 95% Nadel-/Blattverlust
Schadstufe 4:	100% Nadel-/Blattverlust, Baum abgestorben

Auf Meßflächen mit Beständen über 60 Jahre wurde für alle Bäume der Kraftklassen 1 und 2 die Schadensstufe erhoben. Diese Bäume sind im Hinblick auf die notwendige Wiederholung der Schadansprache numeriert.

Auf Meßflächen mit Beständen unter 60 Jahren wurden an 6 dauerhaft markierten Punkten, die gleichmäßig entlang einer durch die Untersuchungsfläche verlaufenden Diagonalen verteilt liegen, die nächstgelegenen 6 Bäume der Kraftklasse 1 oder 2, also insgesamt 36 Bäume pro Fläche angesprochen. Eine Ausnahme bildet die Fläche 07 im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, bei der nur 28 Bäume angesprochen wurden.

3.3 Deposition und Klima

Die atmosphärische Deposition von Stoffen auf die Erdoberfläche erfolgt in flüssigem, festem oder gasförmigem Zustand. Daher kann zwischen trockener und nasser Deposition unterschieden werden (Abb. 7). Bestimmend für die Menge der trocken deponierten Substanzen ist vor allem die Rauigkeit der Oberfläche und die Immissionssituation. Für die Gesamtd deposition haben weitere Faktoren wie Exposition, Geländehöhe und Jahresniederschläge Bedeutung. An Waldstandorten, insbesondere in Nadelholzbeständen, werden aufgrund der hohen Filterleistung der Bestände höhere Stoffeinträge als im Freiland registriert. Diese Abhängigkeit der Deposition von den Akzeptoreigenschaften erschwert eine exakte Erfassung.

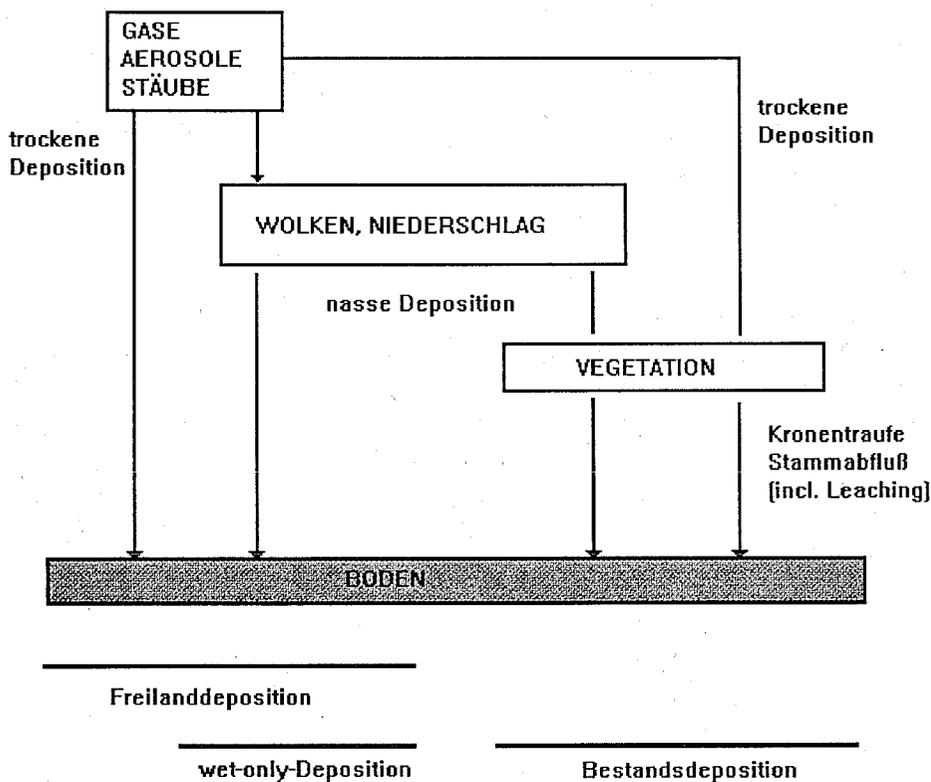


Abb. 7: Schema der Depositionsprozesse und Erfassungsmethoden (nach LAWA 1993, modifiziert)

3.3.1 Erfassung der Deposition

Im Untersuchungsvorhaben werden die Stoffeinträge routinemäßig mit "Bulk"-Sammlern vom Typ LÖLF (BLOCK u. BARTELS 1985) als nasse Deposition auf Freiflächen und als Summe von trockener und nasser Deposition in Waldbeständen erfaßt. Sie gehören zum Typ der Trichter-Flasche-Sammler nach DVWK (1994). Die Polyethylen-Sammler werden mit kunststoffbeschichteten Vogelabweisringen versehen, die eine Kontamination mit Vogelkot verhindern sollen. Kunststoffkanalrohre dienen der Halterung, der horizontalen Ausrichtung und der Abdunkelung der Sammelgefäße. Die Auffangfläche befindet sich etwa 1 m über Grund und beträgt 325 cm².

Im Winterbetrieb werden die LÖLF-Sammler durch Polyethylen-Eimer mit 5 Liter Fassungsvermögen und 217 cm² Auffangfläche ersetzt. Dies ermöglicht in der Winterperiode einen relativ einfachen und störungsarmen Meßbetrieb. Allerdings ist in Warmperioden mit Verdunstungsverlusten zu rechnen. Bei Frost werden die Eimer ausgetauscht und der Inhalt im Labor vorsichtig aufgetaut. Zusätzlich werden im Winter zur Kontrolle der Schneeniederschläge 60 Liter-Wannen mit einer Auffangfläche von 2500 cm² eingesetzt, die mit Federwaagen ausgewogen werden. Die Höhe der Schneedecke wird mit Schneepegeln kontrolliert.

Im Modell-Untersuchungsgebiet Markungsgraben mit Schneehöhen bis zu 2,5 m wird die Höhe der Winterniederschläge ausschließlich mit Schneewannen erfaßt. Diesem Zweck dienen 5 m hohe, schneedruckfeste Holzgerüste, an denen über eine Umlenkrolle die Schneewannen ausgewogen werden. Die Meßstellen sind nur mit Ski zu erreichen. Die Proben Transporte erfolgen mit einem Rucksack. Daher werden 2 Liter - Niederschlagsproben aus einer vor Ort erstellten Mischung des in den einzelnen Sammlern aufgefangenen Schnees bzw. Eis/Wasser-Gemisches erstellt. Diese einfache Methode liefert im Hinblick auf die Projektzielsetzung ausreichend gute Daten der atmosphärischen Depositionsbelastung.

Auf den Freiflächen sind 3 Niederschlagssammler, auf den Bestandsflächen 15 Niederschlagssammler aufgestellt. Entsprechend werden 2 bzw. 5 Schneewannen verwendet.

Auf den Bestandsflächen sind die 15 Sammler in drei Reihen so aufgestellt, daß der Abstand zwischen zwei Sammlern dem mit 0,7 oder 1,3 multiplizierten mittleren Stammabstand der herrschenden Bäume entspricht (DVWK 1984). Dadurch wird die mittlere Bestandsdeposition unter Berücksichtigung der Überkronungssituation ausreichend sicher erfaßt.

1987 und 1988 wurde der Bestandsniederschlag zu drei Mischproben aus je 5 Sammlern zusammengefaßt. Kontaminierte Proben konnten somit ohne wesentlichen Datenverlust verworfen werden. 1989 und 1990 wurden aus Gründen der begrenzten Laborkapazität zwei Mischproben, ab 1991 nur noch eine Mischprobe aus 15 Sammlern gebildet. Die Vorgehensweise ist durch die geringe Kontaminationsrate im Sammelbetrieb gerechtfertigt.

Auf ausgewählten Laubbaumbeständen wird der mit dem Stammabfluß erfolgende Stoffeintrag ermittelt. Dazu wird ein modifiziertes System nach REYNOLDS u. STEVENS (1987) verwendet, mit dem jeweils eine Gruppe von fünf herrschenden Bäume ausgestattet ist. Die Registrierung der Wassermenge und die Abzweigung der Probe erfolgt mit Kippschalenmessern (DVWK 1986). Der Stammabfluß wird über die durchschnittliche Bestockungsdichte (Stammzahl/Fläche) auf die Fläche hochgerechnet. Die Verwendung des Brusthöhendurchmessers zur Hochrechnung (DVWK 1986) ergab identische Ergebnisse. In den Winterperioden wird, nachdem das System nicht frostsicher ist, der Stammabfluß nicht erfaßt.

Die Einträge von Spurenmetallen werden in Anlehnung an BLOCK und BARTELS (1985) mit gesonderten Sammlern ermittelt. Hierfür gibt es zwei Gründe:

- Es wird der gelöste und der säuremobilisierbare (partikelgebundene) Spurenmetallanteil der Deposition erfaßt.
- Zur Desorption von Spurenmetallen am Sammelgefäß ist ein Ansäuern des gesammelten Niederschlags erforderlich.

Die Sammelsysteme bestehen aus glattwandigen PE-Gefrierdosen mit einer mittleren Auffangfläche von 121 cm² und einem Volumen von 1 Liter. Auf den Freiflächen werden 2 Sammler verwendet. Im Ebersberger Forst wird zusätzlich die Bestandsdeposition auf einer Fläche gemessen. Dort sind 5 Sammler im Einsatz.

Die Arbeitsabläufe sind:

- ansäuern der 14-Tages-Mischproben mit HNO₃ p.A. auf etwa pH 1 (geringe Spurenmetallgehalte der HNO₃ p.A. sind vernachlässigbar)
- schütteln
- etwa 12 Stunden stehen lassen
- vereinigen zu Monatsmischproben
- Volumenbestimmung
- Filtern (Cellulose-Membranfilter 0,45µm)
- Analyse

Die Sammler besitzen keinen Verdunstungsschutz. Mit dieser Methode erfolgt daher eine Bestimmung der Deposition von Spurenmetallen, nicht jedoch der Konzentrationen im Niederschlag.

Zum Vergleich der Verfahren werden die mit den LÖLF-Sammlern gewonnenen Niederschläge ca. zweimal im Jahr stichprobenartig auf die vorliegenden Spurenmetall-Konzentrationen untersucht. Die Proben werden nicht angesäuert, so daß nur der gelöste (nicht sorbierte) Anteil der Elemente erfaßt wird.

Die Ergebnisse beider Verfahren müssen streng unterschieden werden.

Der reguläre Sammelzeitraum beträgt 14 Tage. Ist im Sammelzeitraum kein Niederschlag gefallen, bleiben die Sammler weitere 14 Tage exponiert. Die LÖLF-Sammler bzw. Eimer (wenn kein Auftauen notwendig ist) werden nach der Beprobung vor Ort gründlich mit Niederschlagswasser vorgereinigt und dann mit destilliertem Wasser ausgespült. Die Bildung einer Verunreinigungsschicht aus Algen, Bakterien und Staubteilchen, die mit dem gesammelten Niederschlag in Wechselwirkung treten kann, wird dadurch weitgehend vermieden. Bei diesem Verfahren ergibt sich eine Anpassung (Konditionierung) des Materials an die ortstypische Situation. Jährlich findet eine Grundreinigung der Sammler statt. Die Spurenmetallsammler werden vor Ort ausgetauscht, im Labor mit Zitronensäure gespült, anschließend gründlich mit destilliertem Wasser nachgespült und verschlossen.

Zur Bestimmung der Fraktionen von trockener und nasser Deposition im Freiland sind in drei Modell-Untersuchungsgebieten Trocken/Naß-Sammler im Einsatz. Die Ergebnisse liegen noch nicht vor. Zur Überprüfung der mit den Bulk-Sammlern ermittelten Niederschlagshöhen wird je Untersuchungsgebiet mindestens ein Hellmann-Regenschreiber betrieben.

3.3.2 Berechnung der Gebietsdeposition

Die Jahresdeposition (DEP) berechnet sich aus den Produkten der registrierten Wassermenge (ND_i in mm) mit der dazugehörigen Stoffkonzentration (c_i in $mg \cdot l^{-1}$) und der Anzahl der Probenahmen (n) im betrachteten hydrologischen Jahr:

$$DEP = 0,01 \cdot \sum_{i=1}^n (c_i \cdot ND_i) \quad [kg \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}]$$

Bei Ereignissen mit einer Stoffkonzentration kleiner Nachweisgrenze wird die Deposition gleich Null gesetzt.

Zur Ermittlung der jährlichen Stoffdepositionen müssen fehlende Werte (Ausfallzeiten über längere Zeitintervalle oder fehlende Einzelwerte) hochgerechnet werden. Die Gründe für Datenausfall sind:

- Zugang zu Meßflächen nicht möglich
- Personalausfall
- Verlust von Proben
- Verlust von Sammlern
- Windwurf
- Kontamination durch Raupenbefall
- starker Pollenflug
- Ausfall der Analytik

Ereignisse mit massiver, biologisch bedingter Kontamination der Kronentraufe werden bei der Berechnung der Jahresdeposition ausgeschlossen. So mußten in den Jahren 1988 und 1989, als extremer Raupenbefall im Modell-Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser zu starken Kontaminationen der Bestandsniederschläge und zum Teil sogar der Freilandniederschläge führte, die Niederschlagsbeschaffenheitsdaten zweier Monate eliminiert und durch Hochrechnungen ersetzt werden. Im Frühjahr 1992 zwang starker Pollenflug in allen Untersuchungsgebieten zu einer Korrektur der Meßwerte. Im ersten Winter 87/88 verursachten Anlaufschwierigkeiten und Methodenerprobungen im Zusammenhang mit hohen Schneemengen zum Teil mehrmonatige Ausfallzeiten.

Folgende Verfahren werden für die Korrektur von Depositionsdaten angewendet:

Im Freiland wird unter Vernachlässigung der trockenen Deposition die fehlende Stoffmenge (DEP) über die Vergleichsmessungen der Niederschlagshöhe (ND) im Fehlzeitraum, bezogen auf das hydrologische Jahr, nach folgender Beziehung berechnet:

$$DEP_{\text{fehlend}} = DEP_{\text{dokumentiert}} \cdot \frac{ND_{\text{Fehlzeitraum}}}{ND_{\text{dokumentierter Zeitraum}}}$$

Zur Berechnung von fehlenden Stoffeinträgen im Bestand wurden die Depositionen für die Vergleichsbestände eines Modell-Untersuchungsgebietes für jede einzelne Substanz parametrisiert.

Dazu wurden paarweise die Relationen der tatsächlich gemessenen Stoffeinträge in je 2 Meßflächen für die hydrologischen Jahre 1988 - 1990 berechnet. Mit Hilfe dieser Relationen können für Fehlzeiträume die Stoffeinträge in nicht beprobte Bestände abgeschätzt werden, solange in mindestens einem Bestand des Untersuchungsgebietes eine Probenahme stattgefunden hat. Die Relationen sind gültig, solange keine Veränderung der Bestandsstruktur stattfindet. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, die Trockendeposition des Fehlzeitraumes miteinbeziehen zu können.

Für fehlende Einzelwerte von Regeninhaltsstoffen ist dieses Vorgehen routinemäßig nicht praktikabel. Die fehlende Stoffmenge wird analog zum Vorgehen für Freiland über die Niederschlagshöhe abgeschätzt. Vereinzelt benötigte Niederschlagshöhen werden, sofern keine Daten von weiteren Meßpunkten des Untersuchungsgebietes vorliegen, anhand von Messungen der nächstgelegenen DWD-Station ergänzt.

Tab. 1: Ausfallzeiten bei der Niederschlagssammlung

Modell-Untersuchungsgebiet	Meßfläche	Ausfallzeitraum	Bemerkungen
Metzenbach/Birkwasser	Bestand 01	12.12.87-18.12.87	
		26.04.88-20.06.88	Raupenbefall
		26.04.89-06.06.89	Raupenbefall
	Bestand 02	09.12.87-22.01.88	
		16.02.88-13.03.88	
		26.04.88-20.06.88	Raupenbefall
		26.04.89-06.06.89	Raupenbefall
	Bestand 03	10.12.87-22.01.88	
		26.04.88-20.06.88	Raupenbefall
		27.04.89-06.06.89	Raupenbefall
	Bestand 04	10.12.87-22.01.88	
		17.02.88-15.03.88	
		27.04.88-20.06.88	Raupenbefall
		27.04.89-06.06.89	Raupenbefall
Bestand 05	12.12.87-22.01.88		
	27.04.88-21.06.88	Raupenbefall	
	27.04.89-06.06.89	Raupenbefall	
Bestand 06	11.12.87-22.01.88		
	03.03.90-11.05.90	Sturmwurf	
Bestand 07	11.12.87-22.01.88		
	18.02.88-15.03.88		
	28.04.88-21.06.88	Raupenbefall	
	27.04.89-05.06.89	Raupenbefall	
Freifläche 11	09.12.87-22.01.88		
	26.04.88-20.06.88	Raupenbefall	
	26.04.88-05.06.89	Raupenbefall	
Freifläche 12	12.12.87-22.01.88		
	17.02.88-28.03.88		
	27.04.88-20.06.88	Raupenbefall	
	26.04.89-05.06.89	Raupenbefall	
Freifläche 13	09.12.87-22.01.88		
	09.12.87-22.01.88		
Lehstenbach	Bestand 01	24.11.87-19.01.88	
		24.11.87-13.04.88	
	Bestand 02	08.11.88-21.12.88	
		25.11.87-13.04.88	
	Bestand 04	08.11.88-20.12.88	
		01.11.87-13.04.88	
	Bestand 05	25.11.87-13.04.88	
		25.11.87-13.04.88	
Bestand 06	25.11.87-13.04.88		
	25.11.87-13.04.88		
Freifläche 11	25.11.87-13.04.88		
	01.11.87-13.04.88		
	01.11.87-13.04.88		
Freifläche 12	25.11.87-13.04.88		
	25.11.87-13.04.88		
Freifläche 13	25.11.87-13.04.88		
	25.11.87-13.04.88		
Ebersberger Forst	Bestand 04	01.11.87-24.11.87	
		03.07.91-26.08.91	Bestand wegen Bor- kenkäferbefall ein- geschlagen
	Freifläche 14	01.11.87-24.11.87	

Bei der Deposition von Spurenmetallen werden fehlende Werte, nachdem nur Stoffeinträge und keine zugehörigen Wassermengen vorliegen, über das fehlende Zeitintervall bezogen auf das hydrologische Jahr abgeschätzt. Die Spurenmetalleinträge wurden im Meßzeitraum von 1989 bis 1992 weitgehend lückenlos erfaßt.

Für Buchenflächen wurde die im Beobachtungszeitraum erfaßte Deposition mit dem Stammabfluß über die Fehlzeit auf ein Jahr hochgerechnet.

Ab 1991 wurde das Depositionsmeßprogramm auf ca. die Hälfte der bestehenden Meßflächen reduziert. Die Auswahl gebietstypischer Bestände, die weiterbeobachtet wurden, erfolgte über den paarweisen Vergleich der Stoffkonzentrationen im Niederschlag für je zwei Bestände unter Verwendung des t-Tests. So konnten im Spesart von vier untersuchten Buchenbeständen, die Stoffeinträge in ähnlicher Größenordnung zu verzeichnen hatten, drei Bestände aus dem Untersuchungsprogramm genommen werden. Stichprobenartig werden sämtliche Depositionsmeßstellen zwei- bis viermal im Jahr weiterhin beprobt.

Die Beobachtung der Depositionen an mehreren Meßstellen pro Modell-Untersuchungsgebiet ermöglicht eine genauere Abschätzung des flächigen Stoffeintrags. Dies spielt insbesondere bei der Ermittlung von Gebietsbilanzen eine wichtige Rolle, da die Variation der Deposition in Waldgebieten je nach Immissionslage sowie Verteilungsmuster und Struktur der Bestände sehr hoch sein kann. Die berechnete Gebietsdeposition wird über Gewichtungsfaktoren abgeschätzt, die die Flächenanteile bezüglich Baumarten und Baumalter bezogen auf die Einzugsgebietsfläche berücksichtigen (siehe Forstinventurdaten). Beim Untersuchungsgebiet Markungsgraben wird zusätzlich die Topographie des Gebietes einbezogen. Da die vier Untersuchungsgebiete fast vollständig bewaldet sind, können die Depositionen im Freiland bei der Berechnung des Flächeneintrags vernachlässigt werden.

Für die Ermittlung der Gebietsdeposition werden die Depositionen der Einzelbestände mit den zugehörigen Wichtungsfaktoren (Tab. 2) multipliziert und aufaddiert.

Tab. 2: Wichtungsfaktoren zur Ermittlung der Gebietsdeposition

Modell-Untersuchungs- gebiet	Bestand 01	Bestand 02	Bestand 03	Bestand 04	Bestand 05	Bestand 06	Bestand 07
Metzenbach/Birkwasser	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0	0,6
Lehstenbach	0,26	0,073	0,26	0,073	0,26	0,073	-
Markungsgraben	0,25	0,25	0	0,5	-	-	-
Ebersberger Forst	0,225	0,225	0,05	0,225	0,05	0,225	-

Um die Gebietsdeposition der Jahre 1991 und 1992 (reduziertes Meßprogramm) mit den Stoffeinträgen der Jahre 1988 bis 1990 vergleichen zu können, wurden die Depositionen für die stillgelegten Bestandsmeßflächen nach oben genanntem Verfahren hochgerechnet.

3.3.3 Klimamessung

Im Rahmen des Entwicklungsvorhabens werden verschiedene klimatische, hydrologische und bodenphysikalische Faktoren unter Einsatz einer vollautomatischen Wetterstation mit Pegelsonde und Tensiometerfeld erfaßt (Abb. 8). Zur Zeit ist eine Station in Betrieb, die Bewertungsgrundlagen für den praxisgerechten Einsatz im Integrierten Meßnetz Stoffeintrag - Grundwasser liefert.

Aufgrund der Probleme mit der Energieversorgung aus dem Stromnetz (Kabelverlegung, Schutzmaßnahmen und Vorschriften) wurde eine solarbetriebene (autarke) Wetterstation ausgewählt. Bei Verwendung von beheizten Niederschlagswaagen ist diese Lösung wegen des Energieverbrauchs im Winter nicht praktikabel.

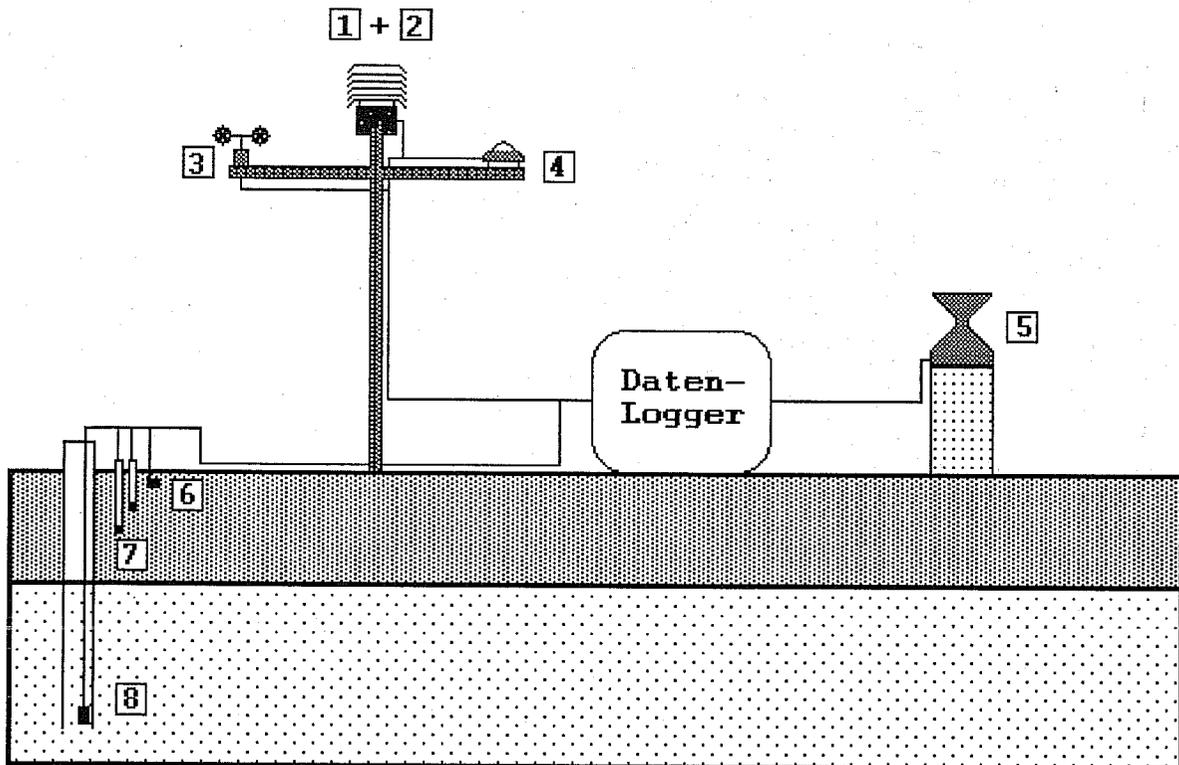


Abb. 8: Klimastation mit Tensiometerfeld und Grundwasser-Meßeinheit

Den Kern der automatischen Meßwerterfassung bildet eine microprozessorgesteuerte Erfassungs-, Steuer- und Speichereinheit (Datenlogger). Die Peripherie stellen die Meßwertgeber (Sensoren) dar. Im Gebiet der Münchener Schotterebene werden seit Juli 1992 folgende Parameter registriert:

Klimaparameter:

- Relative Luftfeuchte (1)
- Lufttemperatur (2)
- Windgeschwindigkeit (3)
- Globalstrahlung (4)
- Niederschlagshöhe (5)
- Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (6)

Hydrologische Parameter:

- Bodensaugspannung in 100 und 200 cm Tiefe (7)
- Grundwasserstand (8)

Der Datenlogger registriert zur Zeit alle 10 Minuten Meßwerte. Daraus werden Stundenmittelwerte gebildet und gespeichert. Mit den aufgenommenen Werten kann das Klima der Umgebung charakterisiert und im Rahmen von Wasserhaushaltsmodellen verwertet werden. Weiterhin sind sie Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der potentiellen Verdunstung und geben Hinweise auf die lokalen Rahmenbedingungen der atmosphärischen Deposition.

3.4 Boden und tiefere Sickerzone

Die Sickerzone gliedert sich in zwei Hauptabschnitte. Der obere Abschnitt umfaßt die belebte Bodenzone bis zur Unterkante des hydraulisch wirksamen Wurzelraums, der untere Abschnitt den Bereich bis zum Grundwasserspiegel. Infiltriertes Niederschlagswasser unterliegt stofflichen Veränderungen. Diese Veränderungen beruhen auf biologischen (Pflanzenaufnahme, Mikrobenaktivität), chemischen (Verwitterung) und physikalisch-chemischen (Sorption, Desorption) Vorgängen. Ein Kennzeichen von Versauerung ist die Freisetzung von Metallionen aus der Bodenfestphase. Diese Freisetzung kann bis weit unterhalb der Bodenzone in das Gestein hineinreichen. Die im folgenden dargestellten Methoden dienen in Kombination der Erfassung von Bildungsbedingungen und Belastungspfaden des Grundwassers.

3.4.1. Standortkartierung

Im Jahr 1986 wurde in den Modell-Untersuchungsgebieten eine flächendeckende Forstliche Standortkartierung durchgeführt. Für das Modell-Untersuchungsgebiet Markungsgraben konnte auf das bereits vorhandene Standortoperat zurückgegriffen werden. In der Forstlichen Standortkartierung werden Standortseinheiten unter ökologischen Gesichtspunkten nach Substrattyp (z.B. Sand, Lehm), Geländewasserhaushalt (z.B. trocken, frisch), Bodenvegetation und standörtlichen Besonderheiten (z.B. überdurchschnittlicher Humusreichtum oder Bodenverdichtung) ausgeschieden.

Nach einer Literaturlauswertung (Klima, Geologie, Bodenkunde, Vegetation, Waldbau) wird das Gelände systematisch im Grundraster von 50 m · 50 m mit dem Pürkhauer Bohrer kartiert (4 Bohrungen pro Hektar). An Stellen, wo Relief, Bodenvegetation oder andere Merkmale auf eine zusätzliche Änderung der standörtlichen Gegebenheiten hinweisen, werden weitere Bohrungen durchgeführt. Die maximal erfaßte Tiefe beträgt dabei 1 m.

Musterprofile, die jeweils bestimmte Standortseinheiten repräsentieren, wurden an den Bestandsmeßflächen angelegt. An ihnen erfolgte eine genaue bodenkundliche Aufnahme nach Horizontfolge, Bodenart, Gefüge, pH-Wert, Dichte, Skelettanteil und Durchwurzelung.

3.4.2 Sickerwasser

Bodenwasser bzw. Sickerwasser wird mit Hilfe von Saugkerzen (Unterdruck-Lysimetern) aus verschiedenen Tiefen entnommen und auf seine Wasserinhaltsstoffe untersucht. Die verwendeten keramischen Aluminiumoxid-Sinterkerzen (SKA 100 FF; mittlerer Porendurchmesser = 0,5µm) haben sehr gute physikalische Eigenschaften, sind robust, relativ gut zu verarbeiten und verhalten sich weitgehend inert gegenüber den Hauptinhaltsstoffen (GROSSMANN, J. 1988). Sie werden vor dem Einbau mit 1 M HCl und anschließend mit destilliertem Wasser gespült, bis keinerlei Chloridreste mehr vorhanden sind. Zur Anpassung an das bodenchemische Milieu (Konditionierung) wird nach dem Einbau der Saugkerzen möglichst viel Bodenwasser gefördert und über einen Zeitraum von ein bis zwei Monaten verworfen.

Der Einbau der Saugkerzen muß mit äußerster Sorgfalt betrieben werden, um Bodenstörungen im Saugbereich möglichst gering zu halten. Insbesondere ist darauf zu achten, daß keinerlei organisches Material in die Tiefe verlagert wird. Zum Einbau werden Schlitzbohrstangen verwendet, gelegentlich kombiniert mit Rammstangen. In steinigten Böden ist der Kapillarkontakt der Kerzen zum Boden schwer zu realisieren. Um dieses zu erreichen, sind

die Kerzen mit feinem Quarzsand eingeschlämmt. Der Sand wird zuvor mit Salzsäure gewaschen und mit destilliertem Wasser nachgespült. Die Systeme sind in 4-facher Wiederholung pro Entnahmetiefe in unterschiedlicher Entfernung radial zu einem repräsentativen Bezugsbaum angeordnet. Damit werden die wichtigen Heterogenitätsfaktoren Überschirmung, Stammabstand und laterale Wurzelverteilung näherungsweise erfaßt. Die Saugkerzen sind vertikal in den Standardtiefen 50, 100, 150 und 200 cm eingebaut. Darüberhinaus wurden Saugkerzen in größeren Tiefen installiert: Im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser bis 450 cm, im Untersuchungsgebiet Lehstenbach bis 300 cm. Im Modell-Untersuchungsgebiet Markungsgraben konnte aufgrund des felsigen Untergrunds nur bis maximal 150 cm bestückt werden.

Wegen des Bezugs zur Grundwasserneubildung wird nur das in den Grobporen frei perkolierende Sickerwasser beprobt. Dazu wird über einen Zeitraum von vier bis fünf Tagen an die Systeme ein Unterdruck von ca. 300 hPa angelegt (Intervallbetrieb). Die gewonnene Bodenlösung sammelt sich in den lichtundurchlässigen Polyethylenschäften der Saugkerzen und bei relativ konstanten Temperaturen unter der Bodenoberfläche an. Die Probenahme erfolgt 14-täglich.

Insgesamt sind in den vier Gebieten 326 Saugkerzensysteme routinemäßig eingesetzt, davon 118 Systeme im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser. Ab Januar 1991 wurde das Meßprogramm analog zu den Depositionsmessungen um ca. 30% gekürzt. In der Regel wurde von jenen Meßtiefen eines Meßplatzes, die einen vergleichbaren hydrochemischen Typus aufwiesen, eine Tiefenstufe im routinemäßigen Meßprogramm belassen.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Meßzeiten für Sickerwasser im Auswertzeitraum.

Tab. 3: Meßzeiträume bei der Sickerwasseruntersuchung

Modell-Untersuchungs- gebiet	Meßfläche	Tiefe	Meßzeitraum
Metzenbach/Birkwasser	01	50 cm	10.87-10.92
		100cm	10.87-10.92
		150cm	01.89-10.92
		200cm	01.88-10.92
		250cm	05.91-10.92
		300cm	05.91-10.92
		350cm	05.91-10.92
		450cm	08.89-10.92
	04	50cm	08.89-10.92
		100cm	08.89-10.92
		150cm	08.89-10.92
		200cm	08.89-10.92
		390cm	08.89-10.92
	05	50cm	10.87-10.92
		100cm	10.87-10.92
		150cm	08.89-10.92
		200cm	10.87-10.92
		450cm	08.89-10.92
	06	50cm	08.89-10.92
		100cm	08.89-10.92
		150cm	08.89-10.92
		200cm	08.89-10.92
		450cm	08.89-10.92
	07	50cm	10.87-10.92
		100cm	10.87-10.92
		150cm	08.89-10.92
		200cm	08.89-10.92
		450cm	08.89-10.92
08	150cm	09.92-10.92	
	280cm	09.92-10.92	
	340cm	09.92-10.92	
Markungsgraben	01	50cm	08.89-10.92
		100cm	08.89-10.92
		150cm	08.89-10.92
	02	50cm	08.89-10.92
		100cm	08.89-10.92
		150cm	08.89-10.92
	04	50cm	08.89-10.92
		100cm	08.89-10.92
	05	50cm	04.92-10.92
		100cm	04.92-10.92
		150cm	04.92-10.92

Fortsetzung Tab. 3:

Modell-Untersuchungs- gebiet	Meßfläche	Tiefe	Meßzeitraum	
Lehstenbach	01	50cm	06.88-10.92	
		100cm	06.88-10.92	
		150cm	09.88-10.92	
		200cm	07.89-10.92	
		300cm	ab 1993	
	02	50cm	07.89-11.90	
		100cm	07.89-11.90	
	03	50cm	06.88-11.90	
		100cm	06.88-11.90	
		150cm	07.89-11.90	
		200cm	07.89-10.92	
	04	50cm	07.89-11.90	
	05	50cm	06.88-10.92	
		100cm	06.88-10.92	
		150cm	09.88-10.92	
		200cm	07.89-10.92	
		300cm	ab 1993	
	06	50cm	07.89-10.92	
		100cm	07.89-10.92	
		150cm	07.89-10.92	
		200cm	07.89-10.92	
		300cm	ab 1993	
	Ebersberger Forst	01	50cm	09.87-10.92
			100cm	09.87-10.92
150cm			09.87-10.92	
200cm			06.89-10.92	
03		50cm	09.87-10.92	
		100cm	09.87-10.92	
		150cm	09.87-10.92	
		200cm	06.89-10.92	
04		50cm	09.87-10.92	
		100cm	09.87-10.92	
		150cm	09.87-10.92	
		200cm	07.89-10.92	
05		50cm	06.89-12.90	
		100cm	06.89-12.90	
		150cm	06.89-12.90	
		200cm	06.89-12.90	

3.4.3 Bodenchemie

An den einzelnen Meßflächen wurde anhand eines Profils der Boden gemäß dem AK STANDORTSKARTIERUNG (1980) angesprochen (Bodenart, Gefüge, Farbe, Durchwurzelung, Skelettgehalt).

Die Probenahme erfolgte 1988 in Anlehnung an die Methode, die für Bodendauerbeobachtungsflächen an Waldstandorten von der LWF entwickelt wurde (BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN u. BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1990). Sie gliedert sich in eine Flächen- und in eine Profilbeprobung. Abweichend wurde im Gebiet Markungsgraben keine Profilbeprobung durchgeführt.

Für die Flächenbeprobung wurden organische Auflage und Mineralboden bis 30 cm Tiefe horizontweise an 12 Punkten entlang einer Diagonalen beprobt, um den kleinräumigen Wechsel einzelner Standortsmerkmale innerhalb der Fläche zu erfassen. Die Proben aus den Entnahmestellen 1-5-9, 2-6-10, 3-7-11 und 4-8-12 vereinigte man zu insgesamt vier Mischproben je Horizont. Die Probenahme erfolgte volumetrisch, bei Humusaufgabe und Mineralbodenhorizonten < 5 cm Mächtigkeit mit Hilfe eines Stechrahmens (20 · 20 · 10 cm), bei den übrigen Horizonten bis 30 cm Tiefe mittels Kernbohrer. Mußte vom vorgegebenen Beprobungsschema abgewichen werden, beispielsweise wenn die Beprobungsstelle auf einen Wurzelstock oder einen gestörten Bodenbereich traf, so wick man auf den nächstmöglichen beprobaren Bereich senkrecht zur Diagonalen aus. Auf den mit Buche bestockten Meßflächen wurde im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser die Flächenbeprobung durch Probenahme unmittelbar am Stammfuß von vorherrschenden Buchen ergänzt, da hier wegen des Stammablaufes mit einem erhöhten Säureeintrag zu rechnen ist.

Die Profilbeprobung erfaßt den Mineralboden in der Tiefe unterhalb von 30 cm bis in der Regel 100 cm. Mittels Stechrahmen (10 · 10 · 10 cm) wurden horizontweise jeweils aus der Mitte des Horizontes an der Profilstirnwand sowie den beiden Seitenwänden volumengerecht Proben gewonnen und die drei Einzelproben eines Horizontes zu einer Mischprobe vereinigt. Bei dieser Methode ist bei Horizonten mit gröberen Steinen bzw. Kies oder mit insgesamt sehr hohem Skelettanteil eine Unterschätzung des Skelettanteils möglich.

Um Kenntnisse über die Puffereigenschaften des tieferen Untergrundes zu gewinnen, wurde 1992 auf ausgewählten Standorten in den Modell-Untersuchungsgebieten Metzenbach/Birkwasser und Lehstenbach ein Hydraulikbohrer zur Beprobung bis zu Tiefen von 2,5 - 4,5 m eingesetzt. Am Bohrkern erfolgte eine Beschreibung der Schichtenabfolge und der jeweiligen Textur (Fingerprobe). In Tiefenstufen von 50 cm wurden Proben aus jeweils 3 - 5 Bohrungen entnommen und pro Tiefe zu einer Mischprobe vereinigt. Das Analysenprogramm (s.u.) beschränkte sich auf die austauschbaren Kationen (NH_4Cl -Extrakt) und die Bestimmung der pH-Werte in Wasser und in 1 M KCl-Lösung.

Nach mindestens sechstägiger Lufttrocknung wurden die Proben auf 2 mm gesiebt und die Fraktionen < 2 mm (= Feinerde) und > 2 mm (= Skelett) gewogen. Dabei wurden auch organische Bestandteile (z.B. Wurzeln), die größer als 2 mm waren, als "Skelett" gerechnet. Für die Gesamtanalyse an Kohlenstoff und Stickstoff und den Königswasseraufschluß wurde ein Probenanteil der Feinerde in einer Planeten-Schnellmühle mit Achatmahlbechern zerkleinert. Die Lagerung erfolgte in 1000 ml und 100 ml Braunglasbehältern.

Folgendes Analysenprogramm wurde mit einer Doppelbestimmung je Probe durchgeführt:

- pH-Werte in 0,01 M CaCl_2 , H_2O und 1 M KCl (SCHEFFER/SCHACHT-SCHABEL 1992)

- austauschbare Kationen (Schüttelextraktion mit 0,5 M NH_4Cl): Ca, Mg, K, Na, H, Al, Fe, Mn (FRANCKE-CAMPANA 1987)
- Königswasseraufschluß für Elementgesamtgehalte:
K, Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Zn, Cu, P, S
(DIN 38417 Teil 7 1983)
- Gesamtgehalte an C und N am C+N-Analyzer
- P citratlöslich (1%ige Citronensäure) (VDLUFA 1991)

Zur Darstellung der Daten nach gängigen bodenchemischen Kriterien wurden folgende Berechnungen durchgeführt:

- Trockenraumgewicht d_b aus Gesamtgewicht der Probe und entnommenem Volumen
- austauschbare Protonen gemäß ULRICH (1966)
- effektive Kationenaustauschkapazität (AK_e) als Summe der austauschbaren Kationen (in $\text{mmol IÄ}\cdot\text{kg}^{-1}$) mit folgenden Wertigkeiten für die einzelnen Kationen:

einwertig	:	H, Na und K
zweiwertig	:	Mg, Ca, Mn und Fe
dreiwertig	:	Al

- Anteile der austauschbaren Kationen an der AK_e (=Sättigungsgrade) in Prozent.
- Anteile der Alkalien und Erdalkalien an der AK_e (=Basensättigung) in Prozent.
- Elementgesamtvorräte in der Feinerde aus dem Königswasseraufschluß und Gesamt-Stickstoffgehalt (in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$) pro Horizont und bis zu einer maximalen Tiefe von 1 m Mineralboden aufsummiert. Berechnung wie folgt:

Gehalt d. Feinerde [$\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$] \cdot Trockenraumgewicht [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] \cdot
(1 - Skelettanteil) \cdot Horizontmächtigkeit [cm].

Zu beachten ist, daß in carbonathaltigen Bodenproben (gekalkter Oberboden der Fläche 05 im Fichtelgebirge und carbonathaltige Unterböden in der Münchener Schotterebene) durch das leicht saure Extraktionsmittel (0,5 M NH_4Cl) Carbonate zum Teil aufgelöst werden. Die Calcium- und Magnesium-Werte solcher Proben können somit nicht mehr sinnvoll interpretiert werden, da sie sich aus tatsächlich austauschbaren Kationen und aus dem Magnesium und Calcium der gelösten Carbonate zusammensetzen.

Die Ergebnisse gleicher Standorte wurden gemittelt und sind im Tabellenteil als typische Standorte mit ihrem Anteil an der Gebietsfläche für die jeweiligen Modell-Untersuchungsgebiete aufgeführt.

3.4.4 Bodenphysik

Als bodenphysikalische Parameter wurden bestimmt:

- Dichte des Bodens,
- gesättigte Leitfähigkeit,
- Porosität,
- Porengrößenverteilung

und daraus ableitbare Parameter (z.B. Feldkapazität).

Die hydrologische Bedeutung der bodenphysikalischen Parameter für das Einzugsgebiet liegt vor allem in der Beeinflussung der Evapotranspiration und des Abflußverhaltens in den Deckschichten und damit der Grundwasserneubildung. Die Beziehungen zwischen Saugspannung und Porengröße und die daraus abgeleiteten Wasserbindungsformen und Speicherkapazitäten (Abb. 9) geben Hinweise zur Verweilzeit des Sickerwassers im Untergrund und liefern wegen der Kinetik chemischer Reaktionen auch Interpretationshilfen bei der Bewertung hydrochemischer Befunde.

Saugspannungsbereich mbar (cm Wasser (1g mbar) säule)		pF-Wert (lg mbar)	Äquivalentdurchmesser der Poren in μm	Bezeichnung der Poren	Unterteilung des Bodenwassers		Unterteilung der Speicherkapazität	
< 60	< 1,8	> 50	schnell dränende Grobporen	schnell bewegliches	Sickerwasser	Luftkapazität bzw. Speicherkapazität für Grund- und Stauwasser		maximale Wasserkapazität
60-300	1,8-2,5	50-10	langsam dränende Grobporen	langsam bewegliches		nutzbare Feldkapazität	Feldkapazität	
300-15000	2,5-4,2	10-0,2	Mittelporen	pflanzenverfügbares	Haftwasser			
Permanenter Welkepunkt								
> 15000	> 4,2	< 0,2	Feinporen	nicht pflanzenverfügbares				

Abb. 9: Beziehungen zwischen Saugspannung und Porengröße und die daraus abgeleiteten Wasserbindungsformen und Speicherkapazitäten (Aus: AG BODENKUNDE 1982)

Zur Untersuchung der bodenphysikalischen Parameter des Bodens und der tieferen Substratschichten wurden 200 gestörte und ungestörte Proben (Stechzylinder 100 cm³) entnommen. Probenvorbereitung und Untersuchungen wurden nach HARTGE, K.H. u. HORN, R. (1989) und KRETZSCHMAR, R. (1989) durchgeführt. Zur Bestimmung der Porenanteile wurden die Stechzylinderproben bei Saugspannungen von pF = 1,8 und pF = 2,5, die gestörten Proben bei pF = 4,2 untersucht.

Die Proben wurden dem humosen Oberboden (A_h-Horizont in 10 bis 20 cm Tiefe), dem Verwitterungshorizont (B-Horizont in ca. 50 cm Tiefe) und dem darunter anstehenden Ausgangsmaterial (C- bzw. C_v-Horizont in ca. 1,5 m Tiefe) entnommen. Je Untersuchungsgebiet wurden 6 Profile (Ausnahme Markungsgraben) in drei Tiefen mit jeweils 4 Parallelen beprobt. In blockreichen Unterböden (Markungsgraben) wurde das Probenmaterial zwischen den Blöcken gewonnen.

Im kiesigen Ausgangsmaterial des Modell-Untersuchungsgebietes Ebersberger Forst wurde das Gesamtporenvolumen mit Hilfe der Volumenersatz-Methode bestimmt.

Die Beprobung erfolgte unter Berücksichtigung der wichtigsten Standortseinheiten der Modell-Untersuchungsgebiete an den vorhandenen Bodenprofilen der Bestandsmeßflächen (Tab. 4 - 7).

In den Modell-Untersuchungsgebieten wurden folgende Meßflächen untersucht:

Tab. 4: Bodenphysikalische Beprobungen im Modell-Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser:

Standortseinheit	Flächenanteil	Meßflächen (Profil-Nr.)	Probenzahl
61: Hangsande	25,8%	1 (SPS 1), 3 (SPS 3)	24
62: schluffarme Hangsande	28,1%	100 m W' Höhen. 535 (SPS10)	12
69: sandige Verebnungen	15,1%	4 (SPS 4), 50 m N' Meßfl. 4 (SPS 8)	24
32: zweischicht. Hangböden	3,0%	70 m S' Meßfl. 4 (SPS 9)	16

Tab. 5: Bodenphysikalische Beprobungen im Modell-Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Standortseinheit	Flächenanteil	Meßflächen (Profil-Nr.)	Probenzahl
Lehm (schwache Blocküberlagerung)	ca. 25%	1 (BYW 1), 2 (BYW 2)	24
mittel- bis tiefgründiger Lehm über verfestigtem Schutt	ca. 25%	3 (BYW 3), 4 (BYW 4)	24

Tab. 6: Bodenphysikalische Beprobungen im Modell-Untersuchungsgebiet Lehstenbach:

Standortseinheit	Flächenanteil	Meßflächen (Profil-Nr.)	Probenzahl
A 1.3.1: lehmige Sande	10,8%	3 (FIG 3), 5 (FIG 5)	24
A 1.3.2: schluf.-lehmige Gruse	12,7%	300 m S' Meßfl. 2 (FIG 8)	12
B 1.1.1: schluf.-lehmige Gruse	17,2%	1 (FIG 1), 6 (FIG 6)	32
B 1.1.2: lehmige Gruse	15,3%	200 m NE' Schläppnerbr. (FIG 7)	16
C 2.1.2: anmoorige Hanggleye	17,4%	4 (FIG 4)	12

Tab. 7: Bodenphysikalische Beprobungen im Modell-Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst:

Standortseinheit	Flächenanteil	Meßflächen (Profil-Nr.)	Probenzahl
15: kiesige, sandige Lehme	50,0%	1 (EBE 1), 2 (EBE 2), 3 (EBE 3)	24
18: tiefgründige Lehme	35,0%	4 (EBE 4), 5 (EBE 5), 6 (EBE 6)	24

3.5 Grundwasser und Quellen

Zentraler Gegenstand der Untersuchungen ist das Grundwasser, insbesondere das stärker gefährdete oberflächennahe Grundwasser mit seinen Quellaustritten. Da zu jeder Integrierten Meßstelle eine Grundwasser-Beschaffenheitsmeßstelle gehört, ist das Grundwasser in den Modell-Untersuchungsgebieten außergewöhnlich gut erfaßt. Es können so die generell einheitlich wirkenden Grundwasserverhältnisse in ihren kleinräumigen Ausprägungen wesentlich besser beschrieben werden. Diese sind oft maßgeblich für die hydrochemischen und hydrologischen Rohwasserzustände an betroffenen Kleinwasserversorgungen.

3.5.1 Hydrogeologische Untersuchungen

Die Charakterisierung der Grundwasserleiter und der Grundwasserfließbedingungen erfordert neben der Erfassung der Grundwasserstands-Ganglinien spezielle hydrogeologische Untersuchungen. Für alle Beschaffenheitsmeßstellen erfolgte eine geologische Ansprache des Bohrguts (Kerne und Bohrklein). Dabei wurde die Art und Ausbildung der Zersatzzone, Mächtigkeit und Abfolge von Tonlagen (Buntsandstein) und das Vorkommen wasserleitender Klüfte (an Bohrkernen) besonders beachtet.

Im Rahmen einer Diplomarbeit (RÜDIGER 1993) wurden im Modell-Untersuchungsgebiet Lehstenbach weitere Sonderuntersuchungen vorgenommen:

- Brunnen-Logs (Temperatur, Leitfähigkeit, Gamma, Flowmeter)
- Slug- und Bailtests zur Abschätzung von Transmissivität und Speicherkoeffizient
- Pumpversuche zur Abschätzung von Transmissivität und Durchlässigkeit (k_f -Wert)

Ebenfalls im Modell-Untersuchungsgebiet Lehstenbach werden aus Zeitreihen der stabilen natürlichen Isotope ^{18}O und ^2H (Deuterium) die Verweilzeiten des Wassers im Untergrund abgeleitet.

3.5.2 Modell-Untersuchungsgebiete

In den vier Modell-Untersuchungsgebieten wurden insgesamt 23 Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen eingerichtet. Der Ausbau der Meßstellen erfolgte mit einfachgeschlitzten PVC-Filterrohren (DN125 entsprechend 5 Zoll) mit PVC-Aufsatzrohren sowie einfacher Filterkies-Schüttung und Tonkugeldichtung im Ringraum. Der V2A-Edelstahlkopf ist gegen den Brunnen vollständig abgedichtet, so daß eine Kontamination des Brunnenwassers mit Schwermetallen vermieden wird. Die Tiefe und Länge der Filterstrecke richtet sich nach den zur Zeit des Ausbaus vorliegenden Grundwasserständen. In den Modell-Untersuchungsgebieten Markungsgraben und Ebersberger Forst wird zusätzlich je eine Erkundungs-Meßstelle in die Untersuchung einbezogen, die als DN50 (2 Zoll) ausgebaut ist.

Zur Gewinnung repräsentativer Grundwasserproben werden Unterwasserpumpen verschiedenen Typs ca. 5 m unterhalb des Grundwasserspiegels betrieben. Sie fördern Mischwasser aus dem verfilterten Bereich des Grundwasserleiters. Nach ausreichend langem Freipumpen erfolgt die Probenahme. Sind die Meßstellen nicht anfahrbar, wird ein Schöpfer verwendet. Diese Technik kommt hauptsächlich im Modell-Untersuchungsgebiet Markungsgraben während der Wintermonate, gelegentlich in den Untersuchungsgebieten Lehstenbach und Metzenbach/Birkwasser zum Einsatz. Die Grundwasserprobenahme erfolgt im Turnus von acht Wochen zeitgleich zur Probenahme der Rohwässer an den zugeordneten Wasserversorgungen der Untersuchungsgebiete Metzenbach/Birkwasser und Ebersberger Forst. Der Grundwasserstand wird 14-täglich mittels Lichtlot kontrolliert. Lediglich im Untersuchungsgebiet Markungsgraben kommt aufgrund der niedrigen elektrischen Leitfähigkeit des Grundwassers eine Brunnenpfeife zum Einsatz.

Im Modell-Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser ist die Grundwassermeßstelle 02 zu gering abgeteuft, so daß bei niedrigen Grundwasserständen eine Probenahme häufig nicht möglich war. An der Grundwassermeßstelle 04 im Untersuchungsgebiet Lehstenbach ist mit hoher Wahrscheinlichkeit eisenhaltiges Ausbaumaterial im Bohrloch verblieben. Die bei den vorherrschenden reduzierenden (Moorüberdeckung) Bedingungen zu erwartenden Eisengehalte sind extrem hoch.

An allen hydrogeologisch bedeutenden Quellen wird 14-täglich eine Schöpfprobe genommen. Die untersuchten Quellen sind zum Teil gefaßt, zum Teil ungefaßt. Während im Buntsandsteingebiet Metzenbach/Birkwasser der Großteil der Quellen intermittierenden Charakter besitzt, sind die Quellen der Granit/Gneisgebiete Markungsgraben und Lehstenbach überwiegend perennierend. In den Quartärschottern des Untersuchungsgebietes Ebersberger Forst sind keine Quellaustritte vorhanden.

3.5.3 Roh- und Reinwasser in den Wasserversorgungen der Regionen

Die oberflächennahen Grundwasservorkommen, die in den Weichwassergebieten Bayerns für die Wasserversorgung herangezogen werden, zeigen in ihrer Beschaffenheit kleinräumige Variabilitäten von zum Teil beträchtlichem Ausmaß. Wenn möglich wurden daher die einzelnen Quellen, die einer Wasserversorgungsanlage zufließen, sowie das Mischrohwater, das direkt auf das Entsäuerungsmaterial fließt, beprobt. Die Reinwasserproben wurden in der Regel unmittelbar nach dem Entsäuerungsfiter genommen.

Zur Erfassung der Grundwasserversauerung in den Weichwassergebieten Nord- und Ostbayerns wurde im Zeitraum September 1988 bis Juli 1989 im vierteljährigen Abstand zur Erfassung der zeitlichen Variabilität ein flächendeckendes Untersuchungsprogramm durchgeführt. Die dabei erfaßten 342 Rohwässer (284 Wasserversorgungen) stellen einen repräsentativen Querschnitt für die Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers in den versauerungsgefährdeten Regionen Bayerns dar.

Im einzelnen wurden je Region beprobt:

- Spessart	58 Wasserversorgungen
- Frankenwald	35 Wasserversorgungen
- Fichtelgebirge/Steinwald	51 Wasserversorgungen
- Oberpfälzer Wald	52 Wasserversorgungen
- Bayerischer Wald	88 Wasserversorgungen

Aufgrund der Ergebnisse dieser flächendeckenden Untersuchung wurde die Zahl der beobachteten Wasserversorgungen ab September 1989 bis März 1991 auf 76 reduziert. Dabei wurden einige neue Wasserversorgungen in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, die vorher nicht beprobt wurden. An diesen Wasserversorgungen wurden monatlich Proben gezogen. Die Auswahl der Versorgungen erfolgte anhand des Versauerungsgrades und der Aluminiumkonzentrationen des Rohwassers sowie der Entsäuerungsleistung.

Ab März 1991 wurde die Anzahl der Probenahmestellen nochmals auf 37 reduziert.

3.6 Oberirdische Gewässer

3.6.1 Gewässerchemie und Stoffaustrag

In den drei nord- und ostbayerischen Modell-Untersuchungsgebieten sind Abflußpegel mit zugehöriger Probenahmestelle zur Erfassung des Gebietsabflusses und des Stoffaustrags eingerichtet. Das Doppeleinzugsgebiet Metzenbach/Birkwasser ist mit zwei Abflußpegeln ausgestattet. Im Modell-Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst existiert kein oberirdischer Abfluß. Die Pegel sind in den regulären Meßdienst der Wasserwirtschaftsverwaltung eingebunden. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die verwendeten Typen.

Die auf Schreibstreifen registrierten Wasserstandsdaten werden zur weiteren Verarbeitung (z.B. Tagesmittel des Abflusses) digitalisiert. Zur Ermittlung der Eichbeziehung zwischen Wasserstand und Abfluß werden an den Pegeln mit Venturigerinnen mehrmals jährlich Messungen mit Meßflügeln durchgeführt. Die Meßwehre mit Beruhigungsbecken und Dreiecksüberfall erfordern keine Eichmessungen. Sehr selten ist bei Überflutung der Anlagen eine Abflußschätzung notwendig.

Tab. 8: Beschreibung der Abflußpegel

Gewässer	Pegel	Wasserstandsmessung	Gerinne
Metzenbach (Spessart)	Bischbrunn	Lattenpegel Schwimmerschreibpegel	Meßwehr mit 120 Grad Dreiecksüberfall
Birkwasser (Spessart)	Bischbrunn	Lattenpegel Schwimmerschreibpegel	Meßwehr mit 90 Grad Dreiecksüberfall
Markungsgraben (Bayer. Wald)	Racheldiensthütte	Lattenpegel Pneumatikpegel	provisorisches Venturi- gerinne
Lehstenbach (Fichtelgeb.)	Zigeunermühle	Lattenpegel Schwimmerschreibpegel	Venturigerinne

Der Abfluß im Modell-Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser erfolgt zum Teil unterirdisch und wird daher am Abflußpegel nicht vollständig erfaßt. Dieses Phänomen ist typisch für hochgelegene Buntsandsteingebiete des Spessarts. Es ist besonders ausgeprägt im Teilgebiet Birkwasser, dessen Pegel regelmäßig von Sommer bis Spätherbst trockenfällt. Daher wird auf die Darstellung der Abflußdaten des Teilgebietes Birkwasser verzichtet. Auch am Metzenbach fiel in den niederschlagsarmen Jahren 1990 und 1991 die Meßstelle trocken.

Der Markungsgraben im Bayerischen Wald besitzt einen ausgesprochenen Wildbachcharakter. Wegen der hohen Kosten eines fachgerecht ausgebauten Pegels und der Priorität des Naturschutzes im inneren Nationalpark wurde eine einfache Lösung bevorzugt. Der Ausbau erfolgte durch Regulierung eines natürlichen Überfalls in der vorliegenden blockigen Struktur des Bachbettes.

Die Beschaffenheit der Bachwässer wird sowohl an den Pegeln als auch an mehreren Meßpunkten im Oberlauf der Bäche 14-täglich an Schöpfproben bestimmt. Zusätzlich werden bei Hochwasser Sonderproben genommen.

Grundlage für die Berechnung der Stoffausträge sind die Korrelations- und Regressionsbeziehungen zwischen dem jeweiligen, 14-täglich gemessenen Beschaffenheitsparameter und dem zugehörigen Tagesmittelwert des Abflusses. Dafür wird (im Gegensatz zu allen anderen Berechnungen) für Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze die halbe Nachweisgrenze eingesetzt. Die Ermittlung der Stoffausträge für das hydrologische Jahr 1992 ist noch nicht abgeschlossen.

3.6.2 Kieselalgen

Veränderungen im Säurestatus oberirdischer Gewässer bewirken eine schwerwiegende Veränderung der Lebensgemeinschaften aquatischer Organismen. Kieselalgen (Diatomeen) sind aufgrund ihres unterschiedlichen Verhaltens gegenüber Säurebelastungen besonders geeignet als Bioindikatoren für den Versauerungsgrad des Gewässers. Daher wurde von Mai 1989 bis August 1990 eine Analyse der benthischen (am Gewässerboden lebenden) Kieselalgenesellschaften in den Fließgewässern der drei Modell-Untersuchungsgebiete Metzenbach/Birkwasser, Markungsgraben und Lehstenbach durchgeführt.

Zur Probennahme werden aus dem Bachbett entnommene Steine mit Hilfe einer Bürste sorgfältig abgebürstet. Die Probe wird mit einigen Tropfen Formol fixiert. Um die Feinstruktur der Kieselalgenschale sichtbar zu machen, wird der gesamte Zellinhalt durch Oxidation der organischen Weichteile mit 30%igem Wasserstoffperoxid entfernt. Nach Zugabe von Kaliumdichromat setzen sich die Kieselalgenschalen als weißlich-grauer Sand am Boden der Glasgefäße ab. Nach mehreren Waschvorgängen werden Streupräparate für die Artbestimmung angefertigt. Dazu wird der verdünnte Diatomeenrückstand auf Deckgläschen aufgetropft und nach

dem Eintrocknen auf zuvor mit einem Tropfen Naphrax (d=1,73) versehene, erhitzte Objektträger aufgetragen.

Die Artenbestimmung der Kieselalgen erfolgt mit dem Lichtmikroskop, wobei je Probe 400 bis 600 Schalen pennaler Diatomeen ausgezählt werden. Die relative Häufigkeit der Arten wird auf 0,1% genau ermittelt. Die unterschiedliche Toleranz einzelner Arten gegenüber versauerungsrelevanten chemischen Parametern ermöglicht die Aufstellung eines Toleranzstufen-Systems (ZAHN H. u. SCHREINER C. 1990). Tab. 9 enthält eine Aufstellung der für die Toleranzstufen definierten Konzentrationsbereiche. Die maximalen Stoffkonzentrationen, bei der eine Indikatorart gerade noch in der Lage ist, mindestens relative Häufigkeiten von 10% zu erreichen, sind als Toleranzgrenze definiert.

Tab. 9: Konzentrationsbereiche und Toleranzstufen bei der Bioindikation mit Kieselalgen

Parameter	Konzentrationsbereich	Toleranzstufe
pH-Wert	pH < 4,0	TS _{pH} 1
	4,0 ≤ pH < 5,0	TS _{pH} 2
	5,0 ≤ pH < 6,0	TS _{pH} 3
	6,0 ≤ pH	TS _{pH} 4
Gesamt Aluminium [mg·l ⁻¹]	Al ≥ 3,0	TS _{Al} 1
	3,0 > Al ≥ 1,0	TS _{Al} 2
	1,0 > Al ≥ 0,2	TS _{Al} 3
	0,2 > Al	TS _{Al} 4
DOC [mg·l ⁻¹]	DOC ≥ 9,0	TS _{DOC} 1
	9,0 > DOC ≥ 6,0	TS _{DOC} 2
	6,0 > DOC ≥ 3,0	TS _{DOC} 3
	3,0 > DOC	TS _{DOC} 4
Sulfat [mg·l ⁻¹]	SO ₄ ≥ 30,0	TS _{SO4} 1
	30,0 > SO ₄ ≥ 20,0	TS _{SO4} 2
	20,0 > SO ₄ ≥ 10,0	TS _{SO4} 3
	10,0 > SO ₄	TS _{SO4} 4

Aufgrund ihrer Toleranzgrenze wurden 32 Indikatorarten in Toleranzstufen eingeteilt (Tab. 10).

Tab. 10: Einteilung der Indikatorarten in Toleranzstufen

Art	TS _{pH}	TS _{Al}	TS _{DOC}	TS _{SO₄}
Achnanthes helvetica	2	1	2	1
Achnanthes lanceolata (+var.rostr.)	4	4	3	1
Achnanthes marginulata	2	1	3	1
Achnanthes minutissima	2	2	2	1
Achnanthes oblongella	2	3	3	2
Achnanthes subatomoides	3	4	3	3
Diatoma hiemale (+var.mesodon)	2	3	3	2
Eunotia bilunaris	1	1	1	1
Eunotia exigua	1	1	1	1
Eunotia incisa	1	2	1	1
Eunotia paludosa	1	2	4	2
Eunotia pectinalis	3	4	3	2
Eunotia rhomboidea	1	1	1	1
Eunotia subarquatoides	1	1	1	1
Eunotia sudetica	1	3	1	4
Eunotia tenella	1	2	1	2
Eunotia tridentula	3	4	4	2
Eunotia trinacria	1	2	1	2
Fragilaria capucina	2	2	2	1
Fragilaria capucina var. capucina	3	4	3	3
Fragilaria construens (+var.venter)	4	4	3	3
Fragilaria virescens	3	4	3	3
Fragilaria virescens kl.	3	4	3	3
Frustulia rhomboides (+var.saxon.)	3	4	3	3
Gomphonema parvulum	3	3	3	3
Navicula mediocris	1	1	2	1
Navicula soehrensii	1	1	1	1
Pinnularia appendiculata	1	1	1	1
Pinnularia microstauron	3	2	3	1
Pinnularia subcapitata	3	4	3	3
Pinnularia subcapitata var. hilseana	1	1	1	1
Tabellaria flocculosa	2	3	2	3

Dabei indizieren niedrige Toleranzstufen (aufgrund der hohen Toleranz der Arten) starke Versauerung, hohe Toleranzstufen (niedrige Toleranz der Arten) schwache Versauerung.

3.7 Wasseranalytik

3.7.1 Analyseverfahren und Analyseparameter

Die am Ort der Probennahme durchgeführten Messungen und Probenbehandlungen sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tab. 11: Probebehandlung und Messung vor Ort

Probenart	Messung	Probenbehandlung
Niederschlag	pH-Wert, el. Leitfähigkeit, Temperatur	
Sickerwasser	pH-Wert, el. Leitfähigkeit, Temperatur	
Oberirdische Gewässer und Quellen	pH-Wert, el. Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoff	
Grundwasser	pH-Wert, el. Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoff, Basenkapazität pH 8,2	Filtration 0,45µm (Cellulose) Stabilisierung (Chloroform, HNO ₃ , HCl, H ₃ PO ₄)
Roh- und Reinwasser	pH-Wert, el. Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoff, Basenkapazität pH 8,2	Stabilisierung (Chloroform, HNO ₃ , HCl, H ₃ PO ₄ , K ₂ CrO ₇)

Für die Messungen vor Ort werden tragbare Feldgeräte verwendet.

Tab. 12: Verwendete Feldmeßgeräte für wasseranalytische Parameter

Meßparameter	Gerät
pH	Typ pH196, temperaturkompensiert mit Temperaturfühler Typ 150-1,5 und Elektrode für ionenarme Wässer (Typ 405-88-1M-TE-S7) mit 1M KCl-Lösung
Temperatur	Hg-Präzisionsthermometer
Leitfähigkeit	Typ LF191 temperaturkompensiert
Sauerstoff	OXI196 mit membranbedeckter Elektrode

Die Proben gehen mit dem Begleitprotokoll im Schnellversand an das LfW (Tab. 13). Die Aufbewahrung während der Lagerzeiten erfolgt im Kühlschrank, denn durch niedrige Temperaturen und Vermeidung von Lichteinfall kann ohne großen Aufwand eine Veränderung der Proben minimiert werden (BRÜGGEMANN E. et al. 1991).

Auf das aufwendigere Tiefgefrieren der Proben wurde daher verzichtet.

Die Probenmenge (bei ausreichender Wassermenge) beträgt 500 ml, die in eine PE-Flasche abgefüllt werden. Zur Bestimmung des TOC werden separat 100 ml in eine braune Glasflasche abgefüllt. Weiterhin wird im Grundwasser jährlich eine 1000 ml Probe zur stichprobenartigen Bestimmung von Quecksilber genommen.

Bei der Gewinnung von Sickerwasser wird das Volumen der Probenflasche der vorliegenden Wassermenge angepaßt. Bei der Probenahme von Grundwasser werden die einzelnen vor Ort hergestellten Fraktionen stabilisiert. Zugegeben werden zur

- TOC-Bestimmung : konz. Phosphorsäure (H_3PO_4 p.A.)
- Metallionenbestimmung : konz. Salpetersäure (HNO_3 p.A.)
- N-Verbindungen : Chloroform
- Hg-Bestimmung : HNO_3 p.A. und Kaliumdichromat

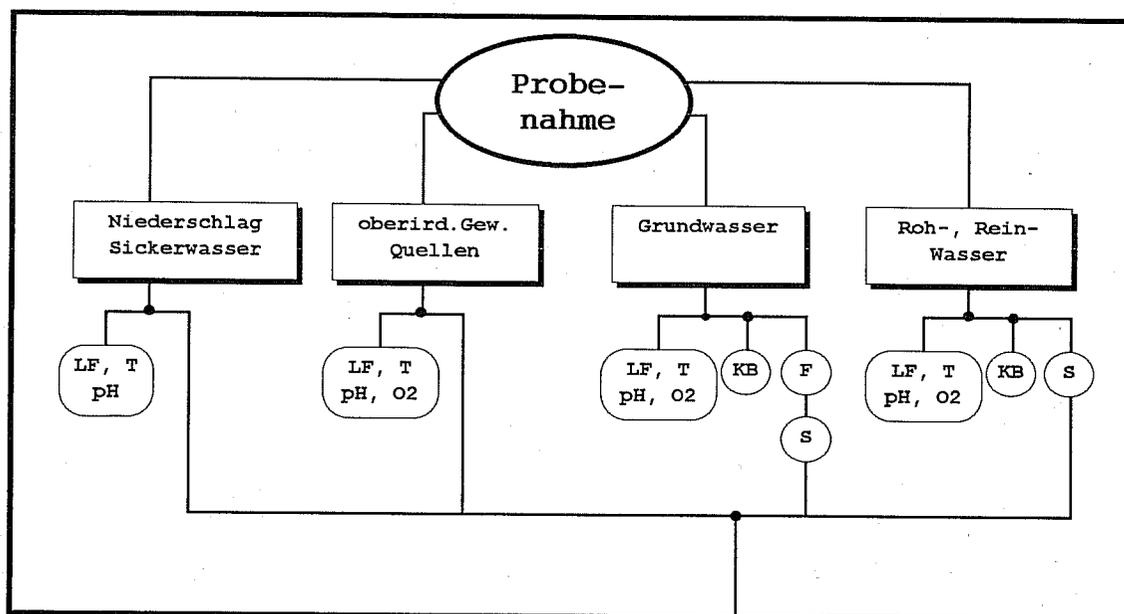
Bedingt durch die Filtration in den Saugkerzen (0,5 µm Porendurchmesser) liegt bei den Sickerwasserproben der organische Kohlenstoff in gelöster Form (DOC) vor.

Bei zu geringer Probenmenge (Sickerwasser) wird auf die Bestimmung von pH-Wert, Leitfähigkeit, TOC und Säurekapazität verzichtet.

Der Ablaufplan von der Entnahme der Probe im Gelände bis zur Analyse ist in Abb. 10 dargestellt.

Im Labor werden pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit zur Kontrolle der Messungen im Gelände (ausgenommen Roh- und Reinwasserproben der Wasserversorgungen) sowie die Säurekapazität (Titration auf pH 4,3) bestimmt. Unfiltrierte Proben (Niederschlag, Quellen, oberirdische Gewässer) werden vor der Fraktionierung für die einzelnen Analysengänge mit einem 0,45 µm Cellulose-

Gelände



Versand

Labor

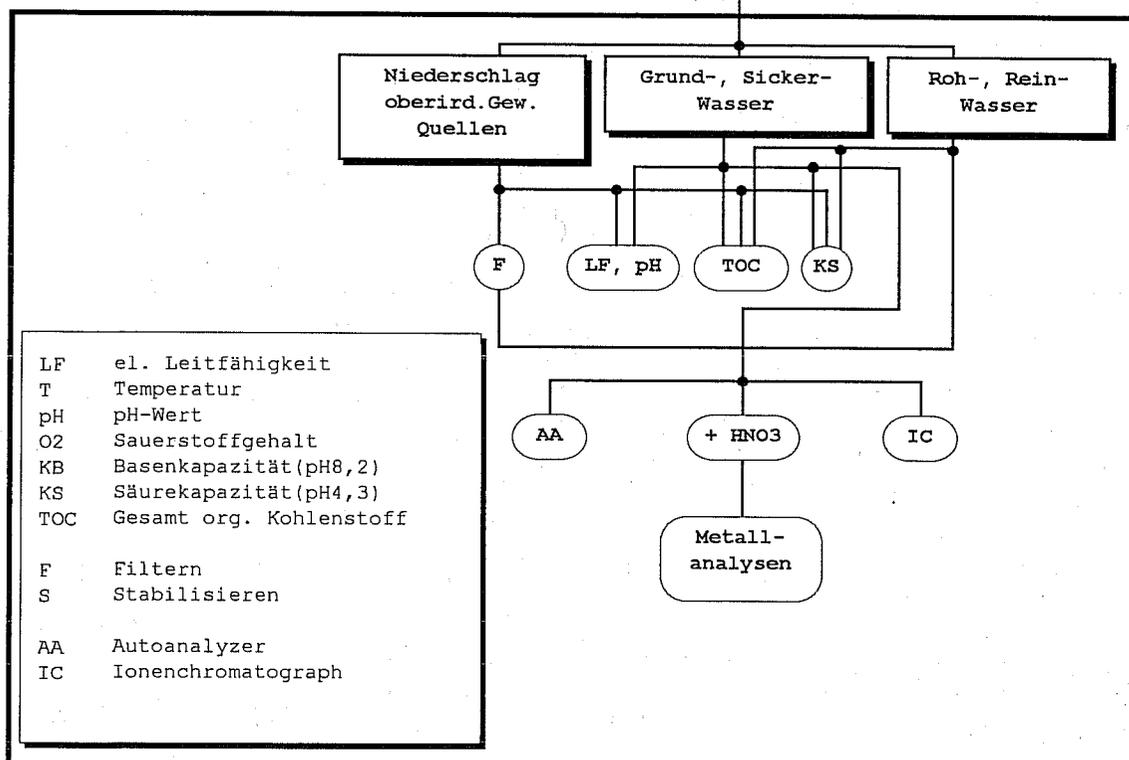


Abb. 10: Organisation von Probenahme, Versand und Laborvorbereitung

Tab. 13: Zeitlicher Ablauf der Probenahmen im zweiwöchigen Turnus

Meßobjekt	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr
Niederschlag:										
Bulk-Sammler		-----Pn-----			---Vs---					
Stammabfluß		-----Pn-----			---Vs---					
Spurenmehallsammler		-----Au-----			---Ba---			Vs(vierwöchig)		
Regenschreiber				----Ko---					----Ko---	
Sickerwasser:				Ud			---Pn---			
Oberird. Gewässer und Quellen:						Pn	---Vs---			
Abflußpegel:							----Ko---			
Grundwasser:										
GwStand				Me						
GwProbenahme										Pn(achtwöchig)

Pn = Probenahme Ud = Unterdruck anlegen Au = Austausch
 Me = Messung Ko = Kontrolle Vs = Versand
 Ba = Bearbeitung

Membranfilter filtriert und danach für die Metallbestimmungen mit HNO₃ p.A. auf pH 1 angesäuert. Der Untersuchungsumfang der speziellen Laboranalytik ist aus Tabelle 14 zu entnehmen. Die Roh- und Reinwasserproben werden grundsätzlich nicht filtriert.

Die Elemente Beryllium, Barium, Cadmium, Blei und Zink werden im Sickerwasser bei jeder zweiten Probenahme, das heißt monatlich bestimmt. Fluorid wird routinemäßig im Roh- und Reinwasser der untersuchten Wasserversorgungen, stichprobenartig im Niederschlag und im Grundwasser an ausgewählten Meßorten mit Schwerpunkt im Fichtelgebirge bestimmt. Chrom wurde 1989 aus dem Meßprogramm genommen, nachdem die Bestimmungsgrenze längerfristig nicht überschritten wurde. Beryllium wird in allen Wässern dann bestimmt, wenn der Aluminiumgehalt der Probe 1 mg·l⁻¹ übersteigt. Die Wasseranalysen werden routinemäßig im Zentrallabor des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft nach DIN-Normen durchgeführt. Nach einer Vorlaufzeit von einem halben Jahr, in dem die Analysen zwecks Geräteabgleich und Einarbeitung des Personals parallel durchgeführt wurden, werden seit 1992 sämt-

Tab. 14: Parameter, Analysemethoden, Bestimmungsgrenzen für die einzelnen Wassertypen

Parameter	Einheit	Meßverfahren	Best.grenze	Wassertyp
Ammonium-N	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E5-1	0,005	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Aluminium	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E22	0,05	N,S,Q,O,G,RO,RE,SN
Basenkap. pH 8,2	mmol·l ⁻¹	DIN 38409-H7-2-2	0,05	Gw,RO,RE
Barium	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E22	0,01	N,S,Q,O,Gw
Beryllium	mg·l ⁻¹	AAS-Graphitrohr	0,001	RO,RE
Blei	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E6-3	0,001	N,S,Q,O,Gw,SN
Cadmium	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E19-3	0,0001	N,S,Q,O,Gw,RO,RE,SN
Calcium	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E22	0,1	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Chlorid	mg·l ⁻¹	DIN 38405-D19	1	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Chrom	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E10-2	0,001	S,Q,O,Gw,SN
Eisen	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E22	0,01	N,S,Q,O,Gw,RO,RE,SN
El. Leitf.	µS·cm ⁻¹	DIN 38404-C8	1	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Fluorid	mg·l ⁻¹	DIN 38405-D4	0,1	RO,RE
Kalium	mg·l ⁻¹	AAS-Flamme-Em.	0,1	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Kieselsäure	mg·l ⁻¹	altes DEV J10	0,2	Q,O,Gw,RO,RE
Kupfer	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E7-2	0,001	RO,RE
Magnesium	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E22	0,1	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Mangan	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E22	0,01	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Natrium	mg·l ⁻¹	AAS-Flamme-Em.	0,1	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Nickel	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E11-2	0,001	SN
Nitrat	mg·l ⁻¹	DIN 38405-D19	0,5	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Nitrit-N	mg·l ⁻¹	DIN 38405-D10	0,005	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
pH-Wert		DIN 38404-C5		N,S,Q,O,Gw,RO,RE
o.-Phosphat	mg·l ⁻¹	DIN 38405-D11	0,01	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Quecksilber	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E12-1	0,0001	Gw,RO,RE
Säurekap. pH 4,3	mmol·l ⁻¹	DIN 38409-H7-1-2	0,05	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Säurekap. pH 8,2	mmol·l ⁻¹	DIN 38409-H7-1-1	0,05	RE
Sauerstoff	mg·l ⁻¹	DIN 38408-G22	0,2	Q,O,Gw,RO,RE
Sp.Abs.Koef.254nm	m ⁻¹	DIN 38404-C3	0,1	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Sulfat	mg·l ⁻¹	DIN 38405-D19	1	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Temperatur	°C	DIN 38404-C4-1		N,S,Q,O,Gw,RO,RE
TOC	mg·l ⁻¹	DIN 38409-H3	0,5	N,S,Q,O,Gw,RO,RE
Zink	mg·l ⁻¹	DIN 38406-E22	0,01	N,S,Q,O,Gw,RO,RE,SN

N = Niederschlag (Bulk-Sammler)

S = Sickerwasser (Saugkerzen)

O = Oberirdische Gewässer

RO = Rohwasser

SN = Spurenmetalle im Niederschlag

Q = Quellen

Gw = Grundwasser

RE = Reinwasser

liche Metallbestimmungen routinemäßig am Labor des Wasserwirtschaftsamtes Bayreuth durchgeführt. Durch Veränderungen in der Geräteausstattung, Fortentwicklung der Analysemethoden etc. waren die Bestimmungsgrenzen zum Teil Schwankungen unterworfen. Die in der Tabelle 14 angegebenen Werte geben den Stand von 1992 wieder.

3.7.2 Plausibilitätskontrollen

Die laborgeprüften Einzeldaten werden auf den die Proben begleitenden Objekt-Datenblättern zusammengefaßt. Sie durchlaufen mehrere Plausibilitätsprüfungen auf EDV-Basis. Trotz des umfangreichen Datenanfalls von bis zu 80.000 Einzelanalysen pro Jahr (Teilprojekt 1) konnten als unplausibel selektierte Analyseergebnisse weitgehend gutachtlich überprüft werden. Fachlich plausible Extremwerte bleiben so erhalten. Die Verschiedenartigkeit der untersuchten Wässer erfordert ein flexibles, dem Wassertyp und der Streuung der Meßwerte angepaßtes Prüfverfahren. So ist bei der Überprüfung von Niederschlagsbeschaffungsdaten, die eine hohe zeitliche Variation aufweisen, der Vergleich von verschiedenen Meßpunkten eines Gebietes ein wichtiger Prüfansatz.

Im Einzelnen werden für die Plausibilitätskontrolle folgende Verfahren, einzeln und in Kombination, eingesetzt:

- Erstellung von Ionenbilanzen
- Berechnung der theoretischen elektrischen Leitfähigkeit
- Durchführung von Ausreißertests
- Vergleich von vor-Ort- und Laborwerten
- Kontrolle der Ganglinien

Grundlage zur Erstellung der Ionenbilanzen sind vollständige Analysen. In Abhängigkeit vom Wassertyp werden Analysen als vollständig bezeichnet, wenn folgende Parameter vorliegen:

- Niederschlagswasser (pH > 5):

Na, K, Mg, Ca, NH₄, NO₃, SO₄, Cl,
KS_{4,3} (Säurekapazität pH 4,3)

- Niederschlagswasser (pH ≤ 5):

H, Na, K, Mg, Ca, NH₄, NO₃, SO₄, Cl

- weiches Sicker- und Grundwasser und Quellen:

H, Na, K, Mg, Ca, Al, NO₃, SO₄, Cl

- hartes Sicker- und Grundwasser:

Na, K, Mg, Ca, NO₃, SO₄, Cl, KS_{4,3}

- Oberirdische Gewässer:

H, Na, K, Mg, Ca, Al, NO₃, SO₄, Cl, KS_{4,3}

Aluminium wird in Abhängigkeit vom pH-Wert als zweiwertig (pH>5) oder dreiwertig (pH<5) berechnet, da die vorliegende Aluminiumform primär vom pH-Wert abhängig ist. Speziell bei saurem Sickerwasser, bei dem die Kationensumme häufig von Aluminium dominiert wird, ist diese Differenzierung zur Erstellung einer korrekten Ionenbilanz wesentlich. Für oberirdische Gewässer werden die Ionenäquivalente von negativ geladenen organischen Kohlenwasserstoffen aus der Korrelation mit dem TOC abgeschätzt (ZAHN H. u. SCHREINER C. 1990).

Der Fehler (F) der Ionenbilanz wird nach folgender Formel berechnet (Ionenkonzentrationen in meq·l⁻¹):

$$F = 100 \cdot \frac{(\sum \text{Kationen} - \sum \text{Anionen})}{0,5 \cdot (\sum \text{Kationen} + \sum \text{Anionen})} \quad [\%]$$

Bei elektrolytarmem Wasser bewirken kleine Meßungenauigkeiten relativ große Fehler der Ionenbilanz. Zudem werden organische Ionen, wie auch der Anteil an organischen Aluminiumkomplexen nicht bestimmt. Bei Überschreitung der in Tab. 15 gutachtlich festgelegten Fehlergrenzen der Ionenbilanz wird der entsprechende Datensatz als unplausibel selektiert.

Tab. 15: Definierte Fehlergrenzen bei Ionenbilanzen

Wassertyp	Fehlergrenze
Niederschlag (el.LF > 50 μ S)	30%
Niederschlag (el.LF \leq 50 μ S)	50%
weiches Sicker- Grundwasser u. Quellen	25%
hartes Sicker- Grundwasser u. Quellen	10%
oberirdische Gewässer	30%

Für die Wässer der Wasserversorgungen wurde nach folgendem Schema die Plausibilität der Ionenbilanzen bewertet: Ist die Kationen- bzw. Anionensumme größer 1 mmol·l⁻¹, beträgt der maximal zulässige Fehler 5%. Bei Ionensummen kleiner 1 mmol·l⁻¹ darf der absolute Fehler, d.h. die Differenz zwischen Kationen- und Anionensumme nicht größer als 0,1 mmol·l⁻¹ sein. Ist diese Forderung erfüllt, so wird die Analyse hinsichtlich der Ionenbilanz als brauchbar angesehen.

In Abb. 11 sind die Fehler der Grundwasser-Ionenbilanzen in Abhängigkeit von der Summe der Kationen und Anionen für die drei nord- und ostbayerischen Modell-Untersuchungsgebiete dargestellt. Die hohen Fehler einiger Analysen des Untersuchungsgebietes Lehstenbach (Fichtelgebirge) beruhen auf den speziellen Bedingungen an den zwei moorbeeinflussten Meßstellen (Meßstelle 0302 und 0304).

Bei unvollständigen Analysen ist keine Plausibilitätsprüfung über die Ionenbilanz möglich. Dies gilt speziell bei Sickerwasser, dessen Probenmenge für eine vollständige Analyse häufig nicht ausreicht.

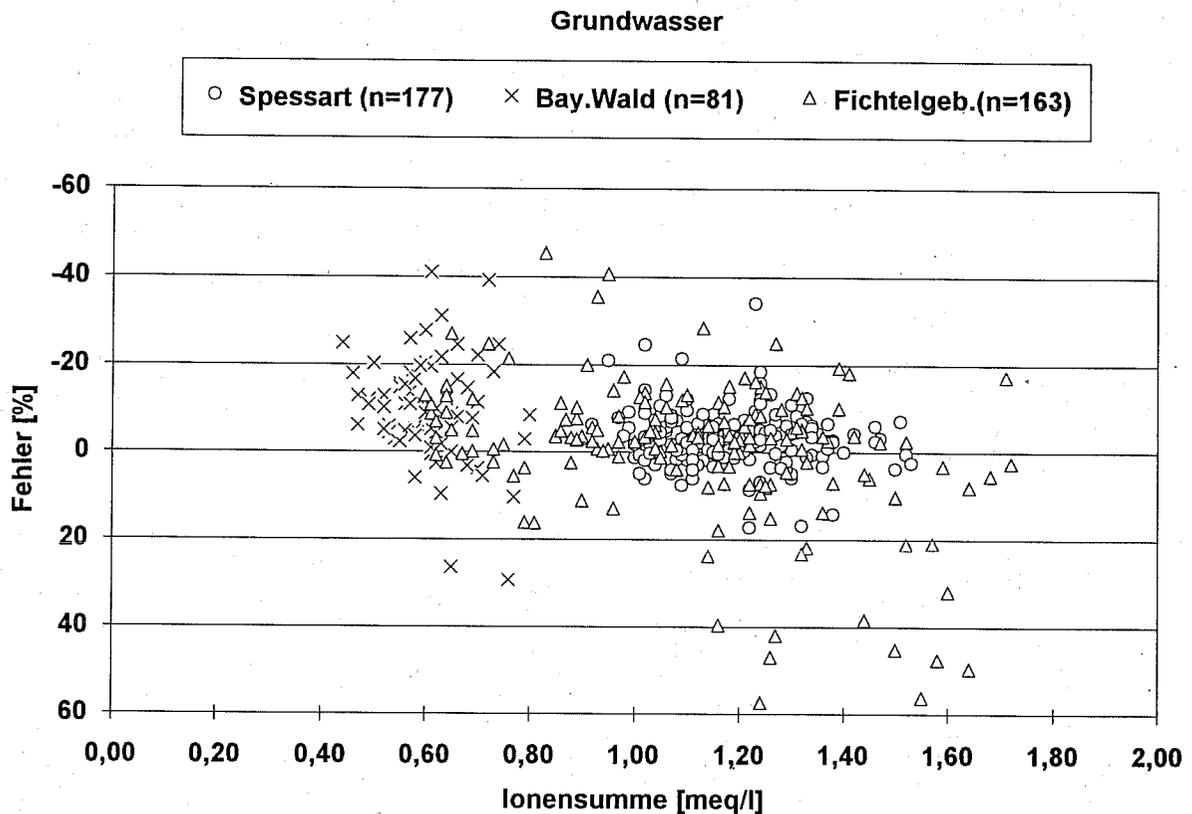


Abb. 11: Fehler der Ionenbilanz in Abhängigkeit der Ionensumme aller Grundwasserproben der drei nord- und ostbayerischen Modell-Untersuchungsgebiete

Als weiterer Prüfungsvorgang wird die berechnete elektrische Leitfähigkeit der gemessenen gegenübergestellt und die Qualität der Gesamtanalyse bewertet. Die Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit erfolgt nach der Methode von ROSSUM (1974), die die Aktivitäten der einzelnen Ionen berücksichtigt.

Organische Ionen und Metalle in organischen Komplexen gehen als relativ hochmolekulare Verbindungen stärker in die Ionenbilanz als in die berechnete Leitfähigkeit ein. Wichtig ist daher die Leitfähigkeitsprüfung, speziell bei Wässern die hohe TOC-Gehalte aufweisen, wie dies bei Sickerwasser und Bachwasser der Fall sein kann. In Abb. 12 sind berechnete und gemessene Leitfähigkeiten aller vollständigen Sickerwasseranalysen gegenübergestellt.

Deutlich unterscheiden sich Wässer mit saurem Charakter und geringer Leitfähigkeit von den carbonatisch geprägten Wässern aus dem Modell-Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst. Berechnete und gemessene elektrische Leitfähigkeit dienen bei elektrolytar-
men, sauren Wässern zur Überprüfung der pH-Werte, da Hydronium-
ionen aufgrund ihrer hohen Äquivalentleitfähigkeit hier einen
großen Beitrag zur elektrischen Leitfähigkeit leisten.

Sickerwasser (n=2669)

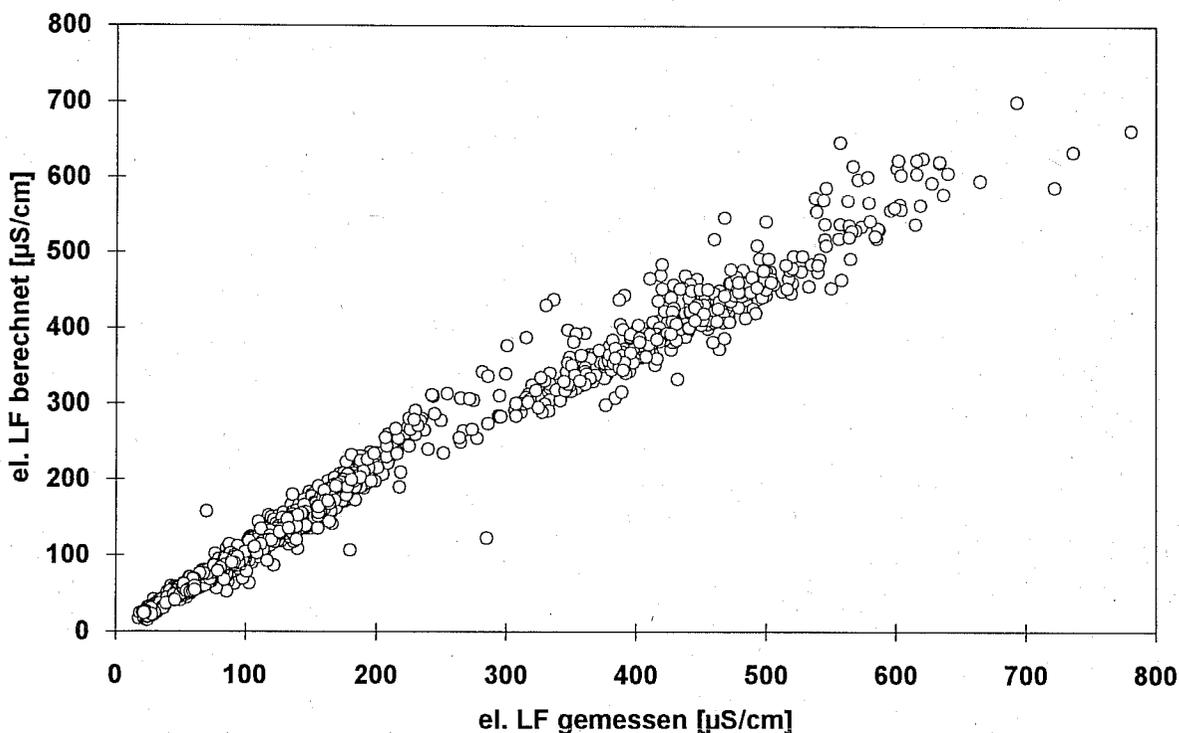


Abb. 12: Zusammenhang von berechneter und gemessener el. Leitfähigkeit für alle vollständigen Sickerwasseranalysen

Bei der Berechnung der Mindestleitfähigkeit der vor Ort gemessenen Protonenkonzentration wird die starke Temperaturabhängigkeit ihrer Äquivalentleitfähigkeit berücksichtigt. Übersteigt die berechnete Mindestleitfähigkeit die übereinstimmenden Gesamtleitfähigkeiten (vor Ort und Labor), liegt in der Regel eine fehlerhafte pH-Messung vor.

Probenveränderungen durch chemische und/oder biologische Umsetzungen lassen sich ohne Konservierungsstoffe nicht immer vollständig vermeiden (speziell instabile Niederschlagswässer). Dadurch bedingte Unterschiede zwischen vor Ort- und Laborwerten bei pH-Wert oder el. Leitfähigkeit sind ein zwar notwendiges, aber kein hinreichendes Kriterium zur Selektion von unplausiblen Werten.

Als Selektionskriterium für Ausreißer wird die vierfache Standardabweichung angesetzt. Bei strenger Normalverteilung schließt sie 99,99% aller Werte ein. Obwohl für die untersuchten Wässer häufig eine linkssteile Verteilung vorliegt, ist die Methode zur Überprüfung unplausibler Daten gut geeignet. Die Prüfung ist den zeitlichen Konzentrationsverschiebungen der verschiedenen Wassertypen angepaßt. Sie wird daher fallweise auf die Daten eines hydrologischen Jahres oder des gesamten Untersuchungszeitraumes angewandt. Wichtig ist, daß Mittelwert und Standardabweichung ohne den zu prüfenden Wert berechnet werden. Dabei ist zu beachten, daß sich durch mehrere fehlerhafte Extremwerte die Standardabweichung erhöht und damit den Toleranzbereich erweitert. Bei Inhaltsstoffen, die an der Nachweisgrenze liegen oder langfristig konstante Konzentrationen zeigen, erscheinen gelegentlich erhöhte aber plausible Werte als Ausreißer. Das vorgenannte Prüfverfahren ist für Einzelwerte aus unvollständigen Sickerwasseranalysen besonders geeignet.

Zur Überprüfung der mit den Bulk-Sammlern ermittelten Niederschlagshöhen, die Grundlage der Depositionsberechnungen sind, werden Niederschlagsdaten mit Hellmann-Regenschreibern (DWD-Norm) ermittelt. Zusätzlich werden Daten von den nächstgelegenen DWD-Stationen herangezogen.

Analysenwerte, die unter der Bestimmungsgrenze liegen, werden mit Null gerechnet (ausgenommen halbe Bestimmungsgrenze bei Berechnung der Abflußfrachten). Kritisch zu werten sind die Ergebnisse für sehr gering konzentrierte Regeninhaltsstoffe. So liegt an Standorten mit hohen Niederschlägen die Chloridkonzentration häufig unterhalb der Bestimmungsgrenze, so daß die ge-

rechneten Einträge die wahren Depositionen unterschätzen können (Minimumschätzung).

Durch den Betrieb mehrerer Meßstellen pro Gebiet und die Vernetzung von Meßebenen ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten zur Datenprüfung. So können z.B. extreme Depositionsereignisse durch den Vergleich des Stoffeintrags von benachbarten Meßstellen validiert werden, oder die Zusammenhänge von Niederschlagsgeschehen und Stoffverfrachtung im Sickerraum können als Plausibilitätskriterium dienen. Räumliche oder zeitliche Besonderheiten (Winterstreuung von Straßen, Ammoniumimmissionen in Verbindung mit Gülleausbringung etc.) wurden gegebenenfalls berücksichtigt.

3.8 Art und Umfang der Datendarstellung

Die vorgestellten Zeitreihen-Auswertungen orientieren sich am hydrologischen Jahr (1. November bis 31. Oktober). Damit werden die jahresdynamischen Prozesse des Klima- und Vegetationsverlaufs in ihren Auswirkungen auf den Wasser- und Stoffkreislauf sinnvoll zusammengefaßt. Im Rahmen eines hydrologischen Meßnetzes wird entsprechend den neuen Standardisierungsbemühungen das Kalenderjahr maßgeblich sein.

Die Zeitreihen sind tabellarisch für die 5 ausgewerteten hydrologischen Jahre und ausgewählte Meßobjekte zusammengestellt. Angegeben sind in den Tabellen:

- arithmetischer Mittelwert
- Maximum
- Minimum
- Standardabweichung
- Zahl der berücksichtigten Werte

Für die Beschaffenheitsdaten des Niederschlags sind alle Mittelwerte niederschlagsgewichtet. Die Konzentrationen von Hydrogencarbonat sind aus der Säurekapazität bis pH 4,3 berechnet.

Berechnungsgrundlage für die Protonendeposition ist der pH-Wert vor Ort. Messungen des organischen Stickstoffs wurden nicht durchgeführt. Die Beobachtungszeiten an den einzelnen Meßobjekten sind den Tabellen bzw. Datendisketten im Anhang direkt zu entnehmen. Liegt keinerlei Beobachtung vor, ist dies in den Basistabellen durch Sterne gekennzeichnet. Der im Lauf der Untersuchung erweiterte Umfang der Sickerwasserbeobachtung und die entsprechenden Meßzeiträume an den einzelnen Meßplätzen sind in Kapitel 3.4.2 tabellarisch aufgelistet.

Mittels Ganglinien wird die zeitliche Variation der wichtigen Parameter pH-Wert vor Ort, Sulfat, Nitrat, Calcium, Aluminium und Mangan an ausgewählten Meßobjekten vorgestellt.

Folgende Darstellungen repräsentieren die Daten der Wasserversorgungen in den Regionen:

- Tabelle der regionalen Mittelwerte und Extrema:
Je Probenahmestelle (Quelle, aufzubereitendes Rohwasser, Reinwasser) wurde der Mittelwert über den Untersuchungszeitraum September 1988 bis Juli 1989 gebildet. Aus den Mittelwerten der einzelnen Probenahmestellen wurde nach Zuordnung zur entsprechenden Region ein Mittelwert für die Region erstellt.
- Häufigkeitsverteilung für pH-Wert, Aluminium und Mangan (Analysergebnisse 1988 - 1992)
- Analysergebnisse ausgewählter Wasserversorgungen der Roh- und Reinwässer für die hydrologischen Jahre 1989 - 1992
- Ganglinien von pH-Wert, Aluminium und Mangan für ausgewählte Wasserversorgungen

Die Auswertung bezüglich der regionalen Mittelwerte basiert auf einen Datenbestand von rund 1800 Analysen.

Im Anhang werden die auf den beiliegenden Datendisketten gespeicherten Originaldaten ausführlich beschrieben.

4. Meßergebnisse

4.1 Region Spessart

4.1.1 Situation der Wasserversorgungen Region Spessart

Die geogenen Lösungsinhalte der Grundwässer in der Region Spessart werden von der vorherrschenden geologischen Formation des Buntsandsteins geprägt. Es handelt sich um gering mineralisierte Grundwässer mit einer mittleren Härte von $2,4^{\circ}\text{dH}$ (Summe der Erdalkalitionen $0,43 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), was nach dem Waschmittelgesetz dem Härtebereich 1 entspricht. Der hohe Anteil an überschüssigem Kohlendioxid von bis zu $40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ führt zu einem über die Region gemittelten Calcitlösevermögen von $29,4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Auskunft über die Roh- und Reinwasserbeschaffenheit der 62 erfaßten Anlagen gibt Tabelle 16. Aus ihr sind die Mittelwerte der Region sowie der jeweils gemessene Minimal- und Maximalwert für 31 ausgewählte Parameter zu entnehmen.

Die für die Region Spessart erstellte Häufigkeitsverteilung (Abb. 13a) der pH-Werte von 177 Rohwasseranalysen zeigt, daß bei 85,3% der nach TrinkwV geforderte pH-Wert von mindestens 6,5 nicht erreicht wird. Diese Wässer müssen hinsichtlich des pH-Wertes aufbereitet werden. Im Reinwasser ($n = 150$) liegen immer noch 7,4% unterhalb der nach TrinkwV geforderten unteren Grenze von 6,5, aber auch 1,3% über dem Grenzwert von 9,5. Bei den 49% der Reinwasseranalysen mit einem zulässigen pH-Wert zwischen 6,5 und 8,0 muß laut TrinkwV ein Delta-pH-Wert von 0,2 pH-Einheiten eingehalten werden, bei Verwendung von Faserzementwerkstoffen im Versorgungsnetz sogar im gesamten zulässigen pH-Bereich. Betrachtet man jedoch den Gebietsmittelwert des Parameters Delta-pH-Wert (1,22 pH-Einheiten), so wird deutlich, daß bei der Entsäuerungsleistung der Aufbereitungsanlagen erhebliche Mängel bestehen.

Die Häufigkeitsverteilungen der mit dem pH-Wert korrelierenden Parameter Aluminium und Mangan (Abb. 13c und 13e) zeigen, daß die Mobilisierung dieser Stoffe aus dem Untergrund zu Überschreitungen der in der TrinkwV festgelegten Grenzwerte führt, so daß auch hinsichtlich dieser Parameter eine Aufbereitung notwendig wird. Es wird bei 16,4% der Rohwasseranalysen der EG-Richtwert für Aluminium ($0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) und bei 12,9% der EG-Richtwert für Mangan ($0,02 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) überschritten. Grenzwertüberschreitungen zeigen 1,1% der Rohwasseranalysen für den Parameter Aluminium ($0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) und 3,9% für den Parameter Mangan ($0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Die mangelnde Entsäuerungsleistung etlicher Anlagen hat zur Folge, daß bei 3,4% der Reinwasseranalysen der Aluminiumgrenzwert überschritten wird. Bei Mangan gibt es auf der Reinwasserseite keine Grenzwertüberschreitungen.

Aus den Tabellen für 7 intensiv beprobte Anlagen sind für Roh- und Reinwasser die Mittelwerte von 31 Parametern - beobachtet über 4 hydrologische Jahre - zu entnehmen. Der Vergleich von Roh- und Reinwasserdaten ermöglicht eine Aussage bzgl. der Funktionstüchtigkeit dieser Aufbereitungsanlagen.

Saisonale Grenzwertüberschreitungen werden durch Jahresmittelwerte nicht wiedergegeben. Zur Verdeutlichung der zum Teil enormen saisonalen Schwankungen werden für eine ausgewählte Wasserversorgung die Ganglinien der Parameter pH-Wert, Aluminium und Mangan im Rohwasser dargestellt (Abb. 14). Es wird das Mischwasser von drei in ihrer Beschaffenheit merklich unterschiedlichen Quellen aufbereitet. Deutlich wird der Zusammenhang von niedrigen pH-Werten und hohen Aluminiumkonzentrationen. Die ausgeprägten saisonalen Schwankungen sind unter anderem auf die Dynamik der Grundwasserneubildungsrate zurückzuführen. Die Tatsache, daß neben der Aluminiummobilisierung auch die Manganmobilisierung sehr stark von der Versauerung des Untergrunds abhängt, wird im Rohwasser durch den auffallend parallelen Konzentrationsverlauf der beiden Ionen deutlich.

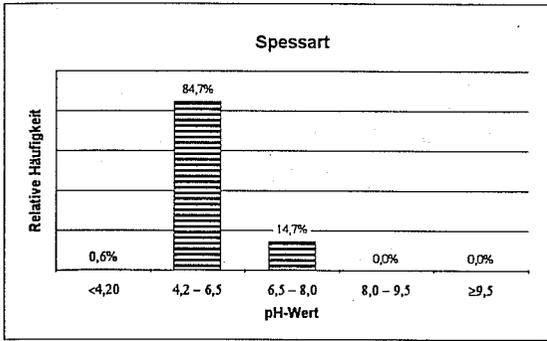
Tab. 16: Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers, Region Spessart

Region: Spessart									
Landkreise:		Aschaffenburg, Main-Spessart, Miltenberg							
Rohwasser					Reinwasser				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,58	3,60	7,20	62	pH-Wert	7,08	5,96	10,10	50
Delta-pH	-2,85	-1,09	-4,28	40	Delta-pH	-1,22	-0,17	-3,03	19
pHc	8,46	7,62	9,60	40	pHc	8,29	7,84	9,30	19
Temp.	9,7	4,3	15,0	62	Temp.	10,2	6,8	14,8	50
LF	107	36	446	62	LF	143	53	398	50
O2	10,9	6,2	13,2	62	O2	11,3	6,9	14,0	50
°dH	2,4	0,7	8,2	62	°dH	4,0	1,1	10,0	50
Calcitlösek.	29,4	6,9	86,9	40	Calcitlösek.	12,8	0,2	53,7	19
KS4,3	0,38	0,00	2,33	62	KS4,3	0,90	0,07	2,35	50
KB8,2	0,29	0,04	0,91	40	KB8,2	0,07	0,00	0,56	32
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	KS8,2	0,00	0,00	0,00	17
SiO2	9,0	4,8	25,0	61	SiO2	10,3	4,8	25,0	50
SPAK254	1,5	0,2	12,4	62	SPAK254	1,4	0,2	7,0	50
TOC	1,1	0,3	10,5	62	TOC	1,0	0,3	5,0	50
Kationen					Kationen				
Ca	12,2	3,5	44,0	62	Ca	22,9	5,4	51,7	50
Mg	3,1	0,7	11,1	62	Mg	3,7	0,8	20,1	50
Na	4,4	0,1	51,0	62	Na	5,1	1,9	51,0	50
K	2,6	1,0	4,9	62	K	2,5	1,0	5,0	50
Fe	0,04	n.n.	1,00	62	Fe	0,05	n.n.	0,68	50
Mn	0,01	n.n.	0,12	62	Mn	0,00	n.n.	0,04	50
Al	0,03	n.n.	0,40	61	Al	0,03	n.n.	0,69	49
Cd	0,0005	n.n.	0,0310	61	Cd	0,0003	n.n.	0,0060	49
Zn	0,004	n.n.	0,320	62	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	50
Cu	0,006	n.n.	0,180	58	Cu	0,004	n.n.	0,080	49
NH4	0,06	n.n.	1,12	62	NH4	0,13	n.n.	10,84	50
Anionen					Anionen				
Cl	8,3	1,7	34,0	62	Cl	9,1	1,9	33,0	50
F	0,01	n.n.	0,3	58	F	0,005	n.n.	0,1	49
SO4	17,0	0,9	40,3	62	SO4	16,8	3,5	40,2	50
NO3	6,8	0,4	40,8	62	NO3	7,0	1,7	41,6	50
NO2	0,02	n.n.	0,66	62	NO2	0,01	n.n.	0,36	50
PO4	0,21	n.n.	3,81	62	PO4	0,25	n.n.	8,00	50

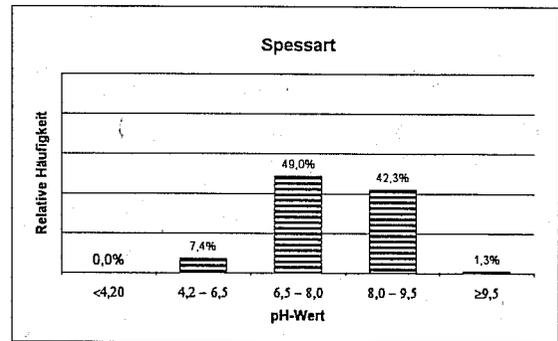
(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Rohwasser

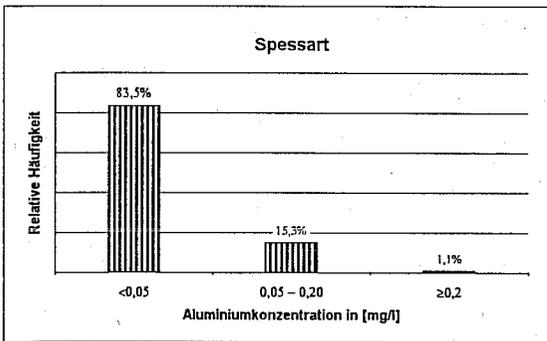
Reinwasser



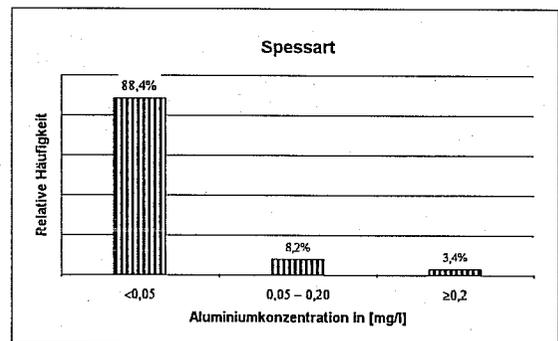
a)



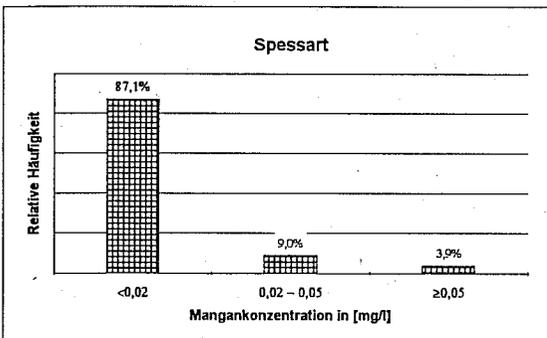
b)



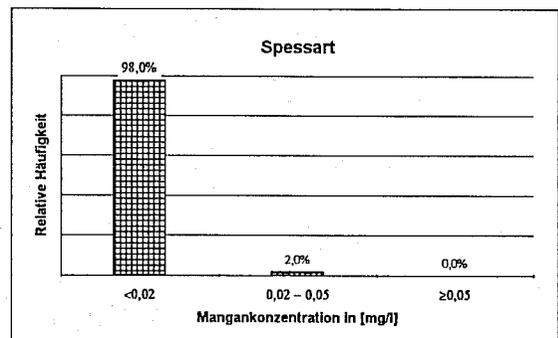
c)



d)



e)



f)

Abb. 13: Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Spessart im hydrologischen Jahr 1989. Die Klassengrenzen für den pH-Wert orientieren sich nach folgenden Kriterien: pH 4,2 Definierter Beginn des Aluminium-Puffers, pH 6,5 und 9,5 Grenzwerte der TrinkwV, pH 8,0 Obere Grenze, für die in der TrinkwV eine Entsäuerung bis zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gefordert ist, d.h. $pH = pH_C$. (Bei der Verwendung von Faserzementwerkstoffen muß auch im Bereich von pH 8,0 - 9,5 der pH-Wert des Reinwassers gleich dem pH-Wert der Calcitsättigung entsprechen.) Für Aluminium und Mangan orientieren sich die Klassen an EG-Richtwerten und Grenzwerten der TrinkwV.

Tab. 17: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2021 der Wasserversorgung 202

Kennnummer: 2021 Rohwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Aschaffenburg														
		1989			1990			1991			1992					
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,49	5,19	5,67	5	5,02	4,40	5,50	12	5,53	5,20	6,00	8	6,53	6,30	6,70	4
Delta-pH	-3,52	-3,50	-3,54	3	-3,89	-3,15	-4,46	12	-3,62	-2,77	-4,26	8	-2,24	-1,97	-2,74	4
pHc-Wert	9,01	8,70	9,19	3	8,92	8,66	9,18	12	9,16	8,78	9,48	8	8,77	8,47	9,05	4
Temp.	9,7	7,2	11,6	5	9,4	8,0	11,9	12	8,6	7,3	10,6	8	8,2	6,6	10,8	4
LF	81	59	105	5	82	67	98	12	80	57	98	8	83	66	104	4
O2	11,3	10,0	12,9	5	11,1	10,4	12,8	12	11,6	10,9	14,6	8	11,6	10,9	12,3	4
°dH	2,9	1,5	7,1	5	2,0	1,3	2,8	12	2,0	1,4	2,5	8	2,9	2,3	4,3	4
Calcitfösek.	20,1	14,9	28,4	3	23,9	16,9	32,1	12	17,1	10,7	23,6	8	14,5	11,3	18,8	4
KS4.3	0,05	0,02	0,11	5	0,04	0,01	0,12	12	0,06	0,03	0,17	8	0,48	0,28	0,87	4
KB8.2	0,18	0,13	0,27	3	0,22	0,15	0,31	12	0,15	0,08	0,22	8	0,13	0,10	0,17	4
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	7,6	6,9	8,0	5	7,6	6,9	8,3	12	7,6	6,4	8,5	8	6,8	5,5	7,9	4
SPAK254	1,6	0,2	3,2	5	1,6	0,6	3,2	12	4,9	1,2	8,0	8	2,5	1,4	3,8	4
TOC	1,2	0,5	1,8	5	1,1	0,8	1,3	12	1,9	0,5	7,5	8	0,7	0,5	0,9	4
Ca	15,5	6,9	44,0	5	8,7	5,7	12,0	12	9,0	6,4	11,0	8	12,2	9,7	17,0	4
Mg	3,4	2,5	4,7	5	3,4	2,2	4,9	12	3,3	2,2	4,0	8	5,2	3,9	8,2	4
Na	3,4	3,1	7,8	5	3,2	2,9	8,5	12	3,4	3,1	8,5	8	3,2	3,2	7,6	3
K	3,6	3,1	4,0	5	3,6	3,3	3,9	12	3,8	3,4	4,2	8	3,2	3,0	3,4	3
Fe	0,06	n.n.	0,13	5	0,02	n.n.	0,03	12	0,02	n.n.	0,07	8	0,02	0,01	0,03	4
Mn	0,04	0,01	0,12	5	0,03	0,01	0,05	12	0,03	0,02	0,05	8	0,01	0,01	0,02	4
Al	0,07	n.n.	0,11	5	0,08	n.n.	0,22	12	0,16	n.n.	0,76	8	0,07	0,06	0,09	4
Cd	0,0002	n.n.	0,0003	5	0,0033	0,0001	0,0230	12	0,0004	0,0001	0,0009	8	0,0012	0,0002	0,0029	3
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	8	0,02	0,01	0,03	4
Cu	0,004	n.n.	0,017	5	n.n.	n.n.	0,002	12	0,001	n.n.	0,003	8	0,001	n.n.	0,001	3
NH4	0,04	n.n.	0,08	4	0,05	n.n.	0,31	12	0,02	n.n.	0,06	8	0,32	n.n.	1,07	4
Cl	5,5	4,4	6,0	5	5,3	4,7	6,0	12	5,2	4,4	6,1	8	5,6	5,3	5,9	4
F	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,1	12	n.n.	n.n.	0,1	8	n.n.	n.n.	0,1	4
SO4	30,5	23,8	40,3	5	30,2	23,0	38,0	12	31,7	24,4	37,5	8	25,3	21,3	28,9	4
NO3	4,0	1,9	7,1	5	4,7	2,3	10,6	12	4,6	2,3	7,7	8	4,6	3,4	5,4	4
NO2	0,01	n.n.	0,04	5	n.n.	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,01	8	0,02	n.n.	0,06	4
PO4	0,25	n.n.	0,98	4	0,18	n.n.	0,80	12	0,01	n.n.	0,03	8	n.n.	n.n.	n.n.	3

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 18: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2029 der Wasserversorgung 202

Kennnummer: 2029 Reinwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Aschaffenburg														
		1989			1990			1991			1992					
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	8,48	8,28	8,73	5	8,00	7,21	8,60	12	7,85	7,50	8,50	8	7,55	7,40	7,70	4
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,89	-0,60	-1,17	5	-0,74	-0,53	-1,02	5	-0,64	-0,42	n.b.	4
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,43	7,97	8,78	5	8,42	8,13	8,66	5	8,19	7,92	8,40	4
Temp.	9,3	7,3	10,6	5	9,5	8,2	11,7	12	8,9	7,0	11,3	8	8,7	7,2	11,6	4
LF	117	87	142	5	124	90	181	12	132	93	162	8	156	121	210	4
O2	11,7	11,0	12,6	5	11,0	10,2	13,1	12	11,3	10,4	11,9	8	11,2	10,5	12,0	4
°dH	3,8	2,8	5,0	5	4,0	2,6	6,2	12	4,4	2,9	5,4	8	6,1	5,0	8,1	4
Calcitiösesek.	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,0	3,7	12,8	5	5,8	3,4	8,0	5	6,4	3,9	8,9	4
KS4.3	0,56	0,42	0,68	5	0,72	0,44	1,98	12	0,95	0,41	1,58	8	1,62	1,04	2,30	4
KB8.2	0,00	0,00	0,00	2	0,05	0,00	0,16	7	0,05	0,02	0,08	5	0,07	0,05	0,10	4
KS8.2	0,00	0,00	0,00	2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,00	0,00	0,00	1	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	7,6	6,9	8,0	5	9,6	7,3	23,0	12	8,7	6,7	10,7	8	7,9	5,9	11,0	4
SPAK254	2,3	0,2	4,0	5	1,6	0,6	3,8	12	5,3	0,6	15,0	8	1,0	0,4	2,0	4
TOC	1,2	0,7	1,9	5	1,5	0,6	4,1	12	1,5	0,5	4,7	8	0,6	0,4	0,8	4
Ca	21,6	15,8	28,0	5	21,9	15,0	29,0	12	22,5	16,0	27,0	8	27,8	24,0	35,0	4
Mg	3,6	2,6	4,8	5	4,2	2,4	9,6	12	5,6	3,0	8,5	8	9,7	6,5	14,0	4
Na	3,5	3,2	7,8	5	3,3	3,0	8,5	12	3,5	3,1	8,5	8	3,8	3,7	7,6	3
K	3,1	0,1	4,1	5	3,6	2,9	3,8	12	3,6	3,0	4,2	8	2,8	2,5	3,1	3
Fe	0,07	n.n.	0,30	5	0,01	n.n.	0,13	12	0,01	n.n.	0,01	8	0,01	n.n.	0,02	4
Mn	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,04	8	0,01	0,01	0,01	4
Al	0,09	n.n.	0,29	5	0,04	n.n.	0,07	12	0,01	n.n.	0,05	8	0,04	n.n.	0,06	4
Cd	0,0002	n.n.	0,0007	5	0,0016	0,0001	0,0100	12	0,0002	n.n.	0,0004	8	0,0027	0,0002	0,0054	3
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,03	8	0,02	0,02	0,03	4
Cu	n.n.	n.n.	0,001	5	n.n.	n.n.	0,002	12	0,001	n.n.	0,002	8	0,011	0,001	0,030	3
NH4	0,13	n.n.	0,40	5	0,03	n.n.	0,12	12	0,03	n.n.	0,16	8	0,01	n.n.	0,01	4
Cl	5,5	4,7	6,0	5	5,5	5,0	6,0	12	6,0	4,7	7,5	8	6,9	6,4	7,2	4
F	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	0,1	8	0,1	n.n.	0,3	4
SO4	31,7	26,0	40,2	5	30,1	18,2	38,8	12	29,1	20,2	35,4	8	21,9	19,1	27,0	4
NO3	3,8	2,1	7,7	5	4,9	2,7	10,6	12	4,9	2,9	8,2	8	5,8	5,1	6,5	4
NO2	0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,04	12	0,01	n.n.	0,02	8	n.n.	n.n.	0,01	4
PO4	0,72	n.n.	1,66	4	0,24	n.n.	1,81	12	0,04	n.n.	0,18	8	0,04	n.n.	0,07	4

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 19: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2041 der Wasserversorgung 204

Hydrologisches Jahr:		1989					1990					1991					1992				
		Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	
	pH-Wert	5,56	5,39	5,67	5	5,08	4,70	5,66	12	5,38	4,70	5,70	8	5,30	4,80	5,70	4				
	Delta-pH	-3,41	-3,24	-3,56	3	-3,76	-3,31	-4,09	11	-3,64	-3,35	-4,15	7	-3,68	-3,43	-4,00	4				
	pHc-Wert	9,01	8,72	9,24	3	8,86	8,51	9,06	11	9,02	8,62	9,53	7	8,98	8,80	9,14	4				
	Temp.	9,2	8,7	9,6	5	9,2	8,8	9,9	12	8,8	8,3	9,3	8	8,7	8,6	9,0	4				
	LF	79	69	92	5	75	56	88	12	73	68	82	8	66	64	68	4				
	O2	11,3	11,0	11,6	5	11,6	10,9	12,9	12	11,2	11,0	11,7	8	11,1	8,9	13,0	4				
	°dH	1,7	1,6	1,8	5	1,7	1,5	2,0	12	1,7	1,6	1,8	8	1,7	1,6	1,8	4				
	Calcitiöse.	21,1	14,2	31,3	3	25,5	18,8	40,8	11	21,9	9,9	35,1	7	21,7	17,0	27,5	4				
	KS4.3	0,04	0,03	0,06	5	0,05	0,02	0,12	12	0,04	0,02	0,06	8	0,05	0,03	0,06	4				
	KB8.2	0,19	0,12	0,30	3	0,24	0,17	0,40	11	0,20	0,07	0,34	7	0,20	0,15	0,26	4				
	KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
	SiO2	6,5	4,8	8,3	5	5,8	4,7	6,8	12	6,3	5,2	8,5	8	5,2	4,9	5,7	4				
	SPAK254	1,2	0,6	1,4	5	1,3	0,4	3,2	12	3,1	1,0	7,6	8	2,4	1,2	3,0	4				
	TOC	1,0	0,8	1,2	5	1,4	0,6	7,5	12	0,7	0,4	0,9	8	0,7	0,5	1,0	4				
	Ca	8,2	7,7	8,5	5	8,1	6,7	9,0	12	8,0	7,3	8,4	8	8,1	7,6	8,3	4				
	Mg	2,6	2,3	2,8	5	2,7	2,1	3,1	12	2,5	2,4	2,7	8	2,5	2,4	2,6	4				
	Na	3,4	2,4	7,8	5	3,4	2,1	8,5	12	3,3	2,0	8,5	8	3,0	2,7	7,6	3				
	K	4,1	3,4	5,0	5	4,1	3,2	4,8	12	4,3	3,3	4,8	8	4,0	3,7	4,5	3				
	Fe	0,01	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	0,01	12	0,01	n.n.	0,01	8	0,02	n.n.	0,06	4				
	Mn	0,04	0,02	0,06	5	0,04	0,01	0,09	12	0,04	0,01	0,06	8	0,04	0,01	0,06	4				
	Al	0,10	0,04	0,16	5	0,09	n.n.	0,17	12	0,06	n.n.	0,14	8	0,10	0,05	0,14	4				
	Cd	0,0065	0,0002	0,0310	5	0,0011	0,0002	0,0050	12	0,0003	0,0001	0,0004	8	0,0004	0,0003	0,0005	3				
	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	0,02	n.n.	0,05	12	0,01	n.n.	0,02	8	0,01	n.n.	0,03	4				
	Cu	0,002	0,001	0,005	5	0,004	0,001	0,017	12	0,002	n.n.	0,004	8	0,002	0,001	0,002	3				
	NH4	0,12	n.n.	0,46	5	0,11	n.n.	1,00	12	0,01	n.n.	0,04	8	0,07	0,01	0,14	4				
	Cl	6,6	4,3	9,1	5	6,4	4,7	8,5	12	6,2	4,4	9,7	8	5,8	5,1	6,6	4				
	F	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	0,1	8	0,1	n.n.	0,4	4				
	SO4	18,8	17,3	20,3	5	18,4	15,6	21,6	12	18,9	17,3	20,4	8	18,3	16,2	19,7	4				
	NO3	12,1	10,6	12,8	5	13,8	11,7	21,3	12	14,4	10,5	20,4	8	14,2	12,4	17,7	4				
	NO2	0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,03	12	0,02	n.n.	0,07	8	0,01	n.n.	0,01	4				
	PO4	0,61	n.n.	2,46	4	0,08	n.n.	0,55	12	0,02	n.n.	0,07	8	0,31	0,02	0,89	3				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 20: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2049 der Wasserversorgung 204

Kennnummer: 2049 Reinwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Aschaffenburg										
		1989		1990		1991		1992				
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	7,95	7,60	8,68	5	7,99	7,50	8,40	12	8,22	7,50	8,50	8
Delta-pH	-0,90	-0,75	-1,04	2	-1,03	-0,87	-1,17	5	-0,97	-0,70	-1,24	2
pHc-Wert	8,73	8,63	8,82	2	8,79	8,56	8,90	5	8,92	8,75	9,10	2
Temp.	10,4	8,7	11,8	5	9,6	7,1	12,1	12	8,3	5,2	13,0	8
LF	105	96	117	5	101	88	124	12	94	83	103	8
O2	10,9	10,5	11,3	5	11,4	10,6	13,5	12	11,4	11,0	11,7	8
°dH	3,6	2,9	5,9	5	3,0	2,3	3,7	12	2,8	2,5	3,1	8
Calcitlösek.	7,1	2,8	11,4	2	5,9	3,8	6,8	5	2,5	1,2	3,7	2
KS4,3	0,53	0,48	0,59	5	0,50	0,42	0,64	12	0,45	0,38	0,58	8
KB8,2	0,04	0,00	0,10	3	0,05	0,00	0,25	9	0,01	0,00	0,02	3
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,00	0,00	0,00	1	0,01	0,00	0,01	2
SiO2	7,6	5,8	9,3	5	6,8	4,7	9,3	12	7,1	5,4	9,6	8
SPAK254	1,3	0,6	1,6	5	1,6	0,6	4,8	12	3,7	1,2	8,2	8
TOC	1,1	0,6	1,6	5	0,8	0,5	1,0	12	0,7	0,3	1,0	8
Ca	21,5	17,3	36,0	5	17,3	13,0	22,0	12	16,0	14,0	18,0	8
Mg	2,6	2,1	3,9	5	2,4	1,8	2,9	12	2,3	1,8	2,6	8
Na	3,9	2,5	7,8	5	3,7	2,4	8,5	12	3,7	2,0	8,5	8
K	3,8	3,6	4,2	5	3,6	3,1	4,4	12	3,8	3,2	4,1	8
Fe	0,09	n.n.	0,34	5	0,01	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,04	8
Mn	n.n.	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	0,04	12	n.n.	n.n.	n.n.	8
Al	0,08	0,01	0,28	5	0,02	n.n.	0,09	12	0,04	n.n.	0,19	8
Cd	0,0007	n.n.	0,0032	5	0,0003	0,0001	0,0009	12	0,0001	n.n.	0,0002	8
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	0,02	n.n.	0,06	12	0,01	n.n.	0,03	8
Cu	0,002	0,001	0,005	5	0,007	n.n.	0,020	12	0,002	n.n.	0,009	8
NH4	0,04	0,02	0,07	5	0,11	n.n.	0,66	12	0,02	n.n.	0,04	8
Cl	8,1	4,8	10,0	5	7,0	5,4	11,0	12	7,5	4,3	20,0	8
F	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	0,1	n.n.	1,0	8
SO4	17,1	13,0	20,3	5	17,1	12,6	21,9	12	17,8	13,7	21,3	8
NO3	10,0	7,2	12,8	5	11,5	7,2	21,3	12	10,2	7,0	12,8	8
NO2	0,01	0,01	0,03	5	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,05	8
PO4	0,26	n.n.	1,01	5	0,27	n.n.	2,21	10	0,16	n.n.	0,74	8

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 in mmol/l)

Tab. 21: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2111 der Wasserversorgung 211

Kennnummer: 2111 Rohwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Aschaffenburg														
		1989			1990			1991			1992					
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	6,26	5,95	6,69	5	5,76	5,40	6,18	12	6,06	5,70	6,50	8	5,97	5,80	6,10	3
Delta-pH	-2,98	-2,61	-3,20	4	-3,28	-2,76	-3,87	12	-3,10	-2,38	-3,62	8	-2,96	-2,40	-3,41	3
pHc-Wert	9,13	9,02	9,28	4	9,05	8,75	9,64	12	9,17	8,88	9,52	8	8,93	8,51	9,22	3
Temp.	9,1	7,6	10,1	5	9,0	7,6	10,5	12	8,7	7,4	9,6	8	7,9	7,6	8,3	3
LF	104	91	119	5	101	88	124	12	110	88	122	8	110	100	122	3
O2	11,7	10,9	13,2	5	11,5	10,5	12,4	12	11,4	10,9	12,0	8	11,6	11,1	12,0	3
°dH	1,9	1,7	2,1	5	1,9	1,6	2,2	12	1,8	1,6	2,2	8	2,2	2,0	2,4	3
Calcitösek.	13,2	12,4	14,0	4	17,2	8,0	25,5	12	15,1	7,8	21,6	8	22,3	14,1	36,8	3
KS4.3	0,15	0,09	0,19	5	0,13	0,06	0,24	12	0,11	0,04	0,17	8	0,10	0,07	0,11	3
KB8.2	0,11	0,10	0,12	4	0,15	0,05	0,24	12	0,13	0,05	0,20	8	0,21	0,12	0,36	3
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	9,2	5,8	19,0	5	6,5	5,3	7,6	12	6,5	5,5	8,7	8	5,2	5,0	5,6	3
SPAK254	1,1	0,6	1,8	5	1,6	0,6	2,8	12	3,9	1,4	8,0	8	2,7	2,0	3,6	3
TOC	0,7	0,5	1,0	5	0,7	0,5	1,1	12	0,6	0,4	0,9	8	0,9	0,6	1,3	3
Ca	9,6	8,5	-10,7	5	9,2	8,0	11,0	12	9,2	7,8	11,0	8	11,0	10,0	12,0	3
Mg	2,5	2,4	2,7	5	2,6	2,1	3,0	12	2,4	2,1	2,8	8	2,9	2,8	3,0	3
Na	11,8	10,0	16,3	5	10,4	8,7	13,9	12	11,6	9,9	14,0	8	12,4	11,9	12,6	3
K	2,8	2,7	2,9	5	2,7	2,5	3,1	12	2,9	2,8	3,2	8	2,8	2,7	3,0	3
Fe	0,02	n.n.	0,03	5	0,01	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,03	8	0,01	n.n.	0,01	3
Mn	n.n.	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	8	0,01	0,01	0,01	3
Al	0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,03	12	n.n.	n.n.	0,02	8	n.n.	n.n.	n.n.	3
Cd	0,0001	n.n.	0,0001	5	0,0005	n.n.	0,0025	12	0,0001	n.n.	0,0002	8	0,0008	0,0001	0,0016	3
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	n.n.	0,09	12	0,01	n.n.	0,03	8	n.n.	n.n.	n.n.	3
Cu	0,001	0,001	0,003	5	0,003	n.n.	0,011	12	0,011	n.n.	0,065	8	0,002	0,001	0,003	3
NH4	0,06	n.n.	0,14	5	0,07	n.n.	0,32	12	0,02	n.n.	0,05	8	0,05	0,01	0,09	3
Cl	24,3	16,0	34,0	5	21,4	16,0	30,0	12	22,7	20,0	26,0	8	25,7	25,0	27,0	3
F	n.n.	n.n.	0,2	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	0,1	8	n.n.	n.n.	n.n.	3
SO4	13,4	11,0	18,7	5	16,0	10,9	21,2	12	18,0	11,4	21,5	8	19,7	19,4	20,3	3
NO3	5,8	5,3	6,2	5	6,4	5,3	7,7	12	7,5	5,3	9,3	8	13,3	8,0	19,4	3
NO2	0,01	n.n.	0,01	5	0,26	n.n.	3,00	12	0,01	n.n.	0,05	8	n.n.	n.n.	0,01	3
PO4	0,43	0,06	1,08	5	0,29	n.n.	2,30	11	0,13	n.n.	0,83	8	0,41	0,02	1,20	3

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 22: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2119 der Wasserversorgung 211

Kennnummer: 2119 Reinwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Aschaffenburg											
		Hydrologisches Jahr: 1989		1990		1991		1992					
		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert		6,34	6,05	6,74	5	7,97	7,61	8,80	12	8,05	7,50	8,50	8
Delta-pH		-2,82	-2,55	-3,03	4	-1,08	-0,92	-1,31	3	-1,12	-0,97	-1,40	3
pHc-Wert		9,07	8,86	9,30	4	8,77	8,68	8,93	3	8,82	8,58	8,97	3
Temp.		9,1	8,0	9,7	5	8,9	7,5	10,1	12	8,9	7,7	11,1	8
LF		110	100	124	5	118	10	150	12	132	116	144	8
O2		11,8	11,1	13,2	5	10,6	0,4	12,5	12	11,2	10,9	11,6	8
°dH		2,0	1,8	2,4	5	3,1	2,6	3,6	12	2,8	2,4	3,5	8
Calcitfösek.		12,0	10,4	14,0	4	6,4	5,6	6,9	3	7,8	4,1	12,4	3
KS4.3		0,25	0,12	0,47	5	0,52	0,35	0,67	12	0,46	0,36	0,59	8
KB8.2		0,10	0,08	0,12	4	0,02	0,00	0,05	6	0,07	0,02	0,11	4
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00	1
SiO2		7,0	5,8	7,8	5	6,8	3,7	8,7	12	7,6	5,9	9,9	8
SPAK254		1,1	0,6	2,6	5	1,3	0,4	2,8	12	5,0	2,2	9,0	8
TOC		1,6	0,6	4,8	5	0,6	0,5	0,8	12	0,6	0,4	0,9	8
Ca		10,3	9,2	12,4	5	18,0	15,0	21,0	12	16,0	13,0	20,0	8
Mg		2,4	2,2	2,7	5	2,6	2,1	3,0	12	2,5	2,1	2,9	8
Na		11,7	9,8	16,3	5	10,5	8,8	14,0	12	11,6	10,0	14,0	8
K		2,8	2,7	2,9	5	2,7	2,5	3,1	12	3,0	2,7	3,2	8
Fe		0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	8
Mn		0,01	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	8
Al		0,01	n.n.	0,03	5	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,05	8
Cd		0,0001	n.n.	0,0005	5	0,0011	n.n.	0,0060	12	0,0001	n.n.	0,0002	8
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	n.n.	8
Cu		0,002	0,001	0,006	5	0,002	n.n.	0,010	12	0,001	n.n.	0,010	8
NH4		0,13	0,02	0,36	5	0,03	n.n.	0,14	12	0,03	n.n.	0,05	8
Cl		24,1	16,0	33,0	5	21,3	16,0	30,0	12	22,9	20,0	27,0	8
F		n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	0,1	8
SO4		13,3	10,9	18,6	5	15,9	11,0	20,9	12	18,1	11,3	22,3	8
NO3		5,8	5,4	6,2	5	6,6	5,2	7,7	12	7,2	5,1	9,3	8
NO2		0,03	n.n.	0,08	5	0,01	n.n.	0,02	12	0,03	0,01	0,09	8
PO4		0,76	0,06	2,30	5	0,52	n.n.	2,79	12	0,04	n.n.	0,07	8

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 23: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2321 der Wasserversorgung 232

Hydrologisches Jahr:		1989					1990					1991					1992				
		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
Kennnummer: 2321		Region: Spessart																			
Rohwasserdaten		Landkreis: Aschaffenburg																			
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	5,70	5,60	5,93	4	5,59	4,20	6,60	8	5,63	5,10	6,10	4					
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	-3,43	-3,16	-3,56	4	-3,56	-2,76	-4,23	8	-3,89	-3,46	-4,29	4					
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,14	9,09	9,18	4	9,15	8,02	9,76	8	9,52	9,40	9,68	4					
Temp.	n.b.	n.b.	n.b.	0	10,0	8,9	11,0	4	8,1	7,0	9,2	8	8,0	7,8	8,4	4					
LF	n.b.	n.b.	n.b.	0	81	35	200	4	62	33	104	8	50	31	68	4					
O2	n.b.	n.b.	n.b.	0	11,5	10,5	12,2	4	11,7	11,4	12,0	8	12,1	11,4	12,6	4					
°dH	n.b.	n.b.	n.b.	0	1,1	0,7	1,9	4	1,4	0,7	2,5	8	1,4	0,7	2,0	4					
Calcitiösek.	n.b.	n.b.	n.b.	0	17,1	15,7	18,3	4	23,2	8,2	80,3	8	10,8	8,4	13,3	4					
KS4.3	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,10	0,03	0,17	4	0,05	0,00	0,11	8	0,07	0,01	0,13	4					
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,15	0,13	0,16	4	0,21	0,04	0,83	8	0,08	0,05	0,11	4					
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0					
SiO2	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,0	8,3	9,6	4	8,8	7,2	10,0	8	7,3	5,7	8,2	4					
SPAK254	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,9	0,4	14,0	4	2,6	0,2	7,0	8	1,1	1,0	1,2	4					
TOC	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,7	0,3	1,6	4	0,6	0,1	1,5	8	1,0	0,4	2,0	4					
Ca	n.b.	n.b.	n.b.	0	5,4	3,7	8,7	4	6,8	3,9	11,0	8	6,5	4,0	9,3	4					
Mg	n.b.	n.b.	n.b.	0	1,5	0,8	3,0	4	2,1	0,8	4,2	8	1,9	0,8	3,2	4					
Na	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,3	2,1	14,0	4	2,5	2,2	14,0	8	2,3	2,0	12,7	3					
K	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,4	2,3	2,6	4	2,8	2,3	3,5	8	2,5	2,1	2,9	3					
Fe	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	0,01	4	0,02	n.n.	0,08	8	n.n.	n.n.	n.n.	4					
Mn	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,06	0,01	0,17	4	0,19	0,01	0,71	8	0,16	0,01	0,36	4					
Al	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,05	n.n.	0,18	4	0,34	n.n.	1,73	8	0,18	n.n.	0,60	4					
Cd	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,0002	0,0001	0,0003	4	0,0005	0,0002	0,0013	8	0,0038	0,0009	0,0091	3					
Zn	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,01	n.n.	0,04	8	n.n.	n.n.	0,01	4					
Cu	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,001	n.n.	0,002	4	0,006	n.n.	0,040	8	n.n.	n.n.	n.n.	3					
NH4	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	0,01	4	0,04	n.n.	0,10	8	0,03	n.n.	0,13	4					
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,2	2,8	4,0	4	3,9	2,7	5,5	8	3,6	2,7	4,5	4					
F	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	0,2	8	0,1	n.n.	0,2	4					
SO4	n.b.	n.b.	n.b.	0	14,1	8,3	24,1	4	23,0	8,6	45,5	8	19,1	8,6	30,9	4					
NO3	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,3	1,2	4,2	4	4,3	1,2	10,2	8	4,4	1,3	7,8	4					
NO2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,03	4	n.n.	n.n.	0,01	8	n.n.	n.n.	0,01	4					
PO4	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,04	n.n.	0,14	8	0,04	n.n.	0,11	4					

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 24: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2322 der Wasserversorgung 232

Kennnummer: 2322 Rohwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Aschaffenburg														
		1989			1990			1991			1992					
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	4,42	4,21	4,84	4	4,66	4,00	5,00	8	4,48	4,40	4,60	4
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	-4,40	-3,89	-4,70	4	-4,15	-3,55	-4,75	8	-4,28	-4,15	-4,41	3
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,83	8,66	8,99	4	8,82	8,46	9,65	8	8,79	8,65	8,89	3
Temp.	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,2	8,3	10,1	4	7,7	7,1	8,1	8	7,6	7,5	7,7	4
LF	n.b.	n.b.	n.b.	0	146	83	329	4	98	68	120	8	101	88	110	4
O2	n.b.	n.b.	n.b.	0	11,6	10,4	12,4	4	11,7	11,3	12,1	8	12,3	11,6	13,1	4
°dH	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,0	1,7	2,7	4	2,2	1,8	2,5	8	2,5	2,3	2,8	4
Calcitiösek.	n.b.	n.b.	n.b.	0	28,4	22,7	36,1	4	31,6	10,1	45,6	8	28,6	24,5	34,0	3
KS4.3	n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,01	-0,01	0,00	4	0,00	-0,02	0,02	8	0,01	-0,01	0,02	3
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,27	0,21	0,35	4	0,30	0,07	0,45	8	0,24	0,15	0,33	4
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	n.b.	n.b.	n.b.	0	7,0	6,5	7,4	4	7,1	6,0	8,9	8	6,0	5,2	6,7	4
SPAK254	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,7	0,6	8,8	4	2,6	1,2	5,2	8	2,5	1,0	4,8	4
TOC	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,9	0,7	1,2	4	1,0	0,5	1,6	8	1,0	0,5	1,7	4
Ca	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,6	7,5	11,0	4	9,5	8,4	11,0	8	10,8	10,0	12,0	4
Mg	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,5	2,8	4,9	4	3,8	2,5	5,0	8	4,3	3,8	4,9	4
Na	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,2	3,0	14,0	4	3,0	2,3	14,0	8	2,9	2,9	12,7	3
K	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,3	3,2	3,4	4	3,4	3,1	3,8	8	3,2	3,0	3,4	3
Fe	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,02	4	0,03	n.n.	0,23	8	n.n.	n.n.	n.n.	4
Mn	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,33	0,25	0,42	4	0,50	0,14	0,74	8	0,50	0,06	0,92	4
Al	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,96	0,63	1,20	4	1,63	0,36	2,50	8	2,05	1,10	3,20	4
Cd	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,0008	0,0002	0,0012	4	0,0010	0,0004	0,0015	8	0,0034	0,0004	0,0089	3
Zn	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,02	0,01	0,03	4	0,01	n.n.	0,02	8	0,02	0,01	0,03	4
Cu	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,001	n.n.	0,002	4	0,001	n.n.	0,002	8	0,001	n.n.	0,001	3
NH4	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,02	4	0,02	0,01	0,03	8	0,03	0,01	0,05	4
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	0	4,8	4,7	4,8	4	5,0	4,5	5,3	8	5,1	5,0	5,2	4
F	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,1	n.n.	0,1	4	0,1	n.n.	0,2	8	0,1	n.n.	0,2	4
SO4	n.b.	n.b.	n.b.	0	32,2	28,4	35,3	4	35,0	25,9	39,0	8	32,0	10,3	43,1	4
NO3	n.b.	n.b.	n.b.	0	12,4	11,5	13,3	4	16,7	10,0	22,2	8	20,9	18,2	24,8	4
NO2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,03	4	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	4
PO4	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,01	n.n.	0,08	8	0,02	n.n.	0,04	4

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 25: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2323 der Wasserversorgung 232

Kennnummer: 2323		Region: Spessart		Landkreis: Aschaffenburg																
Rohwasserdaten																				
Hydrologisches Jahr:	1989					1990					1991					1992				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0		5,12	4,65	5,48	4		5,37	4,50	5,90	7		5,48	5,00	6,40	4	
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0		-4,15	-4,03	-4,29	4		-4,19	-3,66	-4,61	7		-4,40	-4,29	-4,50	3	
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0		9,28	8,69	9,65	4		9,56	9,11	10,13	7		9,57	9,50	9,72	3	
Temp.	n.b.	n.b.	n.b.	0		9,5	8,5	10,3	4		7,7	5,0	8,3	8		7,9	7,7	8,2	4	
LF	n.b.	n.b.	n.b.	0		69	50	117	4		63	46	83	8		59	47	66	4	
O2	n.b.	n.b.	n.b.	0		11,8	10,9	12,4	4		11,6	11,2	12,0	8		12,4	11,6	13,2	4	
°dH	n.b.	n.b.	n.b.	0		1,2	1,0	1,8	4		1,4	1,0	2,0	8		1,5	0,9	1,9	4	
Calcitiöse.	n.b.	n.b.	n.b.	0		18,1	10,6	33,2	4		13,0	8,4	19,9	7		11,6	9,4	12,8	3	
KS4.3	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,04	0,00	0,07	4		0,03	0,00	0,09	8		0,03	0,00	0,06	4	
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,16	0,07	0,32	4		0,10	0,03	0,18	7		0,07	0,00	0,10	4	
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0	
SiO2	n.b.	n.b.	n.b.	0		7,1	6,2	7,8	4		7,0	5,5	8,8	8		5,9	5,0	6,8	4	
SPAK254	n.b.	n.b.	n.b.	0		3,0	0,6	8,8	4		2,5	0,8	5,0	8		1,1	0,6	1,4	4	
TOC	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,8	0,3	1,5	4		0,8	0,4	1,7	8		0,6	0,5	0,8	4	
Ca	n.b.	n.b.	n.b.	0		5,5	4,7	7,4	4		6,3	4,6	8,2	8		6,6	4,6	8,0	4	
Mg	n.b.	n.b.	n.b.	0		2,1	1,5	3,3	4		2,4	1,2	3,8	8		2,4	1,2	3,3	4	
Na	n.b.	n.b.	n.b.	0		3,4	3,0	14,0	4		3,2	2,5	14,0	8		3,3	3,0	12,7	3	
K	n.b.	n.b.	n.b.	0		2,5	2,5	2,6	4		2,8	2,4	3,2	8		2,6	2,2	2,8	3	
Fe	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,05	n.n.	0,19	4		0,01	n.n.	0,02	8		n.n.	n.n.	0,01	4	
Mn	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,07	0,03	0,14	4		0,11	0,01	0,27	8		0,11	0,01	0,18	4	
Al	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,20	n.n.	0,44	4		0,21	n.n.	0,75	8		0,26	n.n.	0,50	4	
Cd	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,0005	0,0002	0,0010	4		0,0005	0,0002	0,0009	8		0,0015	0,0007	0,0024	3	
Zn	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.n.	n.n.	0,01	4		n.n.	n.n.	n.n.	8		0,01	n.n.	0,01	4	
Cu	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,001	n.n.	0,001	4		n.n.	n.n.	0,001	8		0,001	0,001	0,002	3	
NH4	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,03	n.n.	0,09	4		0,03	0,01	0,11	8		0,02	n.n.	0,04	4	
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	0		5,7	5,3	6,2	4		5,5	5,0	6,1	8		6,0	5,5	6,4	4	
F	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.n.	n.n.	n.n.	4		n.n.	n.n.	0,1	8		n.n.	n.n.	0,1	4	
SO4	n.b.	n.b.	n.b.	0		15,3	11,4	21,8	4		20,2	10,7	30,9	8		23,1	18,2	26,9	4	
NO3	n.b.	n.b.	n.b.	0		6,3	5,1	7,9	4		7,4	3,2	11,5	8		7,9	4,6	9,9	4	
NO2	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,01	n.n.	0,02	4		n.n.	n.n.	0,01	8		n.n.	n.n.	n.n.	4	
PO4	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.n.	n.n.	n.n.	4		0,09	n.n.	0,32	8		0,01	n.n.	0,04	4	

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 26: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 2329 der Wasserversorgung 232

Hydrologisches Jahr:	Region: Spessart Landkreis: Aschaffenburg															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	6,92	6,55	7,30	3	6,73	6,10	7,10	8	5,60	4,60	6,90	4
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	-2,10	-1,62	-2,58	3	-2,21	-1,91	-2,57	7	-4,02	-3,43	-4,51	3
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,03	8,93	9,13	3	8,89	8,23	9,44	7	9,19	9,11	9,34	3
Temp.	n.b.	n.b.	n.b.	0	10,1	9,4	11,4	3	8,5	7,7	9,8	8	7,7	6,7	9,6	4
LF	n.b.	n.b.	n.b.	0	71	70	72	3	85	67	112	8	84	73	89	4
O2	n.b.	n.b.	n.b.	0	11,6	11,2	12,0	3	11,6	11,3	12,5	8	12,5	12,2	12,8	4
°dH	n.b.	n.b.	n.b.	0	1,9	1,7	2,1	3	2,4	1,6	3,3	8	2,3	1,6	2,6	4
Calcitiöse.	n.b.	n.b.	n.b.	0	7,3	7,1	7,5	3	19,1	5,2	48,6	7	16,3	10,1	19,9	3
KS4.3	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,37	0,29	0,44	3	0,26	0,19	0,37	8	0,10	0,00	0,30	4
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,05	0,05	0,05	3	0,15	0,00	0,49	8	0,11	0,00	0,18	4
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,2	8,4	10,3	3	8,5	7,2	9,7	8	6,3	5,4	6,8	4
SPAK254	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,3	0,6	7,6	3	3,8	0,8	7,6	8	2,0	1,2	3,2	4
TOC	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,7	0,4	0,9	3	0,9	0,5	1,5	8	0,8	0,5	1,2	4
Ca	n.b.	n.b.	n.b.	0	10,6	9,2	12,0	3	12,1	8,3	16,0	8	11,2	7,9	14,0	4
Mg	n.b.	n.b.	n.b.	0	1,9	1,9	1,9	3	2,9	1,9	4,5	8	3,4	2,3	4,4	4
Na	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,6	2,5	14,0	3	3,2	2,7	14,0	8	2,8	2,7	12,7	3
K	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,6	2,6	2,6	3	3,0	2,6	3,5	8	2,9	2,6	3,2	3
Fe	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,02	n.n.	0,06	3	0,01	n.n.	0,03	8	n.n.	n.n.	0,01	4
Mn	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,01	3	0,04	n.n.	0,09	8	0,38	0,13	0,57	4
Al	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,04	n.n.	0,12	8	0,93	0,29	1,60	4
Cd	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,0003	0,0001	0,0004	3	0,0003	n.n.	0,0008	8	0,0039	0,0010	0,0089	3
Zn	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	0,01	8	0,01	0,01	0,01	3
Cu	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,002	0,001	0,004	3	0,001	n.n.	0,004	8	0,001	n.n.	0,001	3
NH4	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,04	0,01	0,10	8	0,04	n.n.	0,10	4
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,7	3,6	4,0	3	4,8	3,7	5,8	8	5,1	4,6	5,7	4
F	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	0,1	8	0,1	n.n.	0,2	4
SO4	n.b.	n.b.	n.b.	0	16,0	14,3	17,6	3	26,4	17,4	37,0	8	33,4	25,5	39,2	4
NO3	n.b.	n.b.	n.b.	0	1,7	1,4	1,9	3	5,9	2,9	9,0	8	13,3	9,7	15,9	4
NO2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,36	0,01	1,05	3	0,02	n.n.	0,09	8	n.n.	n.n.	0,01	4
PO4	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,03	n.n.	0,11	8	0,10	n.n.	0,22	4

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 27: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9131 der Wasserversorgung 913

Hydrologisches Jahr:		1989					1990					1991					1992				
		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
	pH-Wert	5,37	5,20	5,65	3		5,60	4,90	6,70	12		6,14	5,39	7,70	5		5,49	5,20	6,50	8	
	Delta-pH	-4,06	-3,84	-4,28	2		-3,41	-2,43	-4,16	9		-3,00	-1,19	-4,17	5		-3,57	-2,82	-3,96	8	
	pHc-Wert	9,29	9,04	9,54	2		8,99	7,82	9,47	9		9,15	8,77	9,57	5		9,07	8,13	9,49	8	
	Temp.	8,3	7,9	8,8	3		8,5	7,6	9,7	12		8,0	7,3	8,7	5		8,6	7,4	10,4	8	
	LF	71	63	78	3		71	54	106	12		65	58	76	5		68	54	79	8	
	O2	11,6	10,6	12,1	3		11,0	10,2	11,8	12		11,3	10,7	12,6	4		10,8	8,7	12,0	8	
	°dH	1,2	0,9	1,4	3		1,2	0,8	1,6	12		1,2	1,0	1,3	5		1,2	0,9	1,4	8	
	Calcitfösek.	17,8	12,8	22,9	2		31,0	13,7	102,7	9		21,5	12,9	32,4	5		25,5	14,0	70,6	8	
	KS4.3	0,00	0,00	0,01	3		0,02	0,00	0,04	12		0,02	0,00	0,05	5		0,02	0,00	0,04	8	
	KB8.2	0,16	0,10	0,21	2		0,30	0,11	1,10	9		0,19	0,10	0,31	5		0,24	0,11	0,72	8	
	KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0	
	SiO2	5,8	5,1	6,5	3		6,3	5,3	12,0	12		5,7	5,3	6,3	5		6,0	5,5	6,6	8	
	SPAK254	1,1	0,8	1,6	3		0,8	0,2	2,4	11		2,2	1,2	4,0	5		1,4	0,6	2,2	8	
	TOC	1,1	0,9	1,3	3		1,2	0,3	5,6	12		1,0	0,7	1,2	5		0,6	0,3	1,3	8	
	Ca	5,6	4,6	6,5	3		5,9	4,0	7,4	12		5,5	4,8	6,1	5		5,5	4,4	6,5	8	
	Mg	1,7	1,3	2,1	3		1,8	1,2	2,5	12		1,7	1,4	1,9	5		1,8	1,3	2,2	8	
	Na	2,1	2,1	22,0	3		2,0	1,5	28,0	12		1,9	1,6	32,0	5		1,9	1,8	27,0	8	
	K	2,5	2,4	2,5	3		2,5	2,0	4,8	12		2,6	2,2	3,0	5		2,1	2,0	2,3	8	
	Fe	0,41	0,06	1,00	3		0,20	0,02	0,65	12		0,05	0,01	0,10	5		0,30	0,03	0,68	8	
	Mn	0,06	0,02	0,12	3		0,06	0,01	0,15	12		0,07	0,03	0,11	5		0,08	0,01	0,13	8	
	Al	0,15	0,05	0,25	3		0,16	0,06	0,31	12		0,14	0,13	0,17	5		0,17	0,06	0,26	8	
	Cd	0,0004	0,0002	0,0005	3		0,0051	0,0001	0,0300	12		0,0021	0,0003	0,0090	5		0,0004	0,0002	0,0006	8	
	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3		0,32	n.n.	1,20	12		0,15	0,09	0,22	5		0,18	0,14	0,22	8	
	Cu	0,003	0,001	0,006	3		0,002	0,001	0,010	12		0,002	0,001	0,002	5		0,003	0,001	0,006	8	
	NH4	0,09	n.n.	0,18	3		0,02	n.n.	0,10	12		0,03	0,01	0,11	5		0,01	n.n.	0,03	8	
	Cl	3,2	3,0	3,5	3		3,2	2,6	5,4	12		3,1	2,9	3,3	5		3,0	2,3	3,3	8	
	F	n.n.	n.n.	0,1	3		n.n.	n.n.	n.n.	12		n.n.	n.n.	n.n.	5		n.n.	n.n.	0,1	8	
	SO4	18,7	14,3	22,8	3		18,2	13,6	22,1	12		20,4	17,2	25,2	5		19,6	13,7	22,7	8	
	NO3	4,6	4,3	5,0	3		4,3	3,8	5,0	12		4,2	3,6	5,0	5		4,7	4,3	5,4	8	
	NO2	0,01	0,01	0,02	3		0,01	n.n.	0,02	12		0,01	n.n.	0,03	5		n.n.	n.n.	0,01	8	
	PO4	0,02	n.n.	0,05	3		0,21	n.n.	2,40	12		0,02	n.n.	0,07	5		0,01	n.n.	0,03	8	

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 28: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9139 der Wasserversorgung 913

Kennnummer: 9139 Reinwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Main-Spessart														
		1989			1990			1991			1992					
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	8,13	7,61	9,09	3	8,19	7,90	8,82	12	8,30	7,70	8,90	5	8,24	7,70	9,00	7
Delta-pH	-1,51	-1,51	-1,51	1	-1,10	-0,84	-1,43	6	-1,22	-1,12	-1,34	3	-1,21	-0,98	-1,45	2
pHc-Wert	9,22	9,22	9,22	1	9,20	9,04	9,37	6	9,25	9,04	9,60	3	9,26	9,15	9,38	2
Temp.	8,5	7,8	9,4	3	8,6	7,4	10,5	12	8,7	7,3	10,8	5	8,9	7,4	11,0	7
LF	92	81	99	3	95	78	115	12	87	80	100	5	89	75	99	7
O2	11,7	11,0	12,4	3	11,0	10,2	11,7	12	11,2	10,7	11,8	4	11,0	9,3	11,8	7
°dH	2,1	1,6	2,5	3	2,1	1,2	2,8	12	2,0	1,7	2,3	5	2,0	1,7	2,3	7
Calcitfösek.	3,4	3,4	3,4	1	3,4	-0,1	7,2	6	5,0	-1,4	12,1	3	3,5	1,7	5,3	2
KS4.3	0,30	0,26	0,33	3	0,33	0,25	0,37	12	0,28	0,25	0,32	5	0,30	0,26	0,38	7
KB8.2	0,01	0,00	0,01	2	0,02	0,00	0,05	5	0,06	0,02	0,10	2	0,03	0,03	0,03	1
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,03	0,02	0,03	2	0,05	0,05	0,05	1	0,01	0,01	0,01	1
SiO2	6,1	5,5	7,1	3	6,2	5,2	10,0	12	5,8	5,3	6,3	5	6,2	5,8	6,7	7
SPAK254	1,1	0,8	1,6	3	0,7	0,2	1,8	11	2,0	1,0	3,0	5	1,9	1,4	2,4	7
TOC	1,0	0,9	1,2	3	1,1	0,6	2,3	12	0,9	0,6	1,2	5	0,7	0,2	1,4	7
Ca	12,1	9,5	14,4	3	12,4	5,5	16,0	12	11,4	9,9	13,0	5	11,4	9,8	13,0	7
Mg	1,7	1,3	2,1	3	1,8	1,2	2,4	12	1,7	1,4	1,9	5	1,8	1,3	2,2	7
Na	2,1	2,0	22,0	3	2,0	1,5	28,0	12	1,9	1,5	32,0	5	1,9	1,8	27,0	7
K	2,4	2,3	2,4	3	2,2	2,0	2,6	12	2,3	2,1	2,5	5	2,2	2,1	2,5	7
Fe	0,02	0,01	0,04	3	0,06	0,02	0,36	12	0,02	0,01	0,04	5	0,09	0,01	0,44	7
Mn	0,01	n.n.	0,02	3	0,02	n.n.	0,05	12	0,02	0,01	0,04	5	0,03	n.n.	0,09	7
Al	0,13	0,07	0,25	3	0,11	n.n.	0,24	12	0,11	0,07	0,15	5	0,12	0,06	0,19	7
Cd	0,0001	0,0001	0,0001	3	0,0009	0,0001	0,0040	12	0,0007	0,0001	0,0017	5	0,0002	n.n.	0,0008	7
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,05	n.n.	0,47	12	n.n.	n.n.	0,01	5	0,02	n.n.	0,07	7
Cu	0,003	0,001	0,006	3	0,001	n.n.	0,005	12	0,004	n.n.	0,011	5	0,002	n.n.	0,007	7
NH4	0,02	0,01	0,03	3	0,01	n.n.	0,08	12	0,01	n.n.	0,02	5	0,07	n.n.	0,36	7
Cl	3,0	2,9	3,1	3	3,0	2,6	3,7	12	3,1	3,0	3,2	5	3,1	2,7	3,4	7
F	n.n.	n.n.	0,1	3	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,2	7
SO4	18,6	14,9	22,9	3	18,3	13,0	22,7	12	20,9	17,1	26,4	5	18,9	13,6	22,5	7
NO3	4,5	4,3	4,6	3	4,3	3,9	5,0	12	4,1	3,6	4,8	5	4,6	4,3	5,1	7
NO2	0,01	0,01	0,01	3	0,01	n.n.	0,03	12	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,02	7
PO4	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,03	n.n.	0,17	12	n.n.	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	0,02	5

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 29: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9181 der Wasserversorgung 918

Hydrologisches Jahr:		1989					1990					1991					1992				
		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert		5,59	5,35	5,81	3	5,62	5,00	6,30	9	5,93	5,80	6,20	4	n.b.	n.b.	0					
	Delta-pH	-3,40	-3,25	-3,55	2	-2,87	-2,14	-3,45	6	-2,76	-2,07	-3,05	4	n.b.	n.b.	0					
pHc-Wert		8,88	8,86	8,91	2	8,63	7,56	9,27	6	8,68	7,87	9,26	4	n.b.	n.b.	0					
	Temp.	8,0	7,6	8,5	3	8,1	7,2	9,1	9	7,7	7,2	8,2	4	n.b.	n.b.	0					
LF		99	95	102	3	97	82	120	9	92	86	100	4	n.b.	n.b.	0					
	O2	11,5	10,5	12,1	3	10,9	10,0	11,8	9	11,0	10,4	11,8	4	n.b.	n.b.	0					
°dH		1,3	1,2	1,5	3	1,4	1,2	1,6	9	1,4	1,2	1,6	4	n.b.	n.b.	0					
	Calcitlösek.	26,6	25,6	27,5	2	50,8	16,2	140,2	6	43,9	17,3	96,4	4	n.b.	n.b.	0					
KS4.3		0,03	0,02	0,04	3	0,03	0,02	0,07	9	0,02	0,01	0,03	4	n.b.	n.b.	0					
	KB8.2	0,25	0,24	0,26	2	0,53	0,14	1,60	6	0,44	0,15	1,02	4	n.b.	n.b.	0					
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	0					
	SiO2	6,1	5,5	6,7	3	6,0	5,3	7,0	9	6,1	5,5	6,6	4	n.b.	n.b.	0					
SPAK254		1,1	0,8	1,6	3	1,1	0,2	2,8	8	2,0	1,0	3,2	4	n.b.	n.b.	0					
	TOC	1,0	0,8	1,1	3	1,1	0,5	1,9	9	1,1	0,9	1,2	4	n.b.	n.b.	0					
Ca		6,5	5,6	7,1	3	6,9	5,8	7,7	9	6,7	5,7	7,4	4	n.b.	n.b.	0					
	Mg	1,9	1,7	2,1	3	2,0	1,7	2,3	9	2,0	1,6	2,3	4	n.b.	n.b.	0					
Na		6,3	6,1	22,0	3	5,6	5,1	28,0	9	5,7	3,6	32,0	4	n.b.	n.b.	0					
	K	2,5	2,4	2,6	3	2,4	2,1	3,3	9	2,5	2,4	2,7	4	n.b.	n.b.	0					
Fe		0,01	n.n.	0,01	3	0,01	n.n.	0,01	9	0,03	n.n.	0,09	4	n.b.	n.b.	0					
	Mn	0,04	n.n.	0,08	3	0,04	0,01	0,09	9	0,05	0,03	0,10	4	n.b.	n.b.	0					
Al		0,05	0,02	0,08	3	0,05	n.n.	0,11	9	0,03	n.n.	0,10	4	n.b.	n.b.	0					
	Cd	0,0001	0,0001	0,0002	3	0,0030	0,0001	0,0220	9	0,0006	0,0003	0,0007	4	n.b.	n.b.	0					
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	3	0,01	n.n.	0,03	9	n.n.	n.n.	0,01	4	n.b.	n.b.	0					
	Cu	0,001	n.n.	0,002	3	0,005	n.n.	0,040	9	0,001	n.n.	0,002	4	n.b.	n.b.	0					
NH4		0,01	n.n.	0,03	3	0,02	n.n.	0,11	9	0,01	n.n.	0,03	4	n.b.	n.b.	0					
	Cl	12,0	11,0	14,0	3	11,6	10,1	13,0	9	11,5	7,5	14,0	4	n.b.	n.b.	0					
F		n.n.	n.n.	0,1	3	n.n.	n.n.	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.b.	n.b.	0					
	SO4	15,9	12,0	19,5	3	15,7	13,3	17,6	9	18,2	16,3	21,7	4	n.b.	n.b.	0					
NO3		5,6	5,1	6,3	3	5,9	5,1	6,6	9	6,5	5,7	7,2	4	n.b.	n.b.	0					
	NO2	0,02	0,01	0,03	3	0,01	n.n.	0,01	9	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.b.	n.b.	0					
PO4		n.n.	n.n.	n.n.	3	0,06	n.n.	0,45	9	0,01	n.n.	0,03	4	n.b.	n.b.	0					

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in immol/l)

Tab. 30: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9182 der Wasserversorgung 918

Kennnummer: 9182 Rohwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Main-Spessart										
		1989		1990		1991		1992				
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,55	5,37	5,68	3	5,64	5,10	6,30	8	5,50	5,50	5,50	1
Delta-pH	-3,53	-3,39	-3,67	2	-3,06	-2,24	-3,66	5	-2,92	-2,92	-2,92	1
pHc-Wert	9,02	9,00	9,05	2	8,64	7,54	9,26	5	8,42	8,42	8,42	1
Temp.	8,0	7,6	8,5	3	8,2	7,4	9,2	8	7,2	7,2	7,2	1
LF	97	90	102	3	97	88	115	8	88	88	88	1
O2	11,7	10,7	12,3	3	10,8	10,2	11,9	8	11,3	11,3	11,3	1
°dH	1,3	1,2	1,4	3	1,5	1,3	1,7	8	1,4	1,4	1,4	1
Calcitiösesek.	22,3	21,8	22,8	2	50,5	16,3	144,4	5	49,5	49,5	49,5	1
KS4.3	0,03	0,01	0,04	3	0,03	0,02	0,03	8	0,02	0,02	0,02	1
KB8.2	0,21	0,20	0,21	2	0,54	0,14	1,66	5	0,49	0,49	0,49	1
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	6,4	5,5	6,9	3	5,9	5,3	6,5	8	5,8	5,8	5,8	1
SPAK254	1,0	0,8	1,2	3	1,0	0,2	2,2	8	1,8	1,8	1,8	1
TOC	0,8	0,7	1,0	3	1,1	0,4	1,6	8	1,4	1,4	1,4	1
Ca	6,5	5,6	6,9	3	7,1	6,0	8,7	8	6,9	6,9	6,9	1
Mg	1,9	1,7	2,1	3	2,1	1,8	2,4	8	2,0	2,0	2,0	1
Na	5,9	5,5	22,0	3	5,5	5,0	28,0	8	3,9	3,9	32,0	1
K	2,4	2,3	2,4	3	2,2	1,8	2,6	8	2,4	2,4	2,4	1
Fe	n.n.	n.n.	0,01	3	0,02	n.n.	0,07	8	0,01	0,01	0,01	1
Mn	0,04	0,02	0,08	3	0,04	n.n.	0,08	8	0,10	0,10	0,10	1
Al	0,06	0,02	0,09	3	0,07	n.n.	0,22	8	0,09	0,09	0,09	1
Cd	0,0001	0,0001	0,0002	3	0,0005	0,0001	0,0012	8	0,0003	0,0003	0,0003	1
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,01	n.n.	0,03	8	0,01	0,01	0,01	1
Cu	n.n.	n.n.	0,001	3	0,001	n.n.	0,003	8	0,007	0,007	0,007	1
NH4	0,06	0,01	0,11	3	n.n.	n.n.	0,01	8	0,13	0,13	0,13	1
Cl	11,2	9,7	13,0	3	11,3	10,2	12,5	8	8,6	8,6	8,6	1
F	n.n.	n.n.	0,1	3	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	1
SO4	15,6	12,1	18,8	3	16,0	12,2	18,7	8	24,3	24,3	24,3	1
NO3	5,9	5,4	6,6	3	6,0	5,5	6,6	8	7,2	7,2	7,2	1
NO2	0,01	0,01	0,01	3	n.n.	n.n.	0,01	8	n.n.	n.n.	n.n.	1
PO4	0,01	n.n.	0,03	3	0,03	n.n.	0,25	8	0,06	0,06	0,06	1

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 31: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9189 der Wasserversorgung 918

Kennnummer: 9189 Reinwasserdaten		1989					1990					1991					1992				
		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert		8,85	8,70	9,08	3	8,46	8,10	8,80	10	8,23	8,00	8,40	4	8,78	8,20	9,20	4				
Delta-pH		n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,58	-0,53	-0,64	2	-0,61	-0,48	-0,71	4	n.b.	n.b.	n.b.	0				
pHc-Wert		n.b.	n.b.	n.b.	0	8,88	8,83	8,94	2	8,84	8,58	9,08	4	n.b.	n.b.	n.b.	0				
Temp.		8,3	7,6	9,5	3	8,7	7,3	10,5	10	7,9	7,4	8,9	4	7,9	7,3	8,3	4				
LF		147	135	157	3	137	117	170	10	136	130	140	4	133	119	146	4				
O2		11,9	11,0	12,4	3	10,7	9,1	11,9	10	11,5	10,7	12,0	4	11,1	10,4	11,8	4				
°dH		2,8	2,3	3,2	3	3,0	2,5	3,4	10	2,9	2,3	3,1	4	2,6	2,3	2,9	4				
Calcitlösek.		n.b.	n.b.	n.b.	0	1,0	0,9	1,2	2	4,6	0,0	15,3	4	n.b.	n.b.	n.b.	0				
KS4.3		0,50	0,44	0,62	3	0,54	0,41	0,60	10	0,54	0,50	0,59	4	0,45	0,40	0,54	4				
KB8.2		0,00	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00	1	0,08	0,01	0,14	2	n.b.	n.b.	n.b.	0				
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	0,01	0,01	2	0,02	0,02	0,02	2	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2		6,7	5,7	7,8	3	6,3	5,3	11,0	10	6,2	5,6	6,9	4	6,0	5,4	6,6	4				
SPAK254		1,2	1,0	1,6	3	0,8	0,2	2,2	9	2,4	1,0	3,8	4	2,2	1,4	4,0	4				
TOC		0,9	0,8	1,0	3	1,0	0,5	1,6	10	1,1	0,9	1,4	4	1,0	0,6	1,3	4				
Ca		16,8	13,8	20,0	3	18,0	15,0	21,0	10	17,3	14,0	19,0	4	15,0	13,0	17,0	4				
Mg		1,9	1,7	2,1	3	2,1	1,6	2,3	10	2,0	1,7	2,3	4	2,1	1,9	2,4	4				
Na		6,3	5,8	22,0	3	5,9	5,2	28,0	10	5,9	4,0	32,0	4	7,0	4,5	27,0	4				
K		2,4	2,3	2,4	3	2,3	2,0	2,6	10	2,4	2,3	2,6	4	2,3	2,0	2,4	4				
Fe		0,06	0,01	0,17	3	0,04	n.n.	0,09	10	0,05	0,01	0,09	4	0,09	0,02	0,26	4				
Mn		n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	0,01	10	0,01	n.n.	0,02	4	n.n.	n.n.	n.n.	4				
Al		0,07	0,02	0,11	3	0,04	n.n.	0,08	10	0,02	n.n.	0,08	4	0,06	n.n.	0,11	4				
Cd		n.n.	n.n.	0,0001	3	0,0002	n.n.	0,0007	10	0,0004	0,0001	0,0011	4	0,0002	0,0001	0,0006	4				
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	3	0,04	n.n.	0,11	10	0,03	0,01	0,05	4	0,11	0,02	0,33	4				
Cu		0,003	0,001	0,005	3	0,028	0,002	0,200	10	0,007	0,002	0,010	4	0,071	0,002	0,240	4				
NH4		0,04	0,01	0,07	3	0,01	n.n.	0,05	10	0,01	n.n.	0,04	4	0,02	0,01	0,02	3				
Cl		11,6	9,7	13,0	3	11,9	10,3	15,0	10	11,9	8,0	14,0	4	14,2	11,6	17,0	4				
F		n.n.	n.n.	0,1	3	n.n.	n.n.	n.n.	10	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	4				
SO4		15,6	11,8	18,9	3	15,6	12,5	17,8	10	18,2	16,2	22,3	4	16,3	11,6	18,4	4				
NO3		5,8	5,4	6,5	3	6,0	5,1	7,7	10	6,4	5,7	7,1	4	5,7	5,2	6,2	4				
NO2		0,01	0,01	0,01	3	0,01	n.n.	0,02	10	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,01	n.n.	0,02	4				
PO4		0,01	n.n.	0,03	3	0,04	n.n.	0,22	10	0,01	n.n.	0,03	4	0,02	n.n.	0,04	3				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 32: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9221 der Wasserversorgung 922

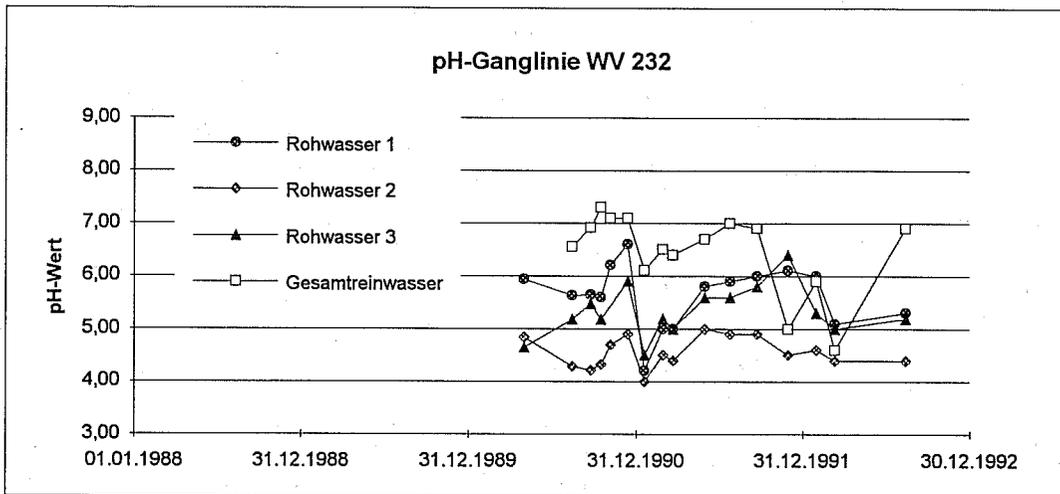
Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl	
	Mittel	Max	Anzahl	Mittel	Max		Anzahl	Mittel	Max	Anzahl	Mittel		Max	Anzahl	Mittel	Max	Anzahl							
pH-Wert	5,89	6,15	3	6,04	5,60	6,70	12	6,86	6,30	7,70	5		5,96	5,60	6,60	7								
Delta-pH	-2,38	-2,64	2	-2,12	-1,29	-2,72	10	-1,37	-0,52	-2,36	5		-2,45	-1,83	-2,84	7								
pHc-Wert	8,41	8,55	2	8,21	7,22	8,89	10	8,23	7,70	8,66	5		8,41	8,18	8,60	7								
Temp.	8,4	8,9	3	9,5	7,7	11,3	12	8,6	7,3	10,1	5		9,2	7,8	10,9	7								
LF	78	140	3	55	38	78	12	69	50	93	5		53	39	68	7								
O2	11,1	12,2	3	10,9	9,7	13,6	12	11,3	9,7	12,7	5		11,0	10,2	11,8	7								
°dH	1,2	1,9	3	1,0	0,6	1,5	12	1,6	0,8	2,1	5		1,0	0,7	1,2	7								
Calcitlösek.	43,9	47,9	2	73,7	22,9	205,7	10	56,9	28,0	110,5	5		46,8	35,2	61,2	7								
KS4.3	0,18	0,25	3	0,13	0,06	0,20	12	0,27	0,13	0,43	5		0,13	0,10	0,17	7								
KB8.2	0,44	0,48	2	0,84	0,21	2,74	10	0,59	0,27	1,22	5		0,46	0,34	0,62	7								
KS8.2	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0								
SiO2	9,6	10,0	2	10,3	8,7	12,0	12	9,9	8,8	10,8	5		10,6	9,2	12,0	7								
SPAK254	0,7	1,2	3	0,7	0,2	2,6	11	4,0	1,2	11,8	5		2,2	0,8	4,8	7								
TOC	1,0	1,5	3	1,1	0,3	3,0	12	1,3	0,6	2,0	5		0,8	0,2	1,7	7								
Ca	6,3	10,4	3	5,3	3,3	7,3	12	8,7	3,7	11,0	5		4,7	3,8	5,6	7								
Mg	1,3	2,1	3	1,3	0,5	2,3	12	1,6	1,0	2,6	5		1,4	0,9	1,9	7								
Na	2,2	22,0	3	2,0	1,7	28,0	12	2,1	1,8	32,0	5		2,1	1,8	27,0	7								
K	1,6	2,0	3	1,7	1,1	2,8	12	1,9	1,8	2,2	5		1,7	1,5	1,9	7								
Fe	0,02	0,05	3	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	5		n.n.	n.n.	0,01	7								
Mn	0,05	0,09	3	0,04	0,04	0,12	12	0,05	0,01	0,13	5		0,05	n.n.	0,10	7								
Al	0,06	0,11	3	0,04	0,04	0,17	12	0,06	n.n.	0,15	5		0,04	n.n.	0,11	7								
Cd	0,0005	0,0011	3	0,0003	n.n.	0,0014	12	0,0009	0,0001	0,0027	5		0,0003	n.n.	0,0022	7								
Zn	n.n.	n.n.	3	0,05	n.n.	0,43	12	0,01	n.n.	0,01	5		0,01	n.n.	0,04	7								
Cu	0,001	0,003	3	0,001	n.n.	0,004	12	0,001	n.n.	0,001	5		0,001	n.n.	0,001	7								
NH4	n.n.	n.n.	3	0,01	n.n.	0,07	12	0,04	0,02	0,06	5		0,01	n.n.	0,02	6								
Cl	3,5	3,9	3	3,5	2,8	4,7	12	3,7	3,2	4,2	5		3,4	2,9	3,7	7								
F	n.n.	0,1	3	n.n.	n.n.	0,4	12	n.n.	n.n.	0,1	5		n.n.	n.n.	0,1	7								
SO4	8,8	16,4	3	8,5	4,5	18,8	12	13,1	6,7	27,5	5		9,5	4,7	13,5	7								
NO3	4,2	6,9	3	2,6	1,9	4,1	12	2,9	1,5	3,8	5		3,0	1,5	3,8	7								
NO2	n.n.	0,01	3	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	5		0,01	n.n.	0,02	7								
PO4	0,02	0,04	3	0,04	n.n.	0,18	12	0,14	n.n.	0,58	5		0,02	n.n.	0,06	6								

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

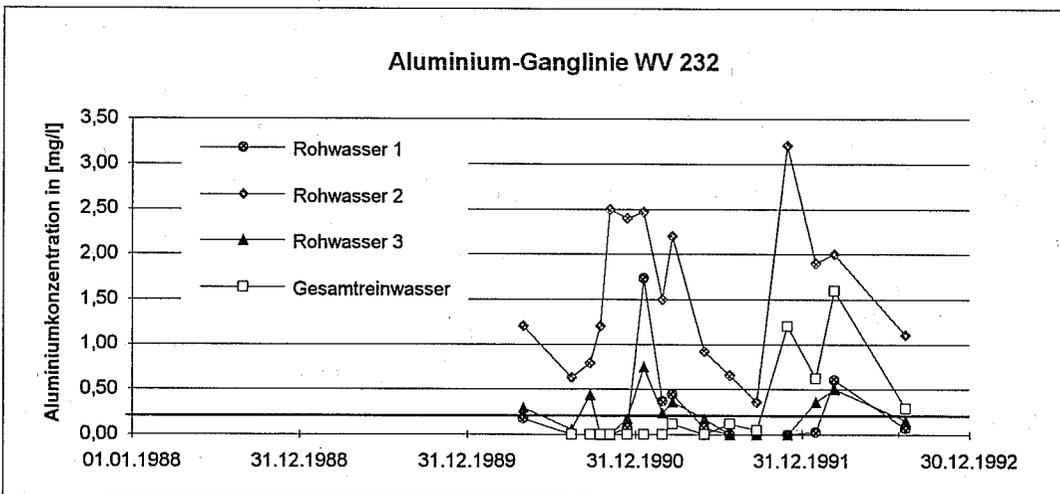
Tab. 33: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 9229 der Wasserversorgung 922

Kennnummer: 9229 Reinwasserdaten		Region: Spessart Landkreis: Main-Spessart															
		1989				1990				1991				1992			
Hydrologisches Jahr:		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
			pH-Wert	7,82	7,70	7,92	3	7,92	7,30	8,30	12	8,04	7,90	8,20	5	7,84	7,60
	Delta-pH	-0,52	-0,52	-0,52	1	-0,32	-0,05	-0,59	8	-0,40	-0,10	-0,70	4	-0,55	-0,32	-0,69	7
	pHc-Wert	8,22	8,22	8,22	1	8,21	7,84	8,36	8	8,40	8,10	8,70	4	8,39	8,27	8,55	7
	Temp.	8,6	8,0	9,8	3	9,0	6,7	10,8	12	8,7	7,5	10,2	5	9,1	7,6	10,9	7
	LF	160	150	169	3	151	133	189	12	131	110	156	5	129	108	160	7
	O2	11,3	10,4	12,3	3	10,9	9,1	13,0	12	11,3	10,4	12,5	5	11,1	10,3	11,9	7
	°dH	3,5	1,1	5,2	3	4,2	3,3	4,8	12	3,8	2,5	4,9	5	3,5	2,8	4,3	7
	Calcitlösek.	6,1	6,1	6,1	1	8,1	-4,0	47,3	8	7,5	2,2	19,9	4	5,4	2,2	8,5	7
	KS4.3	1,16	1,01	1,27	3	1,16	0,91	1,34	12	1,00	0,77	1,11	5	1,04	0,79	1,19	7
	KB8.2	0,03	0,00	0,06	2	0,09	0,00	0,53	8	0,05	0,00	0,21	5	0,04	0,01	0,08	7
	KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,05	0,05	0,05	1	0,00	0,00	0,00	1	n.b.	n.b.	n.b.	0
	SiO2	10,9	9,7	12,0	2	10,3	8,7	12,0	12	10,0	8,7	10,9	5	11,1	10,0	12,0	7
	SPAK254	0,7	0,4	0,8	3	0,9	0,2	3,0	11	2,8	1,4	4,2	5	1,7	0,8	2,6	7
	TOC	1,3	0,8	2,1	3	1,1	0,3	3,0	12	1,1	0,6	2,2	5	0,7	0,4	1,3	7
	Ca	22,8	5,4	34,0	3	27,8	22,0	32,0	12	24,6	16,0	32,0	5	23,3	18,0	28,0	7
	Mg	1,6	1,1	2,1	3	1,4	0,8	2,3	12	1,6	1,0	2,7	5	1,3	0,9	1,7	7
	Na	2,3	2,1	22,0	3	2,1	1,9	28,0	12	2,0	1,7	32,0	5	2,2	1,9	27,0	7
	K	1,8	1,5	2,0	3	1,6	0,9	1,9	12	1,8	1,6	2,3	5	1,7	1,4	2,0	7
	Fe	0,01	n.n.	0,01	3	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	0,02	7
	Mn	0,01	n.n.	0,02	3	0,01	n.n.	0,09	12	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,03	7
	Al	0,04	0,02	0,06	3	0,02	n.n.	0,07	12	0,04	n.n.	0,15	5	0,01	n.n.	0,05	7
	Cd	0,0004	n.n.	0,0010	3	0,0027	n.n.	0,0220	12	0,0002	n.n.	0,0005	5	0,0001	n.n.	0,0002	7
	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	5	0,02	n.n.	0,05	7
	Cu	0,001	n.n.	0,003	3	0,001	n.n.	0,002	12	0,001	n.n.	0,001	5	0,001	n.n.	0,002	7
	NH4	0,01	n.n.	0,02	3	0,02	n.n.	0,21	12	0,03	n.n.	0,05	5	0,02	n.n.	0,04	5
	Cl	3,7	3,4	3,9	3	3,4	2,9	4,1	12	3,7	3,4	4,3	5	3,4	2,8	3,8	7
	F	n.n.	n.n.	0,1	3	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,1	7
	SO4	11,1	4,5	16,6	3	8,8	3,9	18,9	12	13,0	6,6	28,0	5	9,5	4,7	13,6	7
	NO3	4,2	2,4	6,6	3	2,7	2,0	4,1	12	3,0	2,4	3,8	5	3,1	1,8	3,8	7
	NO2	0,01	n.n.	0,01	3	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,03	7
	PO4	0,02	n.n.	0,04	3	0,08	n.n.	0,24	11	0,03	n.n.	0,05	5	0,03	n.n.	0,08	5

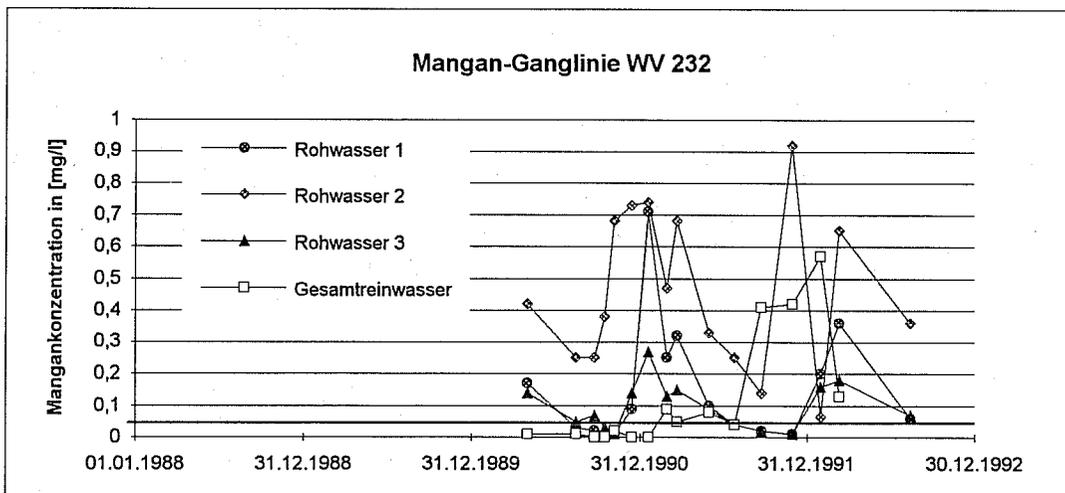
(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in immo/l/l)



a)



b)



c)

Abb. 14: Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Spessart

4.1.2 Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

4.1.2.1 Forstinventur und Waldzustand

Das Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser ist nahezu vollständig mit Laubwald bestockt (Tab. 34). Gegenüber der natürlichen Bestockung ist die Baumart Eiche durch künstlichen Anbau bevorzugt worden. Jüngere und mittelalte Bestände überwiegen.

In Tab. 34 findet sich die Charakterisierung der einzelnen Untersuchungsbestände. Darin wird deutlich, daß alte Buchenbestände gut repräsentiert sind. Der Fichtenbestand 06 stellt eine flächenmäßig im Gebiet kaum vertretene Ausnahme dar. Seine Bedeutung liegt in der Gewinnung repräsentativer Meßdaten für Fichtenbestände auf mittlerem Buntsandstein. Die Daten der jährlichen Kronenzustandserhebung (Tab. 35) weisen mit einem Schwerpunkt in den Schadstufen 1 und 2 keinerlei Auffälligkeiten auf.

Auf der Fichtenfläche warfen die Frühjahrsorkane 1990 ca. 30% der Fichten. In den Laubbeständen war 1988 und 1989 massiver Frostspannerbefall zu beobachten. So spiegelt die Bewertung des Eichenjungbestands 07 im Herbst des Jahres 1988 mit nur 14% Anteil der Schadstufe 0 den Neuaustrieb der Eichen im Juni (Johannistrieb) nach fast vollständiger Entlaubung durch den Schädlingsbefall wieder.

Tab. 34: Forstinventurdaten im Untersuchungsgebiet
Metzenbach/Birkwasser

Spessart		Metzenbach/Birkwasser				Forstinventurdaten 1988		
Fläche		01	02	03	04	05	06	07
Höhenlage (m ü. NN)		430	415	415	430	400	420	450
Alter (Jahre)		116	114	112	118	155	89	30
Flächengröße (ha)		0,1830	0,1892	0,1832	0,1600	0,1711	0,1818	n.b.
gesamt:	Fi	16; 5	0; 0	5; 1	0; 0	0; 0	413; 64	0; 0
Baumzahl/ha; %-Anteil	Ki	0; 0	0; 0	0; 0	0; 0	0; 0	22; 3	0; 0
	Bu	333; 95	481; 91	409; 94	406; 53	245; 100	204; 32	0; 0
	Ei	0; 0	48; 9	22; 5	356; 47	0; 0	6; 1	n.b. 100
Kraftklasse 1 und 2:	Fi	5; 3	0; 0	5; 2	0; 0	0; 0	347; 93	0; 0
Baumzahl/ha; %-Anteil	Ki	0; 0	0; 0	0; 0	0; 0	0; 0	22; 6	0; 0
	Bu	208; 97	227; 88	213; 96	13; 4	205; 100	0; 0	0; 0
	Ei	0; 0	32; 12	5; 2	313; 96	0; 0	6; 1	n.b. 100
Baumhöhe (m)		33,95	29,90	28,30	29,10	28,48	32,45	7,30
Kronenlänge (m)		12,32	13,27	11,92	9,97	11,78	11,29	n.b.
Höhe des Kronenansatzes(m)		21,58	16,63	16,38	19,13	16,70	21,17	n.b.
Brusthöhendurchmesser (m)		0,354	0,294	0,274	0,234	0,405	0,343	n.b.
Kreisfläche (m ² /ha)		34,479	35,797	25,736	32,758	31,692	59,108	6,833
Vorrat (Efm. o. R. /ha)		480,97	420,71	314,96	300,85	362,17	703,81	n.b.

Baumarten : Fi = Fichte, Ki=Kiefer, Bu=Buche, Ei=Eiche
 Baumhöhe, Kronenlänge und Höhe des Kronenansatzes : arithmetisches Mittel aus 10% der Bäume aller Kraftklassen
 Brusthöhendurchmesser : arithmetisches Mittel der Bäume der Kraftklasse 1 und 2
 Kreisfläche : ermittelt aus allen Bäumen nach BITTERLICH (1952)
 Vorrat : Berechnung für über 60-jährige Bestände nach KRENN (1950), für die jüngeren Bestände über die Derbholzformzahl-Tafel nach FRANZ (1972) in Erntefestmetern ohne Rinde (Efm. o. R.)

Spessart		Metzenbach/Birkwasser				Forstinventurdaten 1988		
		Baumartenverteilung in %				Altersgruppenverteilung in %		
		Fi	Ki	Bu	Ei	< 60 Jahre	60-120 Jahre	> 120 Jahre
Gesamtgebiet (81 Stichprobenpunkte)		0	0	81	19	57	42	1

Tab. 35: Waldzustandsdaten im Untersuchungsgebiet
Metzenbach/Birkwasser

Spessart		Metzenbach/Birkwasser				Schadstufenverteilung						
Fläche	Jahr	Typ	Schadstufe									
			0		1		2		3		4	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamtgebiet	1986	Luftb.Interp.	*	7	*	68	*	24	*	1	*	*
Gesamtgebiet	1990	Luftb.Interp.	*	2	*	62	*	34	*	2	*	*
01	1986	Luftb.Interp.	*	*	33	75	10	23	1	2	*	*
01	1988	Terr.Anspr.	1	2	32	76	9	21	*	*	*	*
01	1990	Luftb.Interp.	1	2	33	75	8	18	2	5	*	*
01	1990	Terr.Anspr.	3	8	22	56	9	23	5	13	*	*
01	1991	Terr.Anspr.	2	5	26	68	10	26	*	*	*	*
01	1992	Terr.Anspr.	*	*	19	51	17	46	1	3	*	*
02	1986	Luftb.Interp.	1	2	54	87	7	11	*	*	*	*
02	1988	Terr.Anspr.	2	4	42	78	10	19	*	*	*	*
02	1990	Luftb.Interp.	5	8	43	69	13	21	1	2	*	*
02	1990	Terr.Anspr.	2	4	39	81	3	6	4	8	*	*
02	1991	Terr.Anspr.	4	8	42	88	2	4	*	*	*	*
02	1992	Terr.Anspr.	*	*	22	47	25	53	*	*	*	*
03	1986	Luftb.Interp.	*	*	37	77	10	21	1	2	*	*
03	1988	Terr.Anspr.	1	2	33	77	9	21	*	*	*	*
03	1990	Luftb.Interp.	3	6	30	63	13	27	2	4	*	*
03	1990	Terr.Anspr.	*	*	28	72	8	21	3	8	*	*
03	1991	Terr.Anspr.	2	5	33	85	4	10	*	*	*	*
03	1992	Terr.Anspr.	1	3	16	41	22	56	*	*	*	*
04	1986	Luftb.Interp.	8	14	46	78	5	8	*	*	*	*
04	1988	Terr.Anspr.	7	13	33	63	12	23	*	*	*	*
04	1990	Luftb.Interp.	5	8	44	75	7	12	2	3	1	2
04	1990	Terr.Anspr.	1	2	39	75	11	21	*	*	1	2
04	1991	Terr.Anspr.	6	12	41	79	4	8	*	*	1	2
04	1992	Terr.Anspr.	2	4	38	73	11	21	*	*	1	2
05	1986	Luftb.Interp.	1	3	30	81	6	16	*	*	*	*
05	1988	Terr.Anspr.	5	14	23	62	9	24	*	*	*	*
05	1990	Luftb.Interp.	3	8	27	73	7	19	*	*	*	*
05	1990	Terr.Anspr.	3	9	26	79	4	12	*	*	*	*
05	1991	Terr.Anspr.	6	19	24	75	2	6	*	*	*	*
05	1992	Terr.Anspr.	*	*	14	44	18	56	*	*	*	*
06	1986	Luftb.Interp.	12	17	48	70	8	12	1	1	*	*
06	1988	Terr.Anspr.	7	10	52	76	9	13	*	*	*	*
06	1990	Luftb.Interp.	5	10	34	68	11	22	*	*	*	*
06	1990	Terr.Anspr.	9	18	36	72	4	8	1	2	*	*
06	1991	Terr.Anspr.	10	21	36	75	2	4	*	*	*	*
06	1992	Terr.Anspr.	3	6	34	72	10	21	*	*	*	*
07	1988	Terr.Anspr.	4	14	19	68	5	18	*	*	*	*
07	1990	Terr.Anspr.	28	100	*	*	*	*	*	*	*	*
07	1991	Terr.Anspr.	28	100	*	*	*	*	*	*	*	*
07	1992	Terr.Anspr.	28	100	*	*	*	*	*	*	*	*

Luftb.Interp.: Luftbildinterpretation

Terr.Anspr.: Terrestrische Schadansprache

4.1.2.2 Deposition

Die Situation im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser im Zeitraum 1988 bis 1992 ist geprägt von den Trockenjahren 1990 und 1991. Tabelle 36 gibt Auskunft über die Jahresniederschläge im Vergleich zu der ca. 3 Kilometer südöstlich gelegenen DWD-Meßstation Bischbrunn, die im langjährigen Mittel von 1931 - 1960 913 mm Niederschlag verzeichnet.

Tab. 36: Jahresniederschläge in mm im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser und an der DWD-Station Bischbrunn

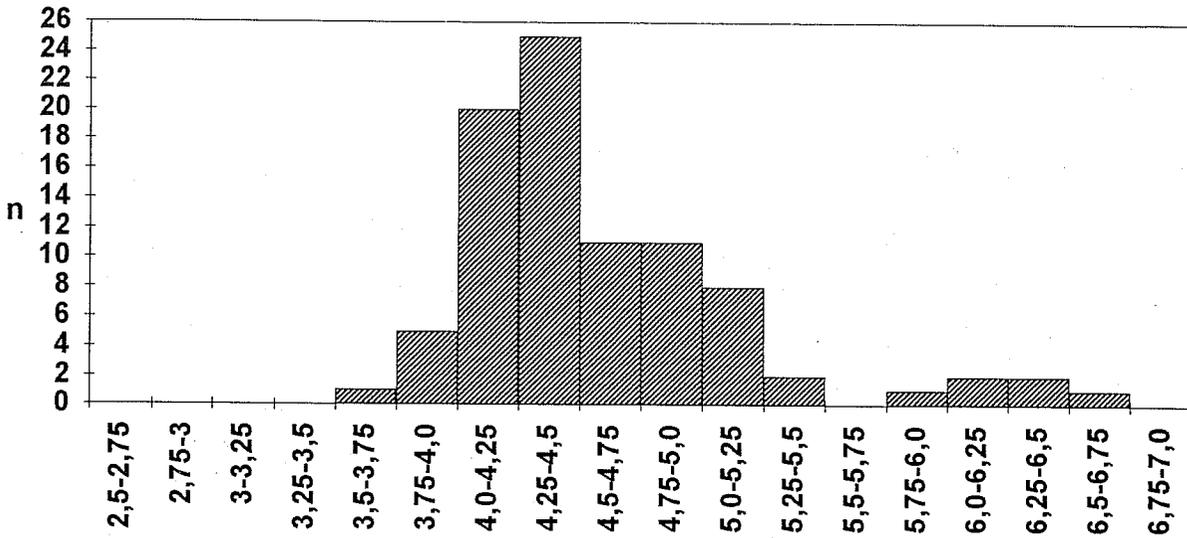
Hydrologisches Jahr	Freifläche 11 410 m ü. NN	Bischbrunn (DWD) 411 m ü. NN	% vom 30-jährigen Mittel
1988	1039	1065	117
1989	938	929	102
1990	829	862	94
1991	761	670	73
1992	1169	1195	131

Die Verteilung der Niederschläge auf Sommer- und Winterhalbjahr hat sich im Vergleich mit den langjährigen Meßreihen im Untersuchungszeitraum zugunsten der Winterniederschläge verändert. Wie trocken der Sommer 1991 war, geht daraus hervor, daß in Bischbrunn nur 215 mm Niederschlag gegenüber 481 mm im langjährigen Mittel fielen.

Die Konzentrationen der Regeninhaltstoffe im Freilandniederschlag sind exemplarisch in Tab. 37 wiedergegeben. Die Spanne der pH-Werte reicht von 3,7 bis 6,5. Der Charakter der Niederschläge ist deutlich sauer. 75% der Werte liegen im Bereich von pH-Wert 4 bis 5 (Abb. 15). Die Abnahme der Sulfatgehalte auf $2,7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ im Jahre 1992 indiziert eine Entspannung der Immissions-situation.

Der Stoffinhalt des Niederschlags verändert sich nach der Passage des Kronenraumes der Bestände, wie Tab. 38 verdeutlicht. So ist die durch trockene Depositionsvorgänge vermehrt eingetragene Säuremenge an den ca. 1,5-fach höheren Sulfatkonzentrationen im Bestandsniederschlag erkennbar.

Häufigkeitsverteilung pH-Wert Freifläche 11



Häufigkeitsverteilung pH-Wert Buche 01

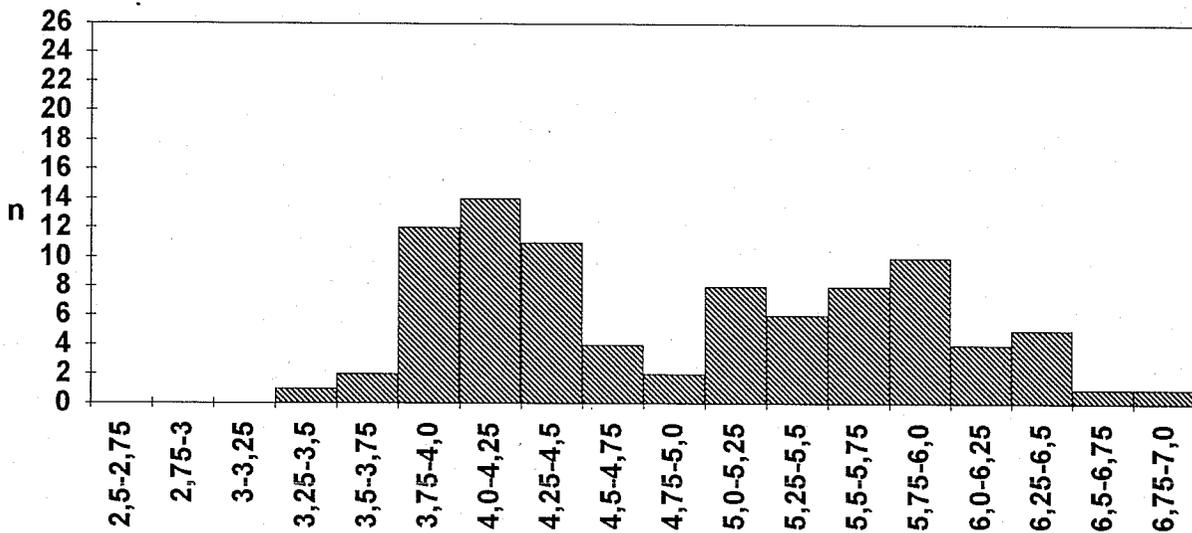


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Niederschlag im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser (1988 - 1992)

Wie die kaum veränderten Jahresmittel der pH-Werte im Niederschlag des Buchenbestands (4,0 bis 4,7) im Vergleich zu den Freilanddaten (4,1 bis 4,5) aufzeigen, spielen Vorgänge im Kronenraum bei der Abpufferung der Säure eine wesentliche Rolle. Dies wird auch an der zweigipfligen Verteilung der im Bestandsniederschlag gemessenen pH-Werte erkennbar (Abb. 15). Niedrige pH-Werte bis weit unter 4 sind in der Regel an geringe Nieder-

Tab. 37: Beschaffenheitsdaten des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Spessart Niederschlag		Metzenbach/Birkwasser		Freiland		TK25: 6022			
Messfläche: 11		Messfläche: 11		Messfläche: 11		Messstelle: 111310			
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992	
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	4,11	3,73	6,31	15	pH VO	4,43	4,01	5,44	15
pH Lab	4,35	4,00	5,60	15	pH Lab	4,33	3,70	5,90	19
LF VO	34	72	12	27,7500	LF VO	28	63	13	18,6587
LF Lab	33	78	11	28,1741	LF Lab	32	84	14	21,5718
S04	3,4	10,0	1,5	2,4928	S04	3,2	13,9	1,3	1,7667
NO3	3,2	7,9	1,4	2,4778	NO3	3,4	18,0	1,5	1,8093
Cl	0,9	2,8	n.n.	0,8528	Cl	0,7	2,8	n.n.	0,8519
HCO3	2,3	4,9	1,2	1,6031	HCO3	3,1	6,1	1,8	2,2979
NO2	0,01	0,06	n.n.	0,0104	NO2	0,01	0,06	n.n.	0,0126
o-P04	0,03	0,66	n.n.	0,0758	o-P04	0,05	0,53	n.n.	0,0957
Ca	0,4	2,8	0,2	0,2373	Ca	0,6	4,2	0,2	0,3498
Mg	n.n.	0,3	n.n.	0,0494	Mg	0,1	0,6	n.n.	0,0934
Na	1,0	2,1	0,3	0,8040	Na	0,7	2,4	0,2	0,5567
K	0,2	2,8	n.n.	0,1519	K	0,3	2,0	n.n.	0,2105
NH4	0,894	4,508	0,289	0,7386	NH4	1,006	6,820	0,374	0,4915
Al	n.n.	0,03	n.n.	0,0090	Al	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
Fe	0,01	0,03	n.n.	0,0095	Fe	0,02	0,04	0,01	0,0222
Mn	n.n.	0,07	n.n.	0,0101	Mn	n.n.	0,09	n.n.	0,0088
Pb	0,008	0,014	0,001	0,0075	Pb	0,006	0,010	0,002	0,0055
Cd	0,0002	0,0004	n.n.	0,0002	Cd	0,0002	0,0006	0,0001	0,0001
Zn	0,02	0,03	n.n.	0,0218	Zn	0,03	0,16	0,02	0,0114
Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Ba	n.n.	0,01	n.n.	0,0008
TOC	2,4	26,0	1,0	2,1017	TOC	2,6	21,0	0,8	3,9802
SPAK254	1,1	3,6	0,2	0,7820	SPAK254	4,3	22,6	1,2	2,4229
					SPAK254	1,5	7,4	0,8	0,7808

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, K88,2 in mmol/l)

Tab. 38: Beschaffenheitsdaten des Bestandsniederschlags im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Spessart Niederschlag	Metzenbach/Birkwasser Mebfläche: 01				Bestand Buche				TK25: 6022																
	Hydrolog. Jahr: 1988				1989				1990				1991				1992								
	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	3,99	3,45	6,95	17	17	4,19	3,65	6,64	15	15	4,50	3,80	6,34	19	19	4,47	3,71	6,46	17	17	4,69	4,09	6,48	16	16
pH Lab	4,27	3,83	6,15	18	18	4,40	3,90	6,12	17	17	4,61	3,91	5,90	20	20	4,49	3,80	6,25	21	21	4,66	3,77	6,29	22	22
LF VO	48	163	17	33,4602	19	55	111	29	33,7228	16	48	183	17	36,5422	18	44	135	22	24,1420	18	31	121	19	20,1288	17
LF Lab	46	159	16	32,5698	17	52	108	26	32,4037	17	45	173	15	29,3836	19	46	122	24	24,4308	23	35	122	19	20,7501	25
S04	5,2	34,1	2,0	2,7618	18	6,0	14,4	3,5	2,9206	17	5,6	24,2	1,5	3,8336	20	5,1	13,2	2,9	2,6981	23	4,3	19,7	2,3	2,6859	26
NO3	4,4	13,7	1,7	3,0883	19	5,3	13,3	2,4	2,8987	17	4,2	17,1	n.n.	3,8386	20	4,6	18,9	n.n.	2,7769	23	3,6	13,4	n.n.	2,2230	24
Cl	1,7	6,2	0,6	1,3013	18	1,9	6,9	0,6	1,2369	17	1,9	9,8	0,7	1,4513	20	1,5	6,8	n.n.	1,5009	23	1,1	6,7	n.n.	1,0550	26
HCO3	4,2	20,1	0,6	3,0358	12	4,6	10,4	0,6	4,5707	11	5,4	17,7	1,8	4,7171	9	8,0	22,6	1,8	6,9982	11	8,0	61,0	1,8	2,6586	15
NO2	0,02	0,58	n.n.	0,0213	19	0,04	0,18	n.n.	0,0615	17	0,05	2,66	n.n.	0,1218	19	0,03	0,20	n.n.	0,0439	23	0,03	0,43	n.n.	0,0315	23
o-P04	0,12	1,83	n.n.	0,1630	18	0,29	2,44	n.n.	0,4250	17	0,25	1,78	n.n.	0,6381	19	0,41	2,02	n.n.	0,9212	23	0,17	2,61	n.n.	0,2334	23
Ca	0,8	4,6	0,3	0,4107	19	1,2	3,4	0,4	0,6786	17	1,2	5,3	0,3	0,6655	20	1,2	4,4	0,4	0,5304	23	0,8	3,7	0,3	0,4523	25
Mg	0,2	0,9	n.n.	0,0838	19	0,3	0,6	0,1	0,1700	17	0,2	0,9	0,1	0,1398	20	0,2	0,8	0,1	0,1202	23	0,2	1,5	n.n.	0,1391	26
Na	1,4	3,3	0,3	1,2142	19	1,1	4,2	0,3	0,8740	17	1,2	3,8	0,6	0,8176	20	1,0	3,5	0,4	1,0742	23	0,8	2,5	0,2	0,9053	25
K	2,2	25,0	n.n.	2,1180	19	2,9	10,5	0,6	2,2277	17	3,2	8,9	0,5	4,4092	20	3,8	9,2	0,7	4,8842	23	2,5	19,0	0,5	1,9468	23
NH4	1,030	5,839	0,170	0,8308	19	1,448	4,347	0,258	1,4875	17	1,244	7,213	0,158	0,9839	19	1,083	6,994	0,009	0,7050	23	0,784	2,576	0,015	0,7732	24
Al	0,01	0,02	0,01	0,0028	3	0,02	0,02	0,02	0,0136	2	n.n.	0,01	n.n.	0,0088	2	0,04	0,06	n.n.	0,0496	2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1
Fe	0,01	0,02	n.n.	0,0080	3	n.n.	0,02	n.n.	0,0003	2	0,02	0,03	0,01	0,0047	2	0,10	0,19	0,03	0,0868	2	0,01	0,01	0,01	0,0000	1
Mn	0,15	1,13	0,02	0,1064	19	0,23	0,65	0,07	0,1284	17	0,20	0,95	0,02	0,1510	20	0,19	0,70	0,01	0,1541	23	0,13	0,53	0,05	0,1064	20
Pb	0,006	0,009	n.n.	0,0053	3	0,002	0,005	0,001	0,0012	2	0,001	0,002	0,001	0,0002	2	0,005	0,009	0,002	0,0036	2	0,003	0,003	0,003	0,0000	1
Cd	0,0002	0,0003	n.n.	0,0002	3	0,0002	0,0003	0,0001	0,0000	2	0,0002	0,0003	0,0001	0,0001	2	0,0002	0,0004	0,0001	0,0002	2	0,0001	0,001	0,001	0,0000	1
Zn	0,02	0,06	n.n.	0,0212	3	0,03	0,04	0,02	0,0063	2	0,02	0,04	0,01	0,0128	2	0,05	0,09	0,02	0,0363	2	0,01	0,01	0,01	0,0000	1
Ba	n.n.	0,01	n.n.	0,0040	3	0,01	0,02	n.n.	0,0210	2	0,01	0,01	0,01	0,0034	2	0,01	0,01	0,01	0,0024	2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1
TOC	5,8	24,0	1,2	4,1005	16	6,1	10,0	3,8	3,9105	16	6,9	44,5	1,6	9,8985	20	7,0	37,0	1,6	6,0230	23	4,7	28,0	1,7	3,8347	23
SPAK254	6,1	50,7	0,8	4,5565	19	8,5	20,6	2,7	7,1472	17	8,9	30,0	2,3	8,1152	20	25,7	146,0	2,8	27,7372	23	8,0	38,0	3,0	6,0407	22

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, K88,2 in mmol/l)

schlagsmengen gekoppelt. Gegenüber dem Freiland werden erhöhte Konzentrationen bei den überwiegend aus der Blattauswaschung stammenden Stoffen Kalium und Mangan mit Jahresmittelkonzentrationen von 2 - 4 mg·l⁻¹ bzw. 0,13 - 0,23 mg·l⁻¹ registriert.

Tab. 39: Freilanddeposition in kg·ha⁻¹ im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Jahr	h_N (mm)	H^+vO	Cl	S04-S	NO3-N	PO4-P	Ca	Mg	Na ⁻	K	NH4-N	Mn
1988	1035	0,75	8,7	12,0	7,7	0,15	5,2	1,0	11,6	3,3	8,7	0,1
1989	912	0,56	9,8	12,6	8,0	0,30	5,8	1,1	7,7	5,1	10,4	0,1
1990	839	0,33	7,5	11,4	5,5	0,34	5,9	0,9	6,0	4,2	8,6	0,1
1991	761	0,28	5,3	8,3	5,9	0,10	4,3	0,8	5,1	1,9	5,7	0,1
1992	1169	0,39	6,6	8,3	7,0	0,22	5,2	1,1	7,1	4,0	7,7	0,2

Die Stoffeinträge mit dem Freilandniederschlag (Tab. 39) sind im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser an die Höhe der Jahresniederschläge gekoppelt. Im Trockenjahr 1991 werden die Minima der Stoffeinträge beobachtet. Im Vergleich der beiden Jahre 1992 und 1988, in denen Niederschläge über dem langjährigem Mittel zu verzeichnen waren, wird ein Rückgang der Depositionen von Säuren und Säurebildnern erkennbar. Der 1992 im Freiland deponierte Schwefel geht trotz 134 mm höherer Niederschläge um ca. 30% gegenüber 1988 zurück. Um ca. 50% verringert sich die Deposition an freier Säure. Die Einträge von Stickstoff als Summe von Nitrat-Stickstoff und Ammonium-Stickstoff erreichen 12 bis 18 kg·ha⁻¹.

Grundlage der berechneten Gebietsdepositionen unter Wald (Tab. 40) sind ausschließlich Daten aus Laubwaldbeständen, da der Fichtenanteil minimal ist. Im Vergleich zur Freilanddeposition an freier Säure (H^+vO) wird die Protonenpufferung im Kronenraum der Laubbestände deutlich, denn die Säureeinträge mit dem Bestandsniederschlag liegen in vier der fünf Jahre unter dem Freilandwert. Nadelholzbestände weisen ganzjährig eine größere wirksame Oberfläche auf. So wurde im Fichtenbestand 06 für 1988 bis 1991 im Mittel ein Protoneneintrag von 1,2 kg·ha⁻¹·a⁻¹ gegenüber 0,55 kg·ha⁻¹·a⁻¹ im Freiland gemessen.

Tab. 40: Gebietsdeposition mit dem Bestandsniederschlag (ohne Stammabfluß) in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Jahr	$h_N(\text{mm})$	H^+vO	Cl	S04-S	NO3-N	PO4-P	Ca	Mg	Na	K	NH4-N	Mn
1988	837	0,85	10,8	13,7	7,7	0,56	8,0	1,6	9,9	15,8	8,0	1,6
1989	648	0,39	9,3	13,1	7,1	0,62	8,4	1,9	6,4	15,9	8,5	1,9
1990	642	0,23	9,8	11,7	4,9	0,53	7,6	1,6	6,1	16,9	6,0	1,5
1991	601	0,20	7,7	12,2	5,8	0,50	7,1	1,6	6,2	18,1	4,2	1,5
1992	891	0,18	7,9	12,2	6,2	0,42	7,3	1,7	6,7	17,7	4,3	1,5

Die Stickstoffeinträge mit dem Bestandsniederschlag sind zum Teil deutlich geringer als im Freiland, was auf eine Aufnahme von Stickstoff im Kronenbereich der Laubbestände zurückzuführen ist.

Nicht zu vernachlässigen ist der Anteil des Bestandsniederschlags, der in Buchenbeständen mit dem Stammabfluß deponiert wird. Repräsentative Meßergebnisse von Bestand 01 (116-jährige Buche) sind in Tabelle 41 dargestellt. Sie wurden von April bis Oktober 1992 ermittelt und auf ein Jahr hochgerechnet. Der Anteil des Stammabflusses am Bestandsniederschlag (Summe von Kronentraufe und Stammabfluß) beträgt 4,4%, am Freilandniederschlag ca. 2%.

Tab. 41: Deposition mit dem Stammabfluß (StA) im Bestand 01 (Buche, 116-jährig) in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ und Anteil an der Bestandsdeposition in % (1992)

	$h_N(\text{mm})$	H^+vO	Cl	S04-S	NO3-N	PO4-P	Ca	Mg	Na	K	NH4-N	Mn
StA	38	0,002	0,07	0,57	0,10	0,02	0,18	0,05	0,13	1,45	0,17	0,02
%	4,4	1,3	0,7	4,5	1,5	4,5	2,6	2,8	1,9	6,6	3,3	2,0

Die Stoffeinträge mit dem Stammabfluß erreichen 1992 maximal 6,6% der Deposition mit dem Bestandsniederschlag. Die geringen Säureeinträge korrespondieren mit den Ergebnissen der Bodenuntersuchungen, die nur unwesentlich schlechtere Austauschverhältnisse im Stammbereich gegenüber den stammfernen Böden ergab (s. Tab. 48c).

Die Einträge von Spurenmetallen im Freiland sind für den Untersuchungszeitraum von 4 Jahren in Tab. 42 dargestellt.

Tab. 42: Deposition von Spurenmetallen im Freiland in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Jahr	Fe	Al	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
1989	447	312	380	98	4	6	11
1990	435	335	171	56	2	4	8
1991	456	306	207	74	1	4	12
1992	309	1779	631	55	2	5	7

Die untersuchten Metalle teilen sich in zwei Gruppen auf, die in unterschiedlichen Größenordnungen deponiert werden. Für Eisen, Aluminium, Zink und Blei werden Einträge von 50 bis mehreren 100 $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ verzeichnet. Wesentlich niedriger sind die Einträge von Cadmium, Chrom und Nickel, die sich in der Größenordnung von einigen $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ bewegen. Blei zeigt keine eindeutig rückläufige Tendenz, wie es die Verringerung von bleihaltigem Kraftstoff im Straßenverkehr erwarten ließe. Die hohen Depositionen von Aluminium und Zink im Jahr 1992 sind an drei Einzelereignisse mit hohem Stoffeintrag gekoppelt. Abgesehen von diesen beiden Elementen läßt sich im Vergleich der Jahre 1989 und 1992 eine leichte Verringerung der Deposition von Spurenmetallen feststellen.

4.1.2.3 Boden und tiefere Sickerzone

4.1.2.3.1 Standortbeschreibung

Auf dem geologischen Ausgangsmaterial des Mittleren Buntsandstein dominieren drei Standortseinheiten. Auf 80% der Gebietsfläche finden sich tiefgründige Sandböden (Braunerden), in denen das Wasser rasch versickert. Zweischichtböden mit stauendem Untergrund (Pseudogley-Braunerden bis Braunerden) und folglich gehemmter vertikaler Versickerung und Interflow in Hangposition sind zu rund 10% vertreten. Standorte mit Wasserzufluß oder Wasserstau aufgrund der Geländesituation prägen ca. 10% der Gebietsfläche und sind in den Bestandsmeßflächen nicht erfaßt.

4.1.2.3.2 Sickerwasser

Auf 6 von insgesamt 8 Untersuchungsflächen im Gebiet Metzenbach/Birkwasser fanden Sickerwasseruntersuchungen statt, davon auf drei Flächen seit 1987, auf der Hochlagenfläche 08 erst seit 1992. Es wurden Meßtiefen zwischen 0,5 und 4,5 m erfaßt. Als gebietstypisch werden die Sickerwasserdaten des Buchen-Altbestands 01 und des Eichen-Jungbestands 07 vorgestellt (Tab. 43 - 47).

Die Sickerwässer im Mittleren Buntsandstein sind mit $0,9 - 1,3 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ gering mineralisiert. Sulfat trägt mit 60 - 80% zur Anionensumme bei, während die Kationensumme je nach Säurestatus von Aluminium oder Calcium/Magnesium dominiert wird.

Der Meßplatz 01 befindet sich am Unterhang, oberhalb einer stärker durchfeuchteten Einmündung. Entfestigte, bis ca. 2 m Tiefe schluffreiche, darunter sandige Schichten der Volpriehausen-Wechselfolge bilden den geologischen Untergrund. Die harte Kluftzone beginnt ca. 10 m unter Gelände.

Das Sickerwasser ist bis in 2 m Tiefe versauert mit pH-Werten um 4,5, mittleren Aluminiumkonzentrationen von 2 - 3 mg·l⁻¹ und Mangankonzentrationen von 0,4 - 0,6 mg·l⁻¹ (Tab. 43 und 44). Das entspricht der extremen Basenarmut (ca. 5% der Kationenaustauschkapazität, Abb. 16) und der starken Acidität des Bodenmaterials (pH(KCl) 4,0 - 4,2). Als Hauptanion tritt Sulfat mit Konzentrationen von 9 - 17 mg·l⁻¹ auf. Die Nitratkonzentrationen sind mit mittleren Gehalten bis 7 mg·l⁻¹ niedrig.

Bis 4,5 m Tiefe steigen die pH-Werte auf etwa 5,8 an. Entsprechend steigen die Konzentrationen von Calcium, Magnesium und Kalium, während Aluminium weitgehend immobilisiert wird. Sulfat bleibt das dominierende Anion. Erhöhte Chlorid- und Nitratkonzentrationen lassen in dieser Tiefe die laterale Zumischung von Hangwasser und die Nähe zum ähnlich beschaffenen Grundwasser erkennen. Im Tiefenprofil der relevanten Sickerwasser-Parameter

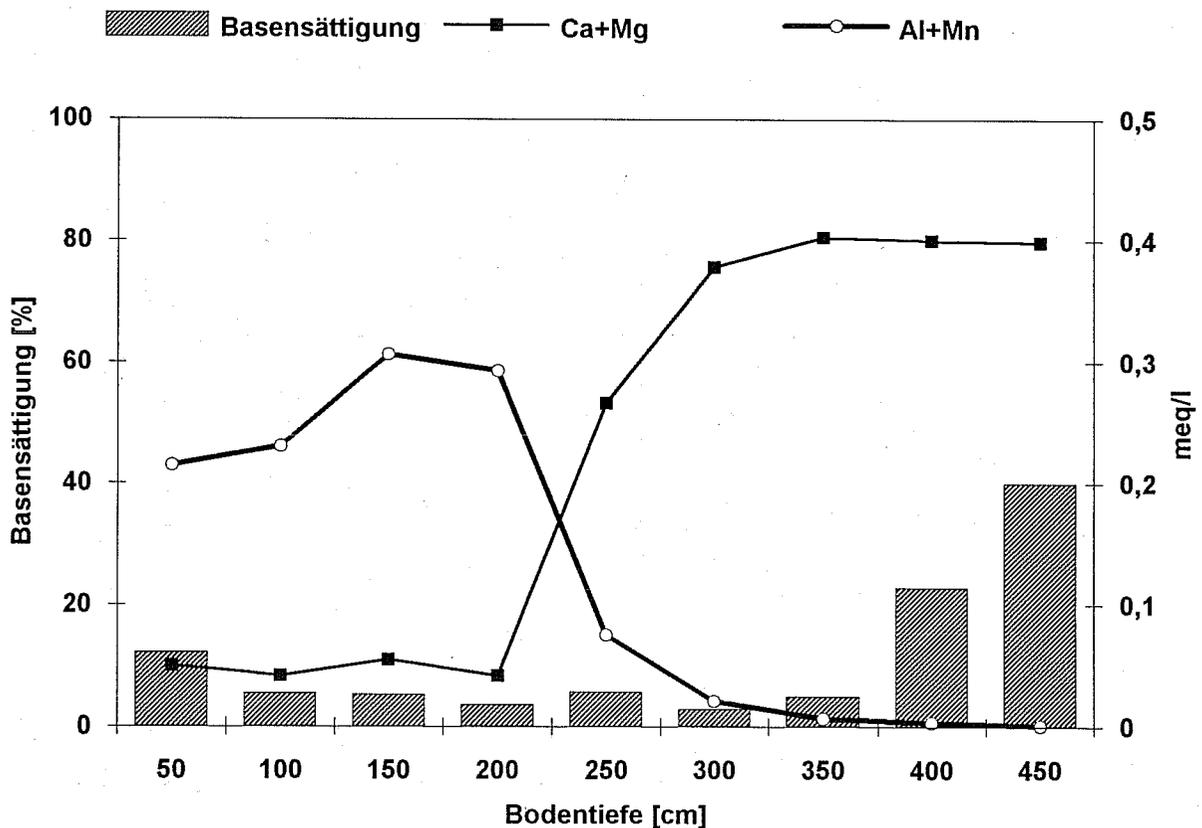


Abb. 16: Tiefenprofile der Summenkonzentrationen von Aluminium und Mangan bzw. Calcium und Magnesium im Vergleich zum %-Anteil an austauschbaren Basenkationen, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfl. 01

wird der Charakter der Versauerungsfront und ihr Bezug zur Austauschbelegung deutlich (Abb. 16). Dabei ist zu beachten, daß bei einem räumlichen Abstand zwischen Saugkerzenfeld und Tiefenbohrung von ca. 50 m die Tiefenlage der Versauerungsfront sehr unterschiedlich ist. Auffällig ist die hohe Mobilität von Magnesium im Übergangsbereich.

Die Konzentrationsganglinien der 0,5 m - Tiefe (Abb. 17) zeigen eine deutliche Nitratdynamik, die mit der mikrobiellen Aktivität im Boden und der Aufnahme von Stickstoff durch die Vegetation zusammenhängt. pH-Wert, Sulfat und Aluminium lassen in dieser Tiefe keine deutliche Reaktion auf den registrierten Rückgang der Säuredeposition erkennen. Im Übergangsbereich zur tiefer liegenden Silikatpufferzone (2,5 - 3,5 m) weist das Sickerwasser im Untersuchungszeitraum eine Zunahme der Aluminiumanteile an der Kationensumme auf. Diese Veränderung indiziert möglicherweise eine Tiefenverlagerung der Versauerungsfront. Dagegen herrschen in 4,5 m Tiefe (Tab. 45) weitgehend die konstanten hydrochemischen Bedingungen des nicht versauerten Untergrundes.

Die Meßfläche 07 befindet sich in Unterhanglage am oberen Tal-schluß des Birkwassertales. Es stehen schluffige Sande und Sande der entfestigten Volpriehausen Wechselfolge an. Der klüftige Sandstein beginnt ca. 10 m unter Gelände.

Im stark sauren Bereich bis mindestens 2,0 m Tiefe entsprechen mittlere pH-Werte von 4,3 - 4,6, Sulfatkonzentrationen von 12 - 17 mg·l⁻¹ und Aluminiumkonzentrationen von 1,4 - 2,3 mg·l⁻¹ den Verhältnissen auf Meßfläche 01. Jedoch werden in 3,9 m Tiefe (nicht dargestellt) mittlere Aluminiumkonzentrationen bis 0,8 mg·l⁻¹ registriert, wobei erhöhte Konzentrationen von Calcium, Magnesium, Kalium und zunehmende pH-Werte den Übergangsbereich zum weniger versauerten Untergrund anzeigen. pH-Werte unter 5,0 und schwache Versauerungsschübe im lokalen Grundwasser (Kap. 4.1.2.4) können auf die fortgeschrittene Versauerung des Sicker-raums zurückgeführt werden.

Tab. 44: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungs-Metztenbach/Birkwasser, Messfl. 01, 200 cm Tiefe

Spessart Sickerwasser		Metzenbach/Birkwasser		Tiefe: 200cm		TK25: 6022			
Messfläche: 01		Messfläche: 01		1011200		1011200			
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992	
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH v0	4,27	3,99	4,60	5	pH v0	4,39	3,98	4,60	16
pH Lab	4,41	4,10	4,50	15	pH Lab	4,46	4,33	4,55	21
LF v0	63	68	61	2,7726	LF v0	69	93	57	11,7207
LF Lab	62	71	53	5,7388	LF Lab	62	77	54	4,8048
S04	16,5	18,8	15,4	1,0357	S04	16,7	17,8	15,6	0,6167
N03	3,9	7,2	2,4	1,0831	N03	0,5	1,0	n.n.	0,3383
Cl	1,7	2,1	1,3	0,2029	Cl	2,2	2,8	1,4	0,2948
HCO3	1,8	2,4	0,6	0,5912	HCO3	2,4	4,3	1,2	0,7974
NO2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
o-PO4	n.n.	0,03	n.n.	0,0083	o-PO4	n.n.	0,01	n.n.	0,0033
Ca	0,7	0,9	0,5	0,1248	Ca	0,6	0,8	0,4	0,0897
Mg	0,3	0,3	0,2	0,0405	Mg	0,2	0,3	0,1	0,0594
Na	1,3	2,6	0,6	0,5449	Na	1,0	1,7	0,5	0,2753
K	0,9	1,2	0,5	0,1708	K	0,7	1,0	0,5	0,1235
NH4	0,068	0,335	n.n.	0,1018	NH4	0,025	0,180	n.n.	0,0396
Al	2,87	3,30	2,60	0,1981	Al	2,67	4,00	1,80	0,3931
Fe	0,01	0,03	n.n.	0,0068	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0050
Mn	0,48	0,59	0,40	0,0419	Mn	0,44	0,48	0,35	0,0351
Pb	0,003	0,012	n.n.	0,0037	Pb	0,002	0,004	0,001	0,0012
Cd	0,0043	0,0220	0,0002	0,0064	Cd	0,0009	0,0013	0,0004	0,0003
Cr	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Cr	*****	*****	*****	*****
Zn	0,02	0,03	0,01	0,0068	Zn	n.n.	0,08	n.n.	0,0172
Ba	0,05	0,08	0,02	0,0140	Ba	0,06	0,09	0,02	0,0190
TOC	2,9	5,0	0,7	1,5305	TOC	1,4	2,4	0,6	0,3423
SPAK254	2,2	8,6	0,2	1,8293	SPAK254	1,6	2,4	1,2	0,2925
					TOC	1,7	3,6	1,3	0,5609
					SPAK254	4,2	6,8	1,8	1,3394
					TOC	1,8	4,3	0,8	0,7105
					SPAK254	1,5	2,0	n.n.	0,5612

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, K88,2 in mmol/l)

Tab. 45: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsg. Metzenbach/Birkwasser, Meßfl. 01, 450 cm Tiefe

Spessart Sickerwasser		Metzenbach/Birkwasser		Tiefe: 450cm		TK25: 6022									
Meßfläche: 01		Meßfläche: 01		Meßfläche: 01		Meßfläche: 1011450									
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992							
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	
pH v0	*****	*****	6,46	3	pH v0	5,82	5,67	5,97	5	pH v0	5,84	5,84	5,84	1	
pH Lab	*****	*****	5,97	2	pH Lab	4,95	4,47	6,04	6	pH Lab	5,81	5,81	5,81	1	
LF v0	***	***	10,0333	3	LF v0	76	78	73	1,9391	5	LF v0	79	79	0,0000	1
LF Lab	***	***	1,8856	3	LF Lab	77	79	75	1,4142	4	LF Lab	71	72	1,0000	2
SO4	*****	*****	3,5756	4	SO4	19,9	23,1	14,4	1,6204	19	SO4	19,8	21,0	18,7	8
NO3	*****	*****	0,8498	3	NO3	3,3	4,0	2,4	0,4042	19	NO3	3,2	4,3	0,9	8
Cl	*****	*****	1,4839	4	Cl	4,3	6,2	3,6	0,6641	19	Cl	3,5	4,1	3,0	8
HCO3	*****	*****	*****	0	HCO3	3,7	5,5	1,8	1,8600	2	HCO3	4,3	4,3	0,0000	2
NO2	*****	*****	0,0038	4	NO2	n.n.	0,03	n.n.	0,0067	17	NO2	n.n.	n.n.	0,0000	8
o-P04	*****	*****	0,0757	4	o-P04	n.n.	0,03	n.n.	0,0074	17	o-P04	n.n.	0,02	n.n.	8
Ca	*****	*****	0,1513	4	Ca	5,1	6,1	4,4	0,5435	18	Ca	4,9	5,1	4,5	8
Mg	*****	*****	0,2182	4	Mg	2,8	3,2	2,3	0,2738	19	Mg	2,5	2,8	2,3	8
Na	*****	*****	0,3112	4	Na	1,8	2,4	1,1	0,3965	19	Na	1,7	1,8	1,6	8
K	*****	*****	0,6833	4	K	3,4	5,2	3,1	0,4946	19	K	3,0	3,3	2,7	8
NH4	*****	*****	0,0658	4	NH4	0,060	0,438	n.n.	0,1132	17	NH4	0,007	0,021	n.n.	8
Al	*****	*****	0,0083	4	Al	n.n.	0,03	n.n.	0,0074	19	Al	n.n.	n.n.	0,0000	8
Fe	*****	*****	0,0071	4	Fe	n.n.	0,03	n.n.	0,0082	19	Fe	n.n.	0,01	n.n.	8
Mn	*****	*****	0,0346	4	Mn	0,03	0,06	0,01	0,0162	19	Mn	0,01	0,02	0,01	8
Pb	*****	*****	0,0036	3	Pb	n.n.	0,002	n.n.	0,0007	6	Pb	n.n.	0,001	n.n.	6
Cd	*****	*****	0,0004	3	Cd	0,0001	0,0002	n.n.	0,0001	7	Cd	0,0001	0,0001	0,0000	6
Cr	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	0
Zn	*****	*****	0,0650	4	Zn	0,08	0,16	n.n.	0,0158	19	Zn	n.n.	0,01	n.n.	13
Ba	*****	*****	0,0087	4	Ba	0,08	0,09	0,07	0,0093	19	Ba	0,07	0,07	0,06	8
TOC	*****	*****	*****	0	TOC	1,5	1,6	1,4	0,1000	2	TOC	1,8	2,2	1,3	2
SPAK254	*****	*****	0,2494	3	SPAK254	1,7	2,0	1,4	3,3901	18	SPAK254	1,8	3,8	1,0	8

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KBB,2 in mmol/l)

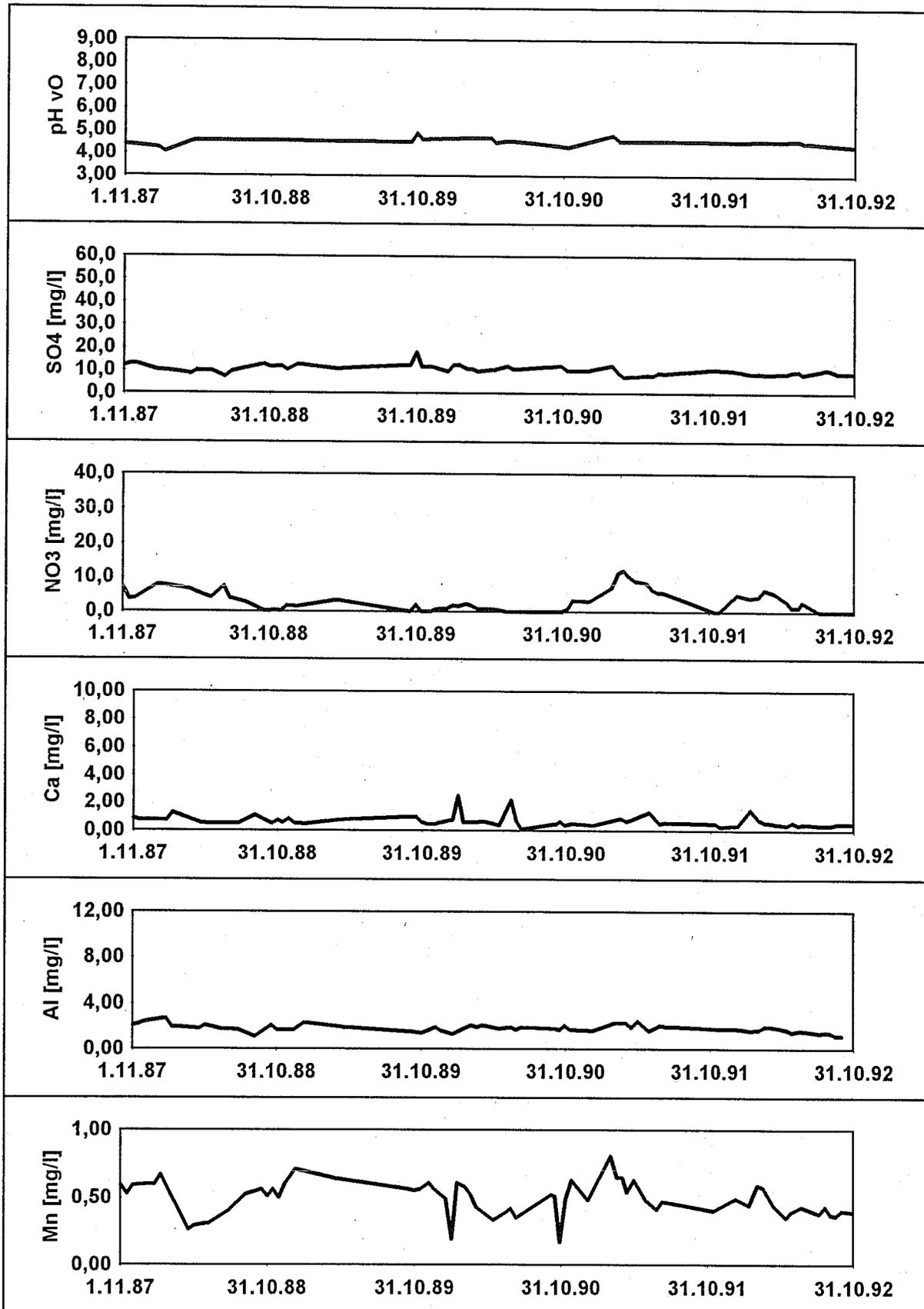


Abb. 17: Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe

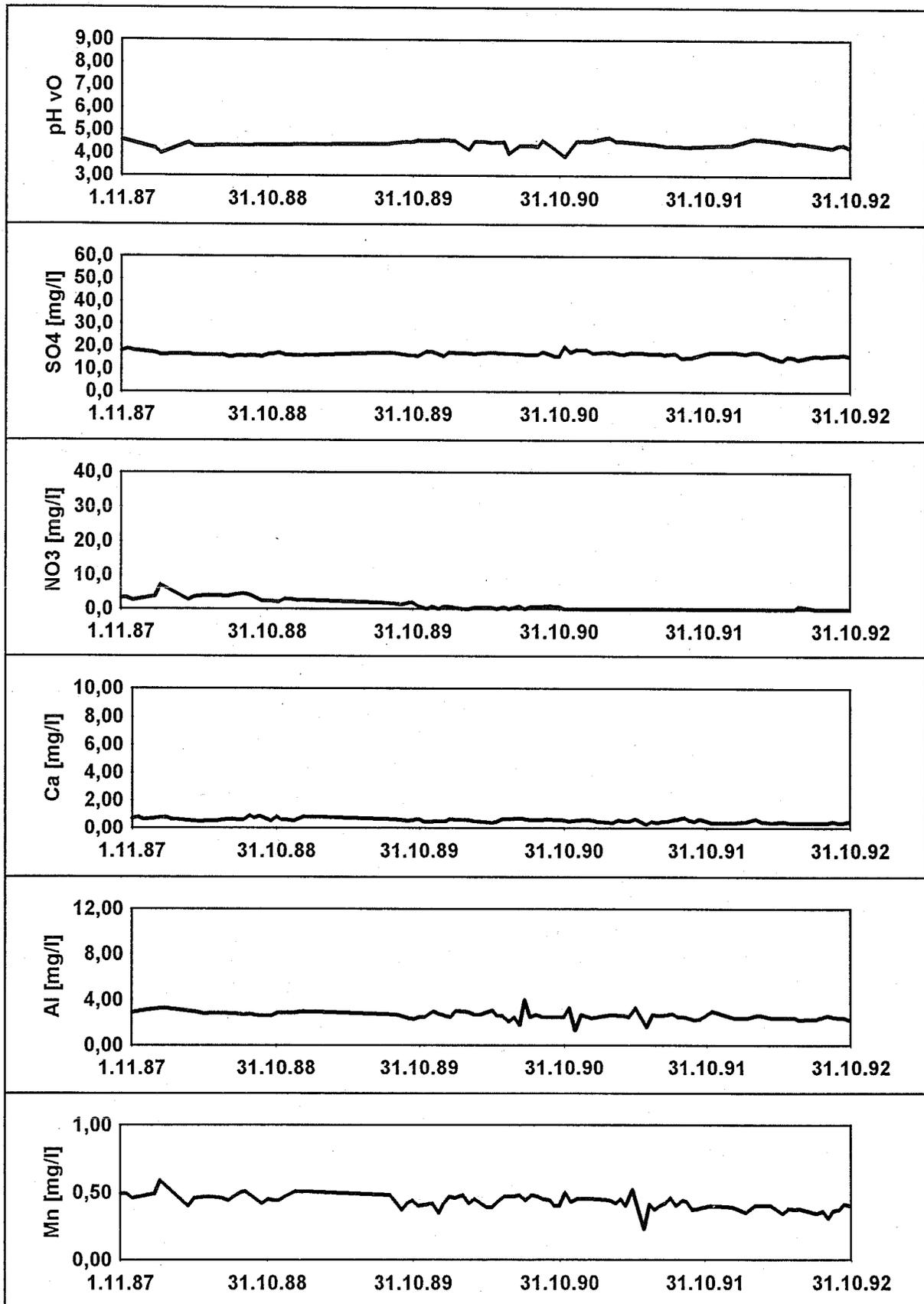


Abb. 18: Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01, 200 cm Tiefe

Tab. 46: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsg. Metzenbach/Birkwasser, Meßfl. 07, 50 cm Tiefe

Spessart Sickerwasser		Metzenbach/Birkwasser		Tiefe: 050cm		TK25: 6022		Meßstelle: 1071050						
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	4,23	3,90	4,50	5	pH VO	4,58	4,45	4,82	5	pH VO	4,58	4,58	4,58	1
pH Lab	4,47	4,30	4,77	11	pH Lab	4,61	4,46	4,84	7	pH Lab	4,51	4,44	4,54	9
LF VO	50	51	49	0,7071	4	LF VO	63	83	43	12,7342	5	LF VO	44	46
LF Lab	46	50	37	4,2172	11	LF Lab	52	57	50	3,0311	4	LF Lab	44	45
S04	12,5	13,8	10,8	0,9188	11	S04	12,5	14,6	9,4	1,5281	9	S04	11,6	12,7
NO3	1,2	2,4	0,5	0,5205	11	NO3	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	9	NO3	n.n.	n.n.
Cl	1,6	2,2	0,9	0,3772	11	Cl	1,7	2,1	1,4	0,2494	6	Cl	1,7	2,8
HCO3	2,0	2,4	1,8	0,2923	6	HCO3	2,3	2,4	1,8	0,2480	5	Cl	1,7	2,8
NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0036	10	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	6	NO2	2,0	2,4
o-P04	0,01	0,04	n.n.	0,0144	10	o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	6	o-P04	n.n.	n.n.
Ca	0,7	1,3	0,5	0,2185	11	Ca	0,7	1,0	0,6	0,1489	6	Ca	0,5	0,7
Mg	0,3	0,3	0,2	0,0310	11	Mg	0,3	0,4	0,3	0,0313	6	Mg	0,2	0,3
Na	1,4	2,8	0,6	0,5869	11	Na	1,0	2,1	0,8	0,4784	6	Na	1,1	1,3
K	0,5	1,2	0,2	0,2638	11	K	0,3	0,4	0,1	0,1213	6	K	0,6	1,1
NH4	0,159	0,567	0,019	0,02033	9	NH4	0,035	0,090	0,015	0,0267	6	NH4	0,068	0,269
Al	1,82	2,10	1,50	0,1999	11	Al	1,91	2,27	1,65	0,2200	6	Al	1,63	2,00
Fe	n.n.	0,02	n.n.	0,0064	11	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	6	Fe	n.n.	0,01
Mn	0,32	0,48	0,27	0,0594	11	Mn	0,43	0,47	0,38	0,0358	6	Mn	0,34	0,47
Pb	0,004	0,010	n.n.	0,0034	8	Pb	0,003	0,008	0,001	0,0025	6	Pb	n.n.	0,001
Cd	0,0009	0,0013	0,0005	0,0003	11	Cd	0,0010	0,0014	0,0008	0,0002	6	Cd	0,0006	0,0007
Cr	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	9	Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	6	Cr	*****	*****
Zn	0,02	0,05	n.n.	0,0134	12	Zn	0,02	0,03	0,02	0,0037	6	Zn	n.n.	0,02
Ba	0,09	0,13	0,05	0,0187	11	Ba	0,08	0,12	0,06	0,0191	6	Ba	0,08	0,10
TOC	13,0	13,0	13,0	0,0000	1	TOC	3,6	4,2	2,9	0,5590	4	TOC	2,6	3,2
SPAK254	3,8	11,2	2,0	2,6605	10	SPAK254	2,7	3,4	2,2	0,3590	6	SPAK254	4,1	6,2

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KBB,2 in mmol/l)

Tab. 47: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungg. Metzenbach/Birkwasser, Meßfl. 07, 200 cm Tiefe

Spessart Sickerwasser		Metzenbach/Birkwasser		Tiefe: 200cm		TK25: 6022																			
Meßfläche: 07		Meßfläche: 07				Meßstelle: 1071200																			
Hydro. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992																	
pH VO	*****	*****	*****	4,32	3,90	4,69	n	5	STD	n	3	pH VO	4,46	MAX	4,40	MIN	4,53	STD	n	3					
pH Lab	*****	*****	*****	4,73	4,62	5,02	0	3		4,44	4,51	3	Lab	4,44	4,38	4,52	3		4,44	4,38	4,52	3			
LF VO	***	***	***	74	124	53	0	5	25,4951	57	52	5	55	57	54	54	54	1,2472	3	55	57	54	1,2472	3	
LF Lab	***	***	***	57	57	57	0	2	0,0000	57	52	3	55	57	54	54	54	0,7071	4	55	57	54	0,7071	4	
S04	*****	*****	*****	15,1	15,9	13,7	0	6	0,7118	6	11,8	14	S04	16,6	26,1	15,0	15,0	3,0407	11	16,6	26,1	15,0	3,0407	11	
NO3	*****	*****	*****	n.n.	n.n.	n.n.	0	6	0,0000	6	n.n.	14	NO3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	11	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	11
Cl	*****	*****	*****	2,8	4,5	2,3	0	6	0,7890	6	3,0	14	Cl	2,1	3,2	1,7	1,7	0,4386	11	2,1	3,2	1,7	1,7	0,4386	11
HCO3	*****	*****	*****	n.n.	n.n.	n.n.	0	6	0,0000	6	*****	14	HCO3	1,5	1,8	1,2	1,2	0,3100	2	1,5	1,8	1,2	1,2	0,3100	2
NO2	*****	*****	*****	2,4	2,4	2,4	0	7	0,0000	7	n.n.	14	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	10
o-P04	*****	*****	*****	0,01	0,04	n.n.	0	7	0,0145	7	0,05	14	o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	10
Ca	*****	*****	*****	1,0	1,6	0,5	0	6	0,3740	6	0,8	14	Ca	0,8	1,5	0,6	0,6	0,2353	11	0,8	1,5	0,6	0,6	0,2353	11
Mg	*****	*****	*****	0,4	0,5	0,3	0	6	0,0795	6	0,4	14	Mg	0,4	1,0	0,2	0,2	0,1958	11	0,4	1,0	0,2	0,2	0,1958	11
Na	*****	*****	*****	1,0	1,2	0,6	0	6	0,2427	6	1,1	14	Na	1,4	2,1	1,2	1,2	0,2536	11	1,4	2,1	1,2	1,2	0,2536	11
K	*****	*****	*****	1,4	2,0	1,0	0	6	0,3436	6	0,8	14	K	1,2	1,6	0,9	0,9	0,2536	11	1,2	1,6	0,9	0,9	0,2536	11
NH4	*****	*****	*****	0,849	3,168	n.n.	0	7	1,0220	7	0,275	14	NH4	0,199	0,979	0,006	0,006	0,2577	11	0,199	0,979	0,006	0,006	0,2577	11
Al	*****	*****	*****	1,56	2,40	0,98	0	6	0,5027	6	1,87	14	Al	2,28	4,30	1,90	1,90	0,6520	11	2,28	4,30	1,90	1,90	0,6520	11
Fe	*****	*****	*****	n.n.	0,01	n.n.	0	6	0,0037	6	n.n.	14	Fe	0,03	0,15	n.n.	n.n.	0,0424	11	0,03	0,15	n.n.	n.n.	0,0424	11
Mn	*****	*****	*****	0,52	0,74	0,39	0	6	0,1554	6	0,29	14	Mn	0,29	0,42	0,18	0,18	0,0572	11	0,29	0,42	0,18	0,18	0,0572	11
Pb	*****	*****	*****	n.n.	0,001	n.n.	0	3	0,0005	3	n.n.	8	Pb	n.n.	0,002	n.n.	n.n.	0,0006	10	n.n.	0,002	n.n.	n.n.	0,0006	10
Cd	*****	*****	*****	0,0008	0,0012	0,0005	0	3	0,0003	3	0,0009	8	Cd	0,0008	0,0016	n.n.	n.n.	0,0004	10	0,0008	0,0016	n.n.	n.n.	0,0004	10
Cr	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0	6	*****	6	*****	8	Cr	*****	*****	*****	*****	*****	0	*****	*****	*****	*****	*****	0
Zn	*****	*****	*****	0,01	0,04	n.n.	0	6	0,0189	6	0,01	14	Zn	0,04	0,26	n.n.	n.n.	0,0709	11	0,04	0,26	n.n.	n.n.	0,0709	11
Ba	*****	*****	*****	0,10	0,13	0,08	0	6	0,0177	6	0,07	14	Ba	0,08	0,10	0,06	0,06	0,0107	11	0,08	0,10	0,06	0,06	0,0107	11
TOC	*****	*****	*****	3,3	3,3	3,3	0	1	0,0000	1	4,8	4	TOC	3,2	4,0	3,0	3,0	0,3919	5	4,8	8,7	1,8	1,8	2,5010	4
SPAK254	*****	*****	*****	4,5	7,8	3,0	0	7	1,5815	7	10,8	14	SPAK254	14,0	74,0	3,6	3,6	19,9449	11	10,8	24,8	5,2	5,2	5,6127	14

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KB8,2 in mmol/l)

Eine Sondersituation für das Gebiet stellt der untersuchte Fichtenbestand dar. Hier war das Sickerwasser mit 20 - 40 mg·l⁻¹ Sulfat und 2 - 5 mg·l⁻¹ Aluminium deutlich stärker belastet als an den Laubholzstandorten, eine Folge der im Fichtenbestand höheren Stoffdeposition.

4.1.2.3.3 Bodenchemie

Die Böden sind tiefgründig versauert (Tab. 48 und 49). Im Mineralboden sind die Austauscher hauptsächlich mit Aluminium belegt (Aluminiumsättigung > 80%). Eingetragene Säuren führen hier zur Freisetzung von Aluminium ins Sickerwasser, da die austauschbaren basischen Kationen (v.a. Calcium und Magnesium) mit einem Anteil von < 5 - 15% an der Austauscherbelegung kaum noch zur Pufferung beitragen. Somit gelangt die Kationsäure Aluminium weiter in den Untergrund und bewirkt ein Fortschreiten der Versauerungsfront in die Tiefe. Bei Bohrungen in 2,5 - 4,5 m Tiefe (Tab. 49) wurde die Versauerungsfront, die als Übergang zum Silikatpufferbereich mit Basensättigungen über 80% definiert ist (ULRICH UND MALESSA 1989), nicht erreicht. Allerdings konnte in der Tiefe ab 4 m ein Anstieg der Basensättigung auf Werte von 23 - 60% festgestellt werden. Hier treten die austauschbaren basischen Kationen wieder in Wechselwirkung mit der flüssigen Phase. Sie können gegen Aluminium in der Bodenlösung ausgetauscht werden, wodurch die Aluminiumkonzentration des Sickerwassers stark reduziert wird.

Abb. 19 zeigt den Tiefengradienten der Austauscherbelegung an Fläche 01. Ab 400 cm Tiefe geht die Aluminiumsättigung auf Werte unter 80% zurück, während parallel dazu die Sättigung mit Calcium und Magnesium auf über 20% ansteigt. Folglich ist erst ab dieser Tiefe mit einem Rückgang der Aluminiumkonzentration im Sickerwasser zu rechnen.

Durch den Vergleich von Bodenproben im Stammfußbereich (Tab. 48c) und im Stammzwischenbereich der Buchen lassen sich Unterschiede in der Versauerungsintensität beider Mikrostandorte erkennen.

In der Humusaufgabe ist bei den Proben aus Stammnähe die Basensättigung niedriger (35% gegenüber 51%), verursacht durch niedrigere Calcium-Sättigung und höhere Aluminium- und Protonensättigung. Dies läßt sich als verstärkte Versauerung interpretieren ebenso wie die Verringerung der austauschbaren Manganionen in Stammnähe von 8 auf 4%. Im Ah- und Bv-Horizont verwischen die Unterschiede bezüglich der Basensättigung. Hier treten geringfügige Verschiebungen innerhalb der sauren Kationen auf (Erhöhung der H-Belegung des Austauschers auf Kosten von Aluminium bei den stammnahen Bodenproben), die ein Fortschreiten der Versauerung in Stammnähe andeuten.

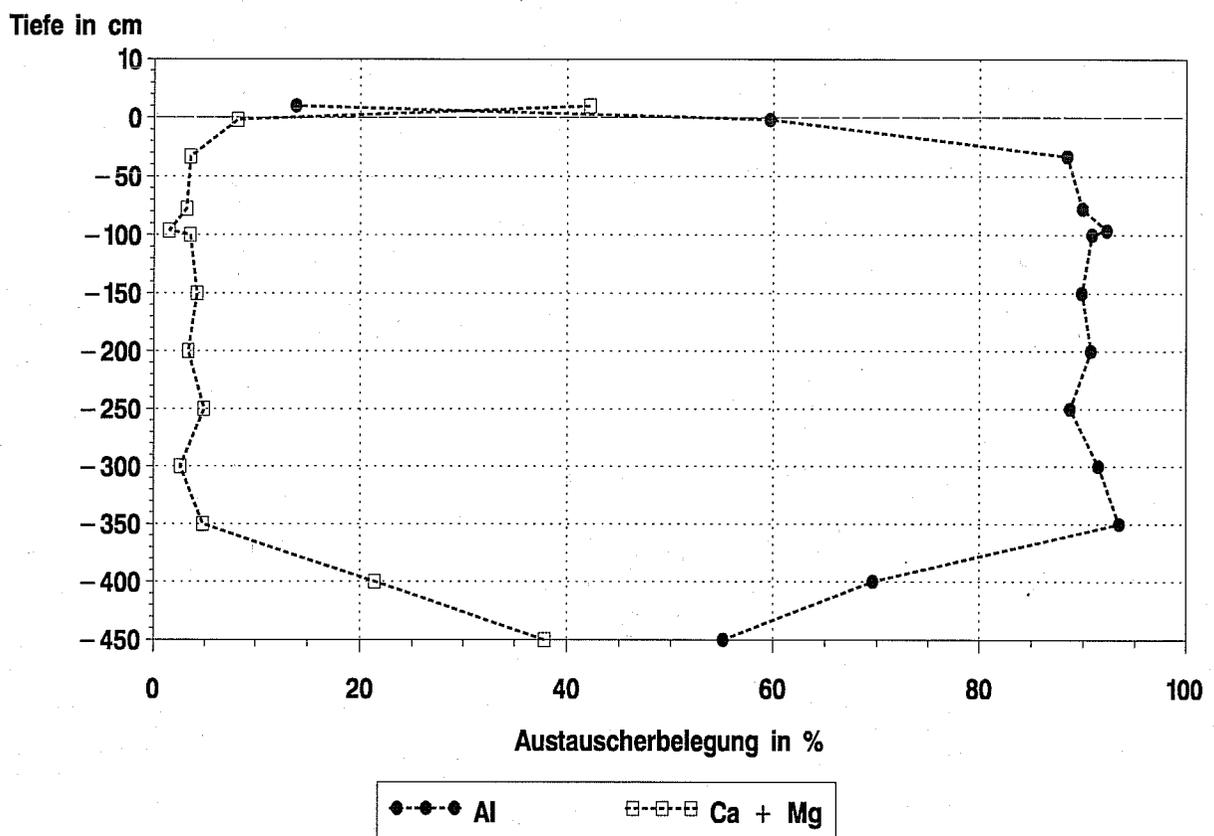


Abb. 19: Tiefenprofil der Austauscherbelegung, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßfläche 01

Die pH-Werte in der Auflage geben keinen Hinweis auf Versauerungsunterschiede. Während im Ah- und Bv-Horizont der pH(H₂O) im Bodenbereich zwischen dem Stämmen sogar etwas niedriger ist, liegt der pH(KCl) hier mit 3,0 im Ah-Horizont und 4,0 im Bv-Horizont deutlich höher als am Stammfuß, wo im Ah-Horizont 2,8 und im Bv-Horizont 3,6 gemessen wurde. Somit ist das Verhalten aller Versauerungsparameter (wie z.B. Basensättigung und pH-Wert) in Auflage, Ah- und Bv-Horizont zwar nicht gleichartig, insgesamt deuten sie aber auf eine stärkere Versauerung der Böden am Stammfuß hin. Ungeklärt ist, ob diese Unterschiede auf den Einfluß des anthropogen sauren Stammablaufes zurückzuführen sind oder ob sie in der Charakteristik des Kleinstandortes "Stammfuß" begründet sind. So sind in Stammnähe stets mächtigere Auflagen mit deutlich geringeren C- und N-Gehalten zu finden, was auf eine andere Zusammensetzung der organische Substanz schließen läßt.

Tab. 48a: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Spessart		Metzenbach/Birkwasser		Mittel (n=5); 20% Anteil an Gebietsfläche		Boden: Zweischichtböden					
Bodentyp: Pseudogley-Braunerde bis Braunerde		Humusform: Moder bis Rohhumus									
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_b g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)
0-1, f, h	5-0		23	0,21	29,13	1,39	21	118	3,75	3,00	3,11
Ah	0-4	uIS - uS	10	1,00	6,09	0,28	22	50	3,66	2,98	3,03
Bv	-50	IS - l'S	5	0,97	1,97	0,10	20	33	4,20	3,77	3,83
(Bv)Sw	-88	sl - S	14	1,41	0,43	0,04	n.b.	8	4,35	4,11	4,01
II Sd	-100 ⁺	st - tS	27	1,65	0,17	0,03	n.b.	10	4,31	3,98	3,84

Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %									
	Ca	Mg	Na	Al	H	Fe	Mn	AK _e mmol IÄ/kg	BS %	
0-1, f, h	36	6	1	17	28	1	6	180	48	
Ah	6	2	0	63	21	4	1	67	11	
Bv	2	1	0	86	5	1	1	41	5	
(Bv)Sw	2	1	0	90	3	0	0	30	6	
II Sd	2	1	0	91	3	0	0	39	6	

Horizont	Elementgesamtvorrate in kg/ha										
	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-1, f, h	37	91	35	63	5	357	360	25	0,8	4	860
Ah	96	84	226	324	22	2.704	2.409	20	1,3	9	979
Bv	788	855	4.726	5.879	331	65.009	49.056	1.027	15,2	135	4.111
(Bv)Sw	468	581	5.612	8.108	258	52.943	47.388	473	13,7	118	1.720
II Sd	467	450	4.897	6.431	215	35.068	35.168	257	15,4	180	376
Summe	1.856	2.061	15.496	20.805	831	156.081	134.381	1.802	46,4	446	8.046

Tab. 48b: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Spessart		Metzenbach/Birkwasser					Mittel (n=3): 80% Anteil an Gebietsfläche		Boden: ungeschichtet		
Bodentyp: Braunerde		Humusform: Mull bis rolhumusartiger Moder									
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_p g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)
0-I, f, h	4-0		29	0,18	27,23	1,23	22	122	3,89	3,13	3,26
Ah	0-8	uIS - S	13	0,91	5,79	0,26	22	40	3,75	3,12	3,13
Bv	-56	1'S	15	0,90	1,83	0,08	23	21	4,38	3,99	3,96
(Bv)Cv	-100 ⁺	S	14	1,59	0,17	0,02	n.b.	4	4,51	4,12	4,02

Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK_e in %									
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn	AK_e mmol IÄ/kg	BS %
0-I, f, h	44	9	7	0	9	20	1	9	176	61
Ah	6	3	4	0	62	21	3	1	57	13
Bv	3	1	3	1	85	5	1	1	28	8
(Bv)Cv	5	2	5	1	83	5	0	1	14	12

Horizont	Elementgesamtvorräte in kg/ha										
	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-I, f, h	27	110	30	53	4	220	216	31	0,6	4	584
Ah	144	158	364	423	43	4.028	3.929	38	2,7	16	1.608
Bv	528	849	3.047	2.347	200	37.934	28.128	581	12,8	119	2.947
(Bv)Cv	731	698	4.476	8.282	403	33.262	40.035	488	15,5	147	1.325
Summe	1.430	1.815	7.917	11.105	650	75.444	72.308	1.138	31,6	286	6.464

Tab. 48c: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Spessart		Metzenbach/Birkwasser				Mittel für Buchenflächen (n=4)				Boden (Stammablaufbereich)	
Bodentyp: Braunerde bis Pseudogley						Humusform: Moder bis Rohhumus					
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_h g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)
0-1, f, h	7-0		20	0,26	20,98	0,98	21	83	3,87	2,92	3,01
Ah	0-3	uIS - uS	8	1,23	5,81	0,25	23	47	3,85	2,85	2,97
Bv (Sw)	-30*	IS - 1'S	9	0,93	2,24	0,11	20	34	4,41	3,61	3,60
Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %										
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn	AK _e mmol IÄ/kg	BS %	
0-1, f, h	24	5	5	1	21	40	1	4	132	35	
Ah	5	2	4	0	57	28	3	1	60	11	
Bv(Sw)	3	1	3	0	81	9	1	1	43	7	
Horizont	Elementgesamtvorräte in kg/ha										
	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-1, f, h	67	133	88	170	16	966	765	30	1,6	6	1.423
Ah	78	71	211	398	34	2.548	2.054	18	1,5	6	833
Bv(Sw)	575	529	2.283	3.071	243	26.569	20.626	400	10,4	52	2.562
Summe	720	733	2.582	3.639	293	30.083	23.445	448	13,5	64	4.818

Tab. 49: Bodenchemische Kenndaten der tieferen Sickerzone, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Spessart		Metzenbach/Birkwasser											
		Spanne aus den Bohrungen (n=4)											
Tiefe cm	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	AK _e mmol IA/kg	BS %	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %								
					Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn	
100	4,10-4,60	3,60-4,35	8-50	5-24	2-17	1-6	0-2	0-1	0-1	71-91	4-6	0	0-1
150	4,20-4,70	3,65-4,20	12-48	5-15	3-9	1-7	0-1	0	0	78-90	5-7	0	0-1
200	4,20-4,70	4,10-4,20	12-20	3-16	2-9	1-6	0-1	0-1	0-1	77-91	5-6	0	0-1
250	4,30-4,80	4,05	8-22	5-38	3-21	1-16	0-2	0	0	57-89	5-9	0	0-1
300	4,40-4,90	4,05	15-31	3-53	2-29	0-23	0-3	0	0	42-92	5	0	0-1
350	4,40-4,70	3,85-4,10	15-19	5-30	3-14	1-14	0-2	0	0	62-94	0-8	0	0-1
400	4,75-5,10	4,20	5-8	21-51	11-27	11-24	0	0	0	43-70	5-7	0	2
450	4,75-5,05	4,00-4,20	5-15	38-58	22-30	46-27	0	0	0	37-55	3-5	0	2-3

4.1.2.3.4 Bodenphysik

Im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser liegen überwiegend schwach lehmige bis schluffig-lehmige Sandböden mit hohen Gesamtporenvolumen und Feldkapazitäten (insbesondere im A- und B-Horizont) vor (Tab. 51).

Das Substanzvolumen nimmt mit der Tiefe vom A-Horizont (39,3%) über den B- (46,2%) zum C-Horizont (59,5%) zu, im C-Horizont vor allem auf Kosten der Luftkapazität, die dem Anteil der weiten Grobporen entspricht. Hohe Luftkapazitäten treten im z.T. sehr locker gelagerten Solifluktionsschutt mit intensiver Durchwurzelung an Sonnhängen auf.

Der Mittelwert der gesättigten Wasserleitfähigkeit k_f beträgt im C-Horizont ca. $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Neben entfestigten Sandsteinen sind hier tonige Schlufflinsen mit geringeren Leitfähigkeiten anzutreffen, die die Wasserbewegung und Gebirgsdurchlässigkeit erheblich beeinflussen.

Tab. 50: Durchlässigkeitsbeiwert k_f [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$] in Böden des Untersuchungsgebietes Metzenbach/Birkwasser

	Profil SPS3	Profil SPS8	Profil SPS9	Profil SPS10
B-Horizont	$3,1 \cdot 10^{-3}$	-	-	$1,5 \cdot 10^{-2}$
C-Horizont	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$

Tab. 51: Bodenphysikalische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser (7 Profile)

Horizont und Statistik	Anzahl der Proben n	Feldfeuchte		Struktur			Porenverteilung				hydrologische Parameter			
		Wg [Vol.-%]		Volumen Trocken- substanz SV [Vol.-%]	Lagerungs- dichte dB [g·cm ⁻³]	Gesamt- poren- volumen PV [Vol.-%]	weite Grobporen sgPV [Vol.-%]	enge Grobporen fgPV [Vol.-%]	Mittel- poren mpV [Vol.-%]	Feinporen fpV [Vol.-%]	Luft- kapazität LK [Vol.-%]	Feld- kapazität FK [Vol.-%]	nutzbare Feld- kapazität nFK [Vol.-%]	
A	28													
MW		18,2		39,3	1,02	60,7	34,9	4,8	9,1	11,88	34,9	25,8	13,9	
MAX		31,6		45,7	1,19	76,3	53,0	14,4	19,1	17,67	53,0	43,2	25,6	
MIN		5,9		23,3	0,61	54,3	12,8	0,6	1,4	6,43	12,8	11,5	2,8	
STD		6,7		5,9	0,15	5,9	9,4	3,3	3,7	3,20	9,4	7,2	5,6	
B	28													
MW		11,7		46,2	1,22	53,8	35,2	4,7	4,2	9,78	35,2	18,6	8,8	
MAX		21,9		59,2	1,58	62,2	47,9	8,1	11,1	15,03	47,9	28,9	18,7	
MIN		3,8		37,8	1,00	40,5	21,4	0,5	0,3	4,73	21,4	9,0	2,0	
STD		5,6		5,1	0,13	5,1	7,3	2,3	2,5	3,19	7,3	5,9	4,3	
C	35													
MW		9,4		59,5	1,58	40,5	24,8	3,5	3,8	8,47	24,8	15,7	7,3	
MAX		20,2		67,1	1,78	46,9	34,0	7,6	11,5	14,57	34,0	27,6	15,2	
MIN		4,1		53,1	1,41	32,9	14,0	1,2	0,3	4,63	14,0	9,7	3,7	
STD		4,0		3,3	0,09	3,3	4,8	1,6	2,5	2,42	4,8	3,8	2,6	

4.1.2.4 Grundwasser und Quellen

Das Grundwasser im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser wird an sieben Beschaffenheitsmeßstellen und sechs Quellen erfaßt. Die Glück- und die Krebsbachquelle liegen außerhalb der Einzugsgebiete. Alle Quellen haben intermittierenden Charakter. Lediglich die Metzenbachquelle ist im Untersuchungszeitraum nicht trockengefallen. Östlich, zum Teil im Grundwasserabstrom des Untersuchungsgebietes, befinden sich drei aufgebohrte Quellen, die der Wasserversorgung dienen.

Erschlossen sind die oberen Schichten des mächtigen, zusammenhängenden Grundwasserkörpers im Mittleren und Unteren Buntsandsteins. Die Flurabstände an den sieben Beschaffenheitsmeßstellen liegen zwischen 0,5 und 35 m. Die Meßstelle 07 ist durch Hangstauwasser beeinflusst. Der Flurabstand beträgt hier ganzjährig weniger als 3,4 m. Im Frühjahr steigt der Wasserstand manchmal über das Geländeniveau.

Die Beschaffenheit des Grundwassers ist als Mittel der sieben Meßstellen in Tab. 52 zusammengefaßt. Die pH-Werte liegen meist zwischen pH 4,8 und 5,8, wobei die Aluminiumkonzentrationen $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ in der Regel nicht überschreiten. Niedrigere pH-Werte im Bereich von 4,6 bis 5,0 und höhere Aluminiumgehalte bis über $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ werden ganzjährig an der Meßstelle 07 gefunden. Bestimmendes Anion ist Sulfat, das mittlere Gehalte von 16 - 17 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ aufweist.

Die Einträge von Kationen in das Grundwasser werden im wesentlichen durch das mobile Anion Sulfat gesteuert. Zusammen mit Calcium und Magnesium weist es eine deutliche Saisonalität auf (Abb. 20). Im Frühjahr bei starker Grundwasserneubildung werden die höchsten Konzentrationen dieser Parameter beobachtet. Nitrat mit maximalen Konzentrationen von 6 - 7 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ besitzt im Hinblick auf die Versauerung des Grundwassers untergeordnete Bedeutung. Erhöhte Konzentrationen von Cadmium bis $11 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ sind ein Indiz für die Mobilisierung von Schwermetallen im Untergrund.

Tab. 52: Beschaffenheitsdaten des Grundwassers, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Spessart Grundwasser		Metzenbach/Birkwasser (7 Meßstellen)		WMA: Würzburg		TK25: 6022																		
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992																
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n					
pH VO	5,08	4,63	5,63	40	5,10	4,59	5,61	41	5,21	4,79	5,68	43	5,10	4,71	5,76	31	5,10	4,71	5,76	31	5,07	4,76	5,45	37
pH Lab	5,62	5,10	6,49	38	5,49	5,10	5,90	41	5,59	5,29	6,11	45	5,56	5,22	5,98	28	5,56	5,22	5,98	28	5,55	5,04	5,92	42
LF VO	69	87	55	7,8051	69	85	58	7,0788	69	85	54	7,5282	70	86	54	7,7176	70	86	54	7,7176	67	83	51	8,4830
LF Lab	66	79	54	8,7939	68	86	58	7,0724	70	85	57	7,0287	70	88	57	7,4833	70	88	57	7,4833	67	82	52	7,7449
O2	9,9	12,9	6,8	1,3160	10,8	14,1	7,3	1,3216	11,0	13,5	7,7	1,0489	11,0	13,5	8,4	1,3821	10,6	13,9	8,4	1,3821	10,3	11,5	9,4	0,5386
Temp VO	7,8	11,1	4,0	1,2479	8,3	12,5	6,6	1,4535	8,3	11,6	4,6	1,7064	8,3	12,8	2,0	2,3022	8,3	12,8	2,0	2,3022	7,9	10,6	4,3	1,4480
S04	17,0	22,2	12,8	2,3131	16,4	21,4	12,9	2,2721	16,5	22,8	9,7	2,4985	17,2	21,7	12,4	2,1614	17,2	21,7	12,4	2,1614	16,3	22,1	9,0	3,0307
NO3	3,2	5,3	0,2	1,1814	3,4	5,0	1,2	1,0209	3,3	6,0	n.n.	1,4057	3,5	6,5	n.n.	1,5805	3,5	6,5	n.n.	1,5805	3,7	6,3	n.n.	1,6367
Cl	3,2	4,3	2,2	0,6352	3,3	5,0	2,4	0,6403	3,4	5,5	1,2	0,7620	3,3	4,3	2,3	0,5397	3,3	4,3	2,3	0,5397	3,3	4,2	2,2	0,5421
HCO3	7,2	15,3	4,3	2,2565	6,2	9,8	3,7	1,6378	6,9	12,8	4,9	1,7774	6,3	11,6	4,3	1,7591	6,3	11,6	4,3	1,7591	6,1	9,2	3,7	1,3204
NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0042	n.n.	0,03	n.n.	0,0061	n.n.	0,01	n.n.	0,0039	0,02	0,02	n.n.	0,0051	0,02	0,02	n.n.	0,0051	n.n.	0,05	n.n.	0,0078
o-P04	0,02	0,14	n.n.	0,0329	0,01	0,20	n.n.	0,0407	0,04	0,23	n.n.	0,0649	0,04	0,23	n.n.	0,0770	0,06	0,25	n.n.	0,0770	0,10	0,34	n.n.	0,0936
Ca	5,5	8,0	4,0	0,9478	5,6	7,6	4,6	0,7294	5,4	7,5	3,6	0,8768	5,4	7,5	3,6	0,8768	5,6	7,6	4,2	0,7390	5,2	6,5	4,0	0,6931
Mg	1,4	2,0	0,8	0,3213	1,4	2,0	0,9	0,3358	1,4	2,2	0,8	0,3636	1,4	1,9	0,8	0,3314	1,4	1,9	0,8	0,3314	1,2	1,8	0,7	0,3411
Na	2,7	5,2	1,3	0,9241	3,3	7,1	1,6	1,0197	3,1	5,1	2,1	0,6580	3,3	6,7	1,7	1,0806	3,3	6,7	1,7	1,0806	3,2	4,0	1,6	0,5819
K	1,9	2,7	n.n.	0,6497	1,9	3,0	n.n.	0,6417	1,6	2,8	0,2	0,6479	1,7	2,9	0,4	0,6781	1,7	2,9	0,4	0,6781	1,7	2,7	0,8	0,4781
NH4	0,089	0,696	n.n.	0,1222	0,030	0,103	n.n.	0,0272	0,072	0,148	n.n.	0,0426	0,072	0,148	n.n.	0,0397	0,063	0,125	0,010	0,0397	0,069	0,207	n.n.	0,0422
Al	0,04	0,17	n.n.	0,0442	0,05	0,18	n.n.	0,0585	0,03	0,18	n.n.	0,0445	0,03	0,18	n.n.	0,0571	0,03	0,18	n.n.	0,0571	0,04	0,32	n.n.	0,0788
Fe	0,01	0,06	n.n.	0,0150	0,02	0,14	n.n.	0,0268	n.n.	0,04	n.n.	0,0075	n.n.	0,04	n.n.	0,0264	0,02	0,14	n.n.	0,0264	0,02	0,14	n.n.	0,0294
Mn	0,03	0,10	n.n.	0,0280	0,03	0,10	n.n.	0,0307	0,03	0,11	n.n.	0,0305	0,03	0,11	n.n.	0,0309	0,03	0,11	n.n.	0,0309	0,02	0,10	n.n.	0,0279
Pb	n.n.	0,003	n.n.	0,0007	n.n.	0,003	n.n.	0,0007	n.n.	0,004	n.n.	0,0007	n.n.	0,002	n.n.	0,0004	n.n.	0,002	n.n.	0,0004	n.n.	0,001	n.n.	0,0003
Cd	0,0005	0,0033	n.n.	0,0009	0,0028	0,0110	0,0001	0,0023	0,0013	0,0040	0,0002	0,0009	0,0005	0,0005	0,0001	0,0005	0,0005	0,0018	0,0001	0,0005	0,0002	0,0003	0,0001	0,0001
Cr	n.n.	0,002	n.n.	0,0005	n.n.	0,002	n.n.	0,0005	n.n.	0,002	n.n.	0,0005	n.n.	0,002	n.n.	0,0005	n.n.	0,002	n.n.	0,0005	n.n.	0,002	n.n.	0,0001
Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	0,0002	0,0010	0,0004
Zn	0,05	0,12	n.n.	0,0303	0,07	0,26	n.n.	0,0495	0,07	0,15	0,01	0,0302	0,07	0,23	0,01	0,0582	0,07	0,23	0,01	0,0582	0,06	0,25	0,01	0,0446
Ba	0,08	0,14	0,01	0,0296	0,11	0,15	0,04	0,0271	0,11	0,22	0,03	0,0385	0,09	0,13	0,04	0,0207	0,09	0,13	0,04	0,0207	0,06	0,25	0,01	0,0252
TOC	1,8	4,8	0,9	0,7162	2,4	4,9	0,6	1,0927	1,4	8,8	0,6	1,2649	1,3	2,3	0,7	0,4820	1,3	2,3	0,7	0,4820	1,4	6,1	0,7	1,0673
SPAK254	1,6	4,6	0,4	1,0109	1,7	13,0	0,2	1,9687	1,2	4,0	n.n.	0,7167	3,8	9,6	1,6	1,9286	3,8	9,6	1,6	1,9286	1,3	4,0	0,6	0,6293
S102	6,6	11,0	5,1	1,3692	6,6	12,0	4,6	1,9502	6,6	13,0	4,9	1,6535	6,8	10,8	4,5	1,4791	6,8	10,8	4,5	1,4791	6,3	8,4	4,8	0,9464
KBB,2	0,5	1,2	0,2	0,2226	0,5	0,8	n.n.	0,1397	0,6	0,8	0,4	0,1231	0,7	0,8	0,5	0,1080	0,7	0,8	0,5	0,1080	0,6	0,9	0,2	0,1331

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KBB,2 in mmol/l)

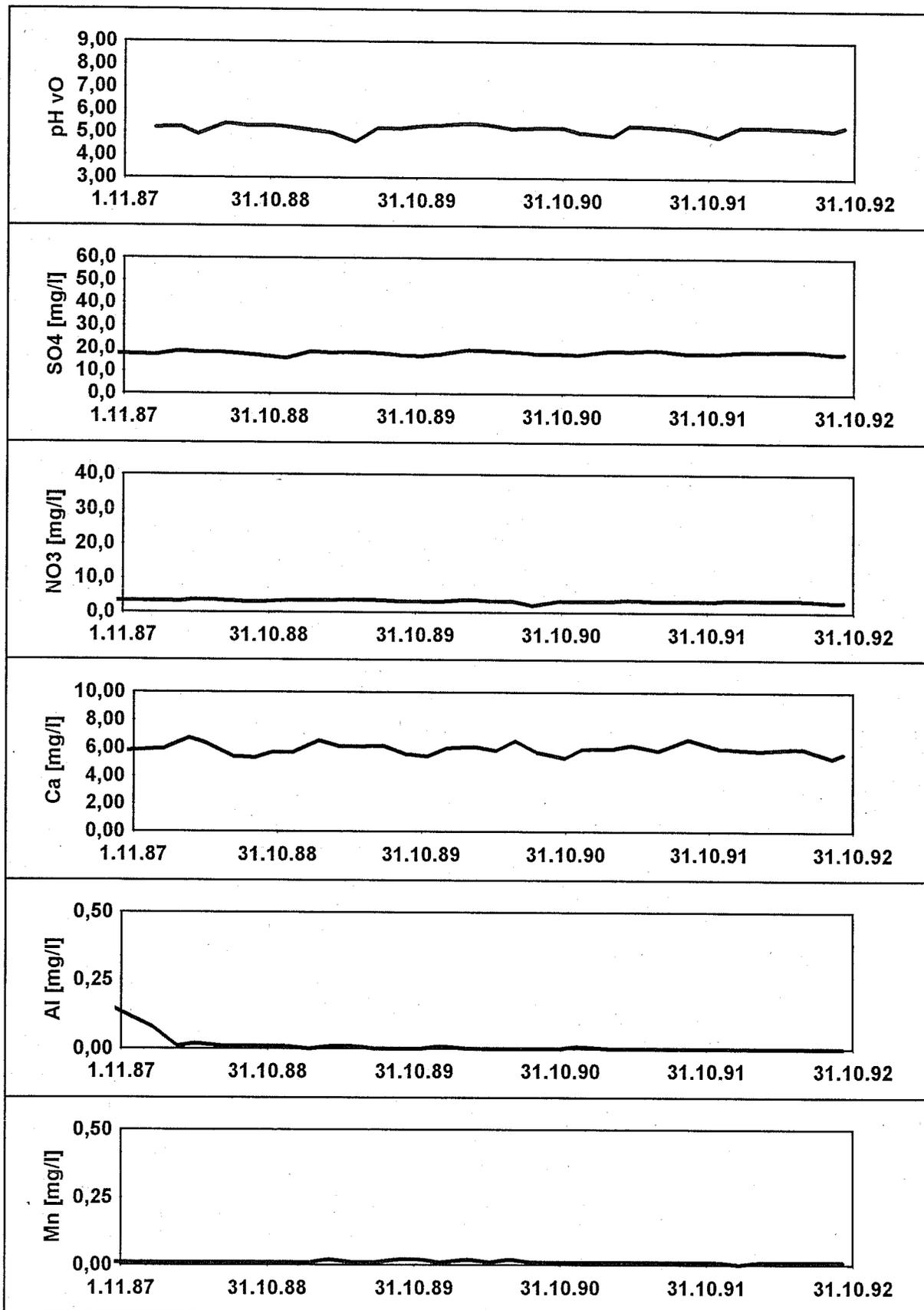


Abb. 20: Ganglinien ausgewählter Parameter im Grundwasser, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser, Meßstelle 01

Tab. 53: Beschaffenheitsdaten des Rohwassers der zugeordneten Wasserversorgung (Metzenbach/Birkwasser)

Spessart Rohwasser		Metzenbach/Birkwasser		WV Forstratsbr.		TK25: 6022		WWA: Würzburg		Meßstelle: 1513600					
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992							
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	
pH VO	5,27	5,16	5,40	4	pH VO	5,42	5,20	5,65	6	pH VO	5,38	5,25	5,50	5	
pH Lab	5,67	5,50	5,90	7	pH Lab	5,75	5,67	5,83	6	pH Lab	5,71	5,58	5,85	5	
LF VO	72	79	69	4	LF VO	70	75	66	6	LF VO	71	73	68	5	
LF Lab	72	80	68	6	LF Lab	72	75	69	6	LF Lab	72	74	67	5	
O2	10,3	10,3	10,3	0,0000	O2	10,4	11,5	9,6	5	O2	9,8	10,1	9,6	0,2055	3
Temp VO	7,7	8,3	7,3	0,4497	Temp VO	8,1	8,9	7,4	6	Temp VO	8,5	9,8	7,8	0,6986	5
S04	17,4	20,3	14,7	1,9290	S04	15,9	18,8	14,0	6	S04	16,7	17,5	14,8	1,0000	5
N03	3,6	5,6	1,6	1,0653	N03	3,3	4,3	2,7	6	N03	3,8	4,3	3,2	0,3720	5
Cl	3,3	4,1	2,9	0,3391	Cl	3,4	4,1	3,0	6	Cl	3,4	3,7	3,2	0,1855	5
HCO3	7,7	9,2	6,7	0,9704	HCO3	7,9	9,2	6,7	6	HCO3	7,7	9,2	6,1	0,9911	5
NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0015	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	6	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	5
o-P04	0,03	0,04	n.n.	0,0145	o-P04	0,03	0,06	n.n.	6	o-P04	0,03	0,06	n.n.	0,0289	5
Ca	6,0	6,6	5,6	0,4360	Ca	5,8	7,0	5,1	5	Ca	6,0	7,0	5,3	0,5678	5
Mg	1,4	1,6	1,3	0,0927	Mg	1,5	1,8	1,3	6	Mg	1,4	1,5	1,4	0,0490	5
Na	2,6	3,4	2,0	0,3733	Na	2,8	4,1	2,1	6	Na	3,2	3,9	2,5	0,5492	5
K	2,7	3,1	2,3	0,2421	K	2,4	2,7	1,6	6	K	2,0	3,3	1,1	0,7950	5
NH4	0,020	0,066	0,004	0,0194	NH4	0,017	0,035	n.n.	5	NH4	0,058	0,095	n.n.	0,0380	5
Al	n.n.	0,01	n.n.	0,0045	Al	n.n.	0,01	n.n.	6	Al	n.n.	0,02	n.n.	0,0080	5
Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0035	Fe	n.n.	0,01	0,05	6	Fe	0,01	0,02	0,01	0,0049	5
Mn	n.n.	0,01	n.n.	0,0035	Mn	0,01	0,01	0,01	6	Mn	0,02	0,04	0,01	0,0120	5
Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0005	Pb	n.n.	0,003	n.n.	6	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	5
Cd	n.n.	0,0001	n.n.	0,0001	Cd	0,0005	0,0013	0,0001	6	Cd	0,0002	0,0006	0,0001	0,0002	5
Cr	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Cr	n.n.	n.n.	n.n.	6	Cr	*****	*****	*****	*****	0
Hg	*****	*****	*****	0	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	6	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1
Zn	0,02	0,04	n.n.	0,0120	Zn	0,10	0,32	0,01	6	Zn	0,04	0,09	0,01	0,0265	5
Ba	0,10	0,13	0,08	0,0168	Ba	0,09	0,09	0,07	6	Ba	0,11	0,13	0,09	0,0147	5
TOC	1,7	1,7	1,7	0,0000	TOC	1,5	2,7	0,4	4	TOC	1,0	1,3	0,8	0,1720	5
SPAK254	0,7	1,2	0,4	0,2997	SPAK254	1,0	1,4	0,4	6	SPAK254	3,2	6,0	1,2	1,6120	5
S102	7,2	7,2	7,2	0,0000	S102	7,1	7,4	6,7	6	S102	7,8	9,0	6,5	0,7985	5
KB8,2	0,7	0,7	0,7	0,0000	KB8,2	*****	*****	*****	0	KB8,2	0,8	0,9	0,6	0,0873	3

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KB8,2 in mmol/l)

Die höchsten Gehalte traten im Jahr 1989 auf. In den Nachfolgebjahren sanken die Konzentrationen im Grundwasser, möglicherweise aufgrund geringerer Zufuhr aus dem oberen Sickerraum.

Tab. 53 gibt die Beschaffenheit des Rohwassers der benachbarten Wasserversorgung wieder. Der Charakter des Wassers ist weniger sauer als der des Grundwassers im Untersuchungsgebiet. Ursache dafür sind längere Fließwege im ausreichend pufferfähigem Gestein. Indiz dafür ist der im Rohwasser um etwa $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ höhere Kieselsäuregehalt. Bedingt durch die Basenarmut des Sandsteins ist das Rohwasser, bezogen auf die pH-Werte von 5,0 - 5,7, als natürlich sauer, aber äußerst versauerungsempfindlich einzustufen. Aluminium erscheint sporadisch im Rohwasser, bleibt aber im Meßzeitraum unter dem Grenzwert der TrinkwV von $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Auch hier ist das Hauptanion Sulfat mit Gehalten über $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Nitrat weist ganzjährig Konzentrationen von 3 bis $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ auf. Ältere Meßreihen deuten allerdings auf eine Zunahme der Nitratkonzentrationen hin. Anfang der 70-er Jahre lagen sie noch bei etwa $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang mit der zunehmenden Stickstoffbelastung des Gebietes aus der Atmosphäre.

Die Quellsituation wird am Beispiel der Metzenbachquelle dargestellt (Tab. 54). Diese Quelle entwässert die höchste Erhebung im Spessart, den 586 m hohen Geiersberg in östlicher Richtung. Die Schüttung der Quelle beträgt 1 bis $10 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Ihr mittlerer pH-Wert von 5,4 ist von hohen Gehalten an gelöstem Kohlendioxid bestimmt. Gebietstypisch liegen die Sulfatgehalte im Bereich von 13 bis $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ und schwanken periodisch, beeinflusst durch die Rate der Grundwasserneubildung. Auch die Gehalte der Erdalkalien zeigen eine entsprechende Saisonalität (Abb. 21). Die Konzentrationen des Nitrat sind im Vergleich zu anderen Meßstellen mit 4,4 bis $4,7 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ relativ konstant.

Tab. 54: Beschaffenheitsdaten der Metzenbachquelle

Spessart Quelle/wasser		Metzenbach/Birkwasser Meßpunkt: 31		Metzenbachquelle		Metzenbachquelle		WHA: Würzburg Meßstelle: 1313600		TK25: 6022				
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	5,31	5,05	5,69	9	pH VO	5,58	5,31	6,33	20	pH VO	5,33	4,81	5,73	23
pH Lab	5,66	5,10	6,20	19	pH Lab	5,72	5,58	6,20	26	pH Lab	5,63	5,44	5,87	25
LF VO	69	78	64	4,7159 10	LF VO	70	81	64	4,4992 24	LF VO	69	78	62	3,9771 24
LF Lab	69	92	54	10,3895 18	LF Lab	71	81	59	5,2563 26	LF Lab	69	77	62	4,1519 25
O2	9,7	10,7	7,7	1,0217 9	O2	10,3	11,1	9,0	0,5745 21	O2	10,8	13,6	8,7	1,0184 20
Temp VO	7,4	7,7	7,2	0,1375 10	Temp VO	7,2	8,8	5,7	0,5164 24	Temp VO	7,2	8,4	6,6	0,4453 24
S04	16,7	21,5	14,7	1,7736 18	S04	16,3	19,0	13,3	1,5321 26	S04	16,7	19,1	14,3	1,4862 24
NO3	4,7	5,5	3,3	0,5235 19	NO3	4,5	7,3	3,3	0,7198 26	NO3	4,5	4,9	3,5	0,3133 24
Cl	3,4	5,6	1,2	0,9253 19	Cl	3,6	7,1	3,0	0,9403 26	Cl	3,2	4,1	2,9	0,2738 24
HCO3	5,7	12,2	3,1	1,8252 19	HCO3	5,5	9,2	3,1	1,0985 24	HCO3	5,0	7,9	3,7	0,8868 23
NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0036 12	NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0039 26	NO2	n.n.	0,08	n.n.	0,0154 25
o-P04	0,02	0,05	n.n.	0,0162 19	o-P04	0,02	0,06	n.n.	0,0207 26	o-P04	0,02	0,06	n.n.	0,0203 25
Ca	6,0	9,5	4,9	1,0132 19	Ca	6,1	7,3	5,3	0,5499 25	Ca	5,9	6,8	3,7	0,6174 25
Mg	1,4	2,1	1,2	0,2162 19	Mg	1,5	1,8	1,2	0,2004 26	Mg	1,4	1,6	1,0	0,1488 25
Na	2,5	4,9	0,7	0,8045 19	Na	2,3	3,7	1,6	0,4332 26	Na	2,3	2,6	2,0	0,1296 25
K	2,0	2,5	0,5	0,5383 19	K	2,3	4,4	1,8	0,4524 26	K	2,2	2,3	2,0	0,0693 25
NH4	0,023	0,084	n.n.	0,0235 19	NH4	0,021	0,135	n.n.	0,0305 26	NH4	0,030	0,124	n.n.	0,0326 24
Al	0,02	0,08	n.n.	0,0190 18	Al	n.n.	0,06	n.n.	0,0134 26	Al	n.n.	0,05	n.n.	0,0153 25
Fe	0,08	1,37	n.n.	0,3051 19	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0039 26	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0033 25
Mn	0,02	0,04	n.n.	0,0124 19	Mn	0,02	0,04	0,01	0,0080 26	Mn	0,02	0,04	0,01	0,0079 25
Pb	n.n.	0,002	n.n.	0,0005 19	Pb	n.n.	0,002	n.n.	0,0006 26	Pb	n.n.	0,002	n.n.	0,0006 24
Cd	n.n.	0,0001	n.n.	0,0001 12	Cd	0,0001	0,0007	n.n.	0,0001 25	Cd	0,0001	0,0008	n.n.	0,0002 24
Cr	n.n.	0,006	n.n.	0,0016 13	Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0003 13	Cr	*****	*****	*****	0
Zn	n.n.	0,05	n.n.	0,0115 19	Zn	0,03	0,24	n.n.	0,0572 21	Zn	n.n.	0,03	n.n.	0,0079 24
Ba	0,06	0,09	0,04	0,0123 19	Ba	0,06	0,13	0,01	0,0200 22	Ba	0,06	0,07	0,03	0,0081 25
TOC	2,4	10,0	0,8	2,3361 12	TOC	1,6	4,2	0,4	1,0441 22	TOC	1,1	7,1	0,3	1,2812 24
SPAK254	0,7	2,0	0,2	0,3958 19	SPAK254	0,9	2,0	0,4	0,4287 23	SPAK254	2,8	17,8	0,6	3,2090 25
S102	5,9	6,2	5,5	0,2065 11	S102	5,6	8,2	2,7	0,8751 26	S102	5,5	7,3	4,4	0,7571 24

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KBB,2 in mmol/l)

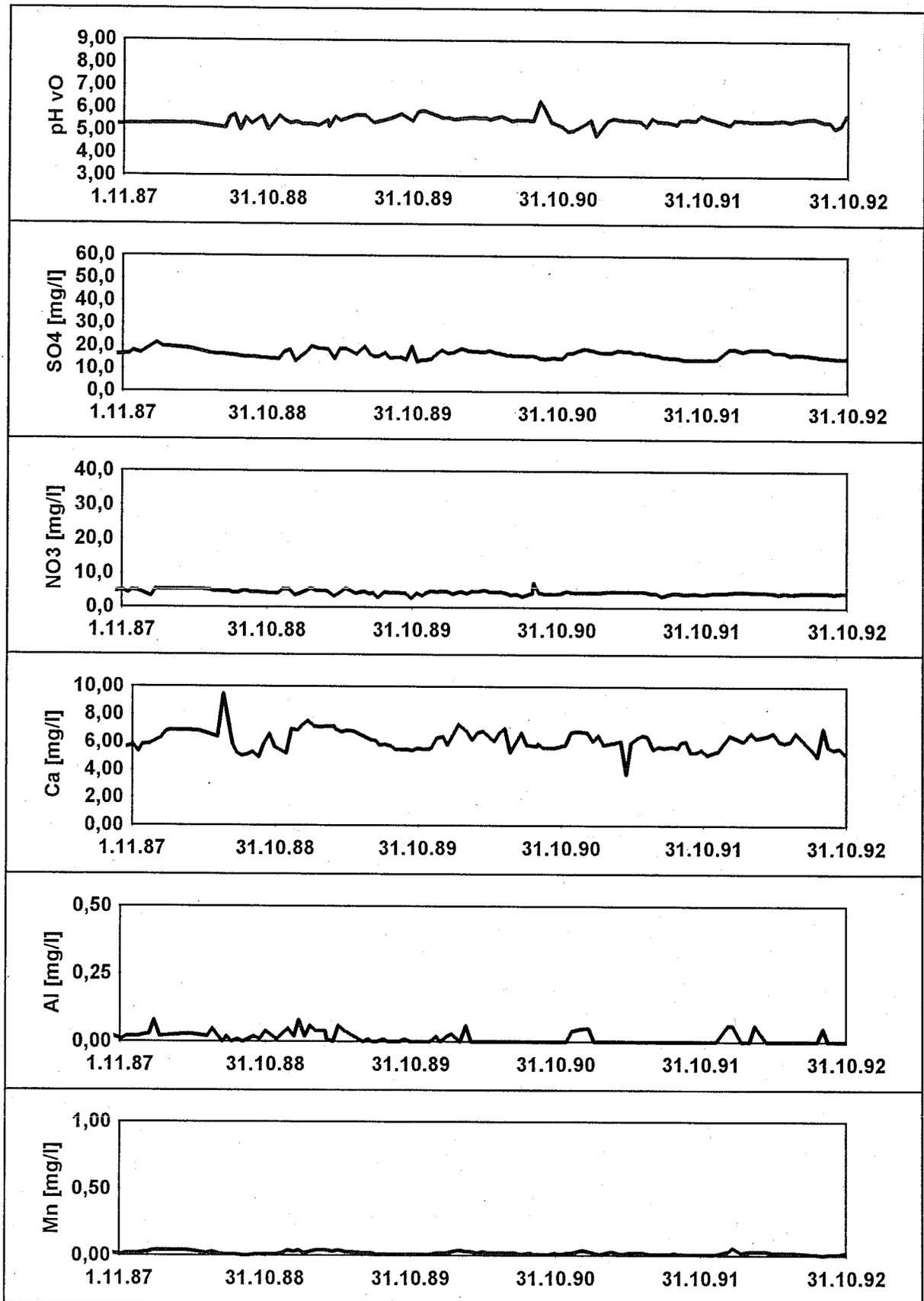


Abb. 21: Ganglinien ausgewählter Parameter der Metzenbachquelle

Die übrigen Quellen haben einen ähnlichen hydrochemischen Grundcharakter wie die Metzenbachquelle. Sie können nach stärker sauren hochliegenden und besser gepufferten tiefliegenden Quellen unterschieden werden. Extreme Versauerungsspitzen traten während des Meßzeitraums nicht auf. Bei Fortschreiten der Versauerungsfront ist jedoch mit einer zeitweiligen Belastung von Grund- und Rohwasser durch niedrigere pH-Werte und höhere Aluminiumgehalte zu rechnen.

4.1.2.5 Oberirdische Gewässer

4.1.2.5.1 Gewässerchemie und Stoffaustrag

Das Untersuchungsprogramm hat seinen Schwerpunkt im südlicheren der beiden Einzugsgebiete, das vom Metzenbach entwässert wird. Dort sind drei Meßpunkte am Bachlauf eingerichtet. Die zwei Meßpunkte im nördlich gelegenen Birkwassertal fallen regelmäßig im Sommer trocken.

Die Hauptzahlen des Abflusses am Pegel Metzenbach sind in Tab. 55 dargestellt. Der Abfluß des Gebietes ist geprägt von langen Trockenzeiten im Meßzeitraum. Im niederschlagärmsten Jahr 1991 wurde über ca. 2,5 Monate kein oberirdischer Abfluß registriert (1990: 12. bis 28.10; 1991: 26.8. bis 3.11; 1992: 4. bis 17.12). Die Trockenjahre führten zu einem Defizit im Speicherraum des Bodens und Untergrundes. Im niederschlagreicheren Jahr 1992 wird daher nur ein relativ geringer Abfluß gemessen. 1988 führte eine ausgeprägte Schneeschmelze, verbunden mit hohen Niederschlägen im März, zum maximalen Abfluß im Meßzeitraum. Der größte Teil des Jahresabflusses wird im Winterhalbjahr registriert. Sommerniederschläge erzeugten kaum ausgeprägte Abflußspitzen. Lediglich im Juni 1992 wurde nach einem Ereignis mit 64,9 mm Niederschlag an zwei Tagen ein deutlicher Direktabfluß mit entsprechend hohem oberflächennahem Anteil beobachtet.

Tab. 55: Hauptzahlen des Abflusses [$l \cdot s^{-1}$] und Jahresabflußhöhe h_A [mm] am Pegel Metzenbach

Jahr	NQ	MQ	HQ	HSP	h_A
1988	0,4	20,1	141,7	146 (27.3.)	267
1989	0,1	11,1	74,8	106 (22.4.)	147
1990	0,0	7,9	48,3	81 (1.3.)	104
1991	0,0	10,2	59,9	81 (11.1.)	113
1992	0,0	9,6	60,6	113 (20.6.)	127

Der Anteil des registrierten Jahresabflusses am Jahresnieder-schlag bewegt sich zwischen 11 und 26%. Ein Teil des Gebiets-abflusses erfolgt allerdings unterirdisch, sodaß der tatsäch-liche Gebietsabfluß wesentlich höher anzusetzen ist.

Die Versauerung des Metzenbaches ist mäßig. Am Pegel Metzenbach schwanken die pH-Werte zwischen 4,9 und 7,7 (Tab. 56) und korre-lieren negativ mit dem Abfluß. Die Jahresmittel reichen von pH 5,4 bis 5,9. Sulfat bewegt sich in einem engen Bereich von 15 bis 23 $mg \cdot l^{-1}$ und ist positiv an die Abflußhöhen gekoppelt. Dagegen bestehen keine signifikanten Beziehungen der Konzen-trationen von Aluminium und Mangan zum Abfluß, was dem relativ gut gepufferten Zustand des Gewässers entspricht.

Im Frühjahr 1990 wurde von den Orkanen Vivian und Wiebke ca. 500 m oberhalb des Abflußpegels ein größerer Fichtenbestand längs des Bachlaufes geworfen. Die Auswirkungen der verstärkten Humus-Mineralisation auf der Schadensfläche sind in der Qualität des Bachwassers, vor allem an der direkt anschließenden Meßstelle 44, und gedämpft am Abflußpegel erkennbar (Abb. 22). Die mit der Mineralisation verbundene Nitratfreisetzung führt zur Versaue-rung der Bodenlösung und stärkerer Mobilisierung von Aluminium und Mangan. Im Winter 90/91 ist dieser lokale Vorgang an einer Erniedrigung des pH-Wertes und leicht erhöhten Nitratkonzen-trationen bis zu 7,5 $mg \cdot l^{-1}$ erkennbar. Im Nachfolgejahr steigen die Nitratkonzentrationen bis über 10 $mg \cdot l^{-1}$, begleitet von Aluminiumkonzentrationen bis 0,82 $mg \cdot l^{-1}$.

Tab. 56: Beschaffenheitsdaten des oberirdischen Abflusses am Pegel Metzenbach

Spessart Ober-ird. Gewässer		Metzenbach/Birkwasser		Metzenbach Pegel		TK25: 6022		WUA: Würzburg		Meßstelle: 1414000				
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	5,84	5,31	7,70	22	pH VO	5,84	5,25	7,52	22	pH VO	5,37	4,87	6,57	18
pH Lab	5,75	5,40	6,40	24	pH Lab	5,83	5,03	6,37	25	pH Lab	5,78	5,35	6,44	20
LF VO	80	83	71	3,6717 22	LF VO	74	99	70	6,0088 23	LF VO	73	85	67	4,6792 19
LF Lab	112	86	62	4,4062 24	LF Lab	75	101	72	5,6569 25	LF Lab	74	85	68	4,5288 20
O2	9,6	10,5	9,1	0,8339 13	O2	10,3	12,6	9,3	1,0508 20	O2	10,6	14,5	6,8	1,8310 16
Temp VO	9,7	15,0	3,7	3,3194 22	Temp VO	7,4	14,4	2,4	3,3801 23	Temp VO	8,2	16,1	0,6	4,5546 19
S04	18,4	22,4	17,0	1,4433 20	S04	18,0	20,9	15,4	1,2160 25	S04	18,1	20,8	16,4	1,1751 20
N03	3,7	6,3	2,3	1,2085 22	N03	3,0	7,5	1,0	1,2725 25	N03	3,3	5,0	1,0	0,9593 20
Cl	4,0	5,1	1,8	0,6873 22	Cl	4,4	8,0	3,2	0,9943 25	Cl	4,1	5,7	3,7	0,4346 20
HCO3	6,0	10,4	3,7	2,0309 22	HCO3	6,0	8,5	3,7	1,2457 23	HCO3	5,3	9,8	3,1	1,9687 17
NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0056 12	NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0043 25	NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0051 20
o-P04	n.n.	0,02	n.n.	0,0049 21	o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 24	o-P04	n.n.	0,02	n.n.	0,0033 20
Ca	6,7	8,8	5,5	0,9418 22	Ca	6,6	9,5	5,6	0,9255 25	Ca	6,3	8,5	4,5	0,9333 20
Mg	1,4	1,7	1,3	0,1238 22	Mg	1,5	1,8	1,2	0,1472 25	Mg	1,3	1,6	0,5	0,2247 20
Na	2,7	3,8	1,0	0,5916 22	Na	2,5	3,3	2,0	0,3288 25	Na	2,6	2,8	2,2	0,1526 20
K	2,0	2,8	0,4	0,6009 21	K	2,4	4,4	2,1	0,4719 25	K	2,3	3,3	1,9	0,2745 20
NH4	0,021	0,043	n.n.	0,0113 21	NH4	0,019	0,103	n.n.	0,0281 25	NH4	0,040	0,183	n.n.	0,0495 20
Al	0,07	0,35	0,01	0,0934 22	Al	0,02	0,20	n.n.	0,0446 25	Al	0,03	0,15	n.n.	0,0466 20
Fe	0,01	0,03	n.n.	0,0084 21	Fe	n.n.	0,05	n.n.	0,0128 25	Fe	0,01	0,05	n.n.	0,0103 20
Mn	0,04	0,16	n.n.	0,0470 22	Mn	0,02	0,11	n.n.	0,0243 25	Mn	0,03	0,13	0,01	0,0328 20
Pb	n.n.	0,006	n.n.	0,0013 22	Pb	n.n.	0,005	n.n.	0,0011 24	Pb	n.n.	0,002	n.n.	0,0005 19
Cd	0,0001	0,0009	n.n.	0,0002 12	Cd	0,0001	0,0005	n.n.	0,0001 24	Cd	n.n.	0,0002	n.n.	0,0001 19
Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0002 16	Cr	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 14	Cr	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 19
Zn	n.n.	0,02	n.n.	0,0076 21	Zn	0,01	0,11	n.n.	0,0234 24	Zn	n.n.	0,02	n.n.	0,0077 20
Ba	0,06	0,07	0,05	0,0069 22	Ba	0,06	0,16	0,05	0,0210 24	Ba	0,06	0,07	0,04	0,0085 20
TOC	2,5	3,5	1,7	0,5693 11	TOC	2,7	6,5	0,8	1,4134 22	TOC	2,0	3,2	0,7	0,6888 20
SPAK254	3,5	7,4	2,2	1,2334 21	SPAK254	3,5	10,4	2,2	1,7509 24	SPAK254	9,3	16,6	1,6	3,7799 20
S102	4,3	4,6	3,1	0,4250 11	S102	4,5	6,0	3,9	0,4441 24	S102	4,4	5,6	3,2	0,6507 20

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KBB,2 in mmol/l)

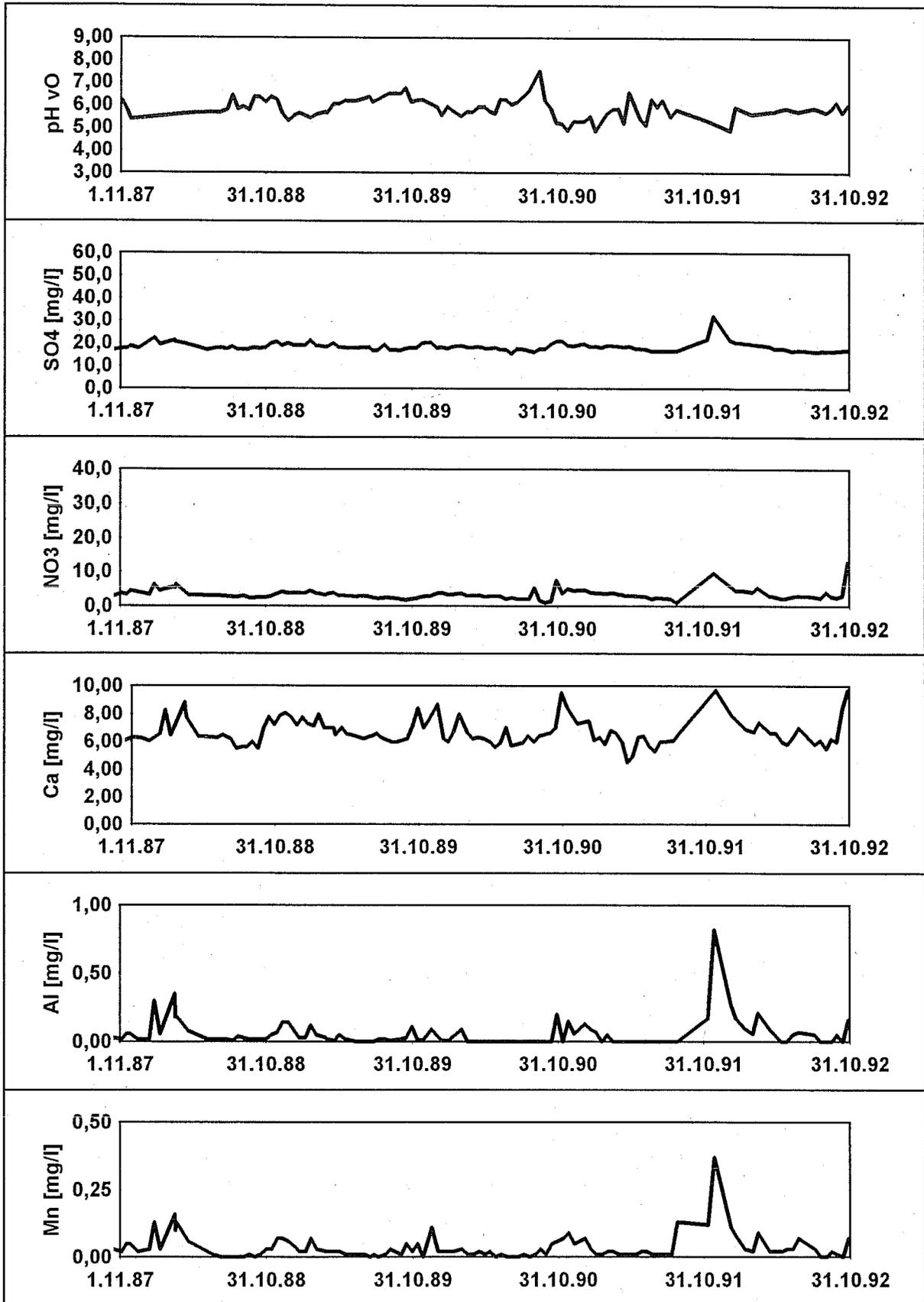


Abb. 22: Ganglinien ausgewählter Parameter am Pegel Metzenbach

Die mittleren Stoffkonzentrationen an den anderen Meßpunkten sind denen am Abflußpegel vergleichbar. Am Meßpunkt Pegel Birkwasser werden durch Einsatz von Kalkschotter im Forstwegebau erhöhte Calciumgehalte registriert.

Aus den vierzehntägig vorliegenden Gütedaten und den Tagesmittelwerten des Abflusses wurden die Stoffausträge mit dem oberirdischen Abfluß berechnet. Bei den Ergebnissen in Tab. 57 ist zu beachten, daß der unterirdische Teil des Gebietsaustrags nicht registriert wurde. Dieser muß aus der Wasserhaushaltsbilanz des Einzugsgebiets abgeschätzt werden.

Tab. 57: Stoffaustrag mit dem oberirdischen Abfluß am Pegel Metzenbach in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (H^+ vO in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Jahr	H^+ vO	Cl	$\text{SO}_4\text{-S}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	HCO_3	Ca	Mg	Na	K	$\text{NH}_4\text{-N}$	Mn	Al
1988	0,013	9,3	18,1	2,9	3,5	19,5	3,7	6,5	4,6	0,04	0,21	0,39
1989	0,004	5,6	9,2	1,2	2,8	10,0	2,3	3,9	3,3	0,02	0,06	0,09
1990	0,004	4,5	6,9	0,9	2,3	7,3	1,6	2,7	2,4	0,01	0,04	0,06
1991	0,004	5,7	8,7	1,1	2,7	9,4	1,8	3,6	3,3	0,03	0,05	0,09

Die Stoffausträge am Pegel Metzenbach sind an den Abfluß gekoppelt, wie die abnehmende Tendenz im Laufe des Meßzeitraums aufzeigt. Für freie Säure, Aluminium und Mangan sind sie gering. Erdalkalien werden zusammen mit Sulfat und Hydrogencarbonat in größeren Mengen ausgetragen, die bereits ohne Berücksichtigung der unterirdischen Verluste die Gebietsdepositionen übersteigen.

4.1.2.5.2 Kieselalgen

Das Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser erwies sich im Gebietsvergleich mit 127 nachgewiesenen Arten als das Artenreichste. Dies weist auf einen relativ geringen Versauerungsgrad hin, da Versauerung in der Regel einen Artenschwund bewirkt.

Die Versauerungsgrad nach der Toleranzstufen-Methode (s. Kap. 3.6.2) sind in Tab. 58 für drei Meßpunkte am Metzenbach dargestellt.

Tab. 58: Gewässerversauerung aufgrund des Diatomeen-Toleranzstufen-Systems, Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser

Meßpunkt	TS _{pH}	TS _{Al}	TS _{SO₄}
Metzenbachquelle	3,5	4,0	3,0
Metzenbach bei B4	2,1	2,7	2,6
Metzenbach Pegel	2,0	2,9	2,2

Sie indizieren eine mäßige, permanente Versauerung im unteren Bachlauf, die von den chemischen Parametern in diesem Ausmaß nicht nachgezeichnet wird. Im oberen Bachlauf weisen die Daten auf eine unbedeutende bis fehlende Belastung hin. Auch die noch ausreichend gepufferten Quellen außerhalb des Einzugsgebietes sind nach der Diatomeen-Methode als gering versauert einzustufen.

4.2 Region Frankenwald

4.2.1 Situation der Wasserversorgungen Region Frankenwald

Die Lösungsinhalte der Grundwässer in der Region Frankenwald werden von paläozoischen Schiefern und Kristallingesteinen geprägt. Die untersuchten Rohwässer sind gering mineralisiert mit einer mittleren Härte von $3,4^{\circ}\text{dH}$ (Summe der Erdalkalitionen $0,61 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), was nach dem Waschmittelgesetz dem Härtebereich 1 entspricht. Der hohe Gehalt an überschüssigem Kohlendioxid (max. $46 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) führt zu einem über die Region gemittelten Calcitlösevermögen von $38,8 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. In Tabelle 59 ist die mittlere Roh- und Reinwasserbeschaffenheit in der Region sowie der Minimal- bzw. Maximalwert dargestellt.

Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 23a) der pH-Werte von 186 Rohwasseranalysen zeigt, daß bei 82,8% der nach TrinkwV geforderte pH-Wert von mindestens 6,5 nicht erreicht wird. Diese Wässer müssen hinsichtlich des pH-Wertes aufbereitet werden. Bei 57 Reinwasserproben wurde der zugelassene pH-Bereich von 6,5 - 9,5 jeweils einmal unter- und einmal überschritten. 63,2% der Reinwasserproben liegen im pH-Bereich von 6,5 bis 8,0, in dem ein Delta-pH-Wert von 0,2 pH-Einheiten grundsätzlich eingehalten werden muß. Das gilt bei Verwendung von Faserzementwerkstoffen im Versorgungsnetz für den gesamten zulässigen pH-Bereich von 6,5 bis 9,5. Betrachtet man jedoch den regionalen Mittelwert des Parameters Delta-pH-Wert (1,01 pH-Einheiten), so wird deutlich, daß bei der Entsäuerungsleistung erhebliche Mängel bestehen.

Die Häufigkeitsverteilungen der Konzentrationen von Aluminium und Mangan im Rohwasser (Abb. 23c und 23e) zeigen, daß auch diese eine Aufbereitung notwendig machen. So wird von 37,1% der Rohwasseranalysen der EG-Richtwert für Aluminium und bei 34,9% der EG-Richtwert für Mangan überschritten. Grenzwertüberschreitungen bezüglich Aluminium wurden bei 14%, bezüglich Mangan bei 17,7% der Rohwasserproben gefunden. Die mangelnde Entsäuerungsleistung der Anlagen führt bei 7% der Reinwasseranalysen zur

Überschreitung des Aluminiumgrenzwertes von $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Das Aufbereitungsziel beim Parameter Mangan wird sogar bei 10,5% nicht erreicht.

In der Region wurden 6 Anlagen intensiv beprobt, d.h. einmonatige bzw. zweimonatige Beprobung von Roh- und Reinwasser über 4 hydrologische Jahre (Tab. 60 - 71). Dadurch sind genauere Aussagen über die Funktionstüchtigkeit der Aufbereitungsanlagen möglich.

Starke Grenzwertüberschreitungen im Gefolge der saisonalen Schwankungen verdeutlicht Abb. 24 für eine ausgesuchte Wasserversorgung. Abb. 24a zeigt eine ausgeprägte Schwankung des pH-Wertes - bis zu 2 pH-Einheiten - im Zeitraum eines hydrologischen Jahres. Deutlich ist die Korrelation zwischen niedrigen pH-Werten und hohen Aluminiumkonzentrationen im Rohwasser. Die pH-Werte im Reinwasser erweisen eine hinreichend gute Entsäuerungsleistung, zeigen aber auch, daß die Reinwasserseite auf besonders niedrige pH-Werte im Rohwasser reagiert. Ursachen dafür können z.B. hohe Grundwasserneubildungsraten (z.B. nach Starkregenereignissen) und eine damit verbundene Filterüberlastung sein, denn es findet nicht immer eine Zuflußbegrenzung in den Aufbereitungsanlagen statt. Die Ganglinie der Aluminiumkonzentration im Reinwasser (Abb. 24b) zeigt immer noch eine deutliche Korrelation zum pH-Verlauf im Rohwasser, was den Zusammenhang zwischen Entsäuerungsleistung und Aluminiumeliminierungsgrad widerspiegelt. Allerdings liegen die Aluminiumkonzentrationen im Reinwasser durchwegs unterhalb $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Die Mangankonzentrationen werden durch die Aufbereitung deutlich verringert. Bis auf drei Meßwerte liegen sie im Reinwasser unterhalb des Grenzwertes von $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

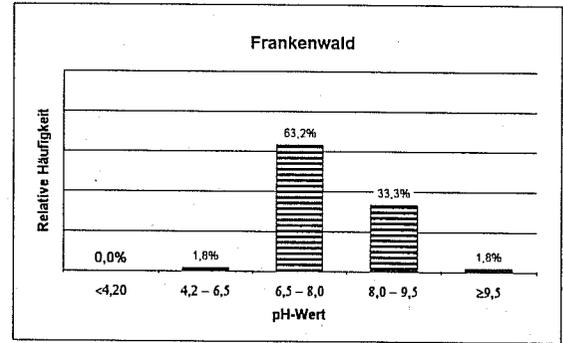
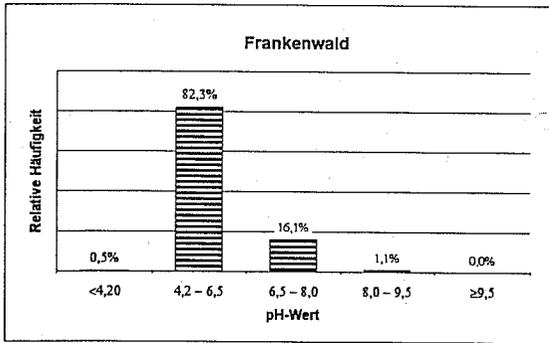
Tab. 59: Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers, Region Frankenwald

Region: Frankenwald									
Landkreise:		Coburg, Hof, Kronach, Kulmbach							
Rohwasser					Reinwasser				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,53	4,19	8,16	52	pH-Wert	7,35	6,30	9,81	15
Delta-pH	-2,33	-0,10	-3,96	52	Delta-pH	-1,01	-0,06	-1,94	8
pHc	8,27	7,56	9,40	52	pHc	8,36	8,11	8,82	8
Temp.	8,0	4,2	14,9	52	Temp.	7,7	3,6	10,8	15
LF	172	35	530	52	LF	203	66	465	15
O2	9,8	1,2	12,0	52	O2	10,4	6,1	11,9	15
°dH	3,4	0,4	12,3	52	°dH	4,9	1,8	9,2	15
Calcitlösek.	38,8	1,2	97,4	52	Calcitlösek.	9,0	2,7	23,2	8
KS4,3	0,35	-0,01	2,55	52	KS4,3	0,86	0,27	1,44	15
KB8,2	0,39	0,01	1,04	52	KB8,2	0,08	0,00	0,22	9
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	11,3	4,3	25,0	52	SiO2	13,2	7,4	22,0	15
SPAK254	1,2	0,2	5,0	52	SPAK254	1,4	0,2	3,6	15
TOC	1,0	0,0	2,7	52	TOC	1,0	0,4	5,3	15
Kationen					Kationen				
Ca	15,4	2,1	54,0	52	Ca	23,7	8,7	44,0	15
Mg	5,5	0,5	21,0	52	Mg	6,8	0,7	24,0	15
Na	6,7	2,0	51,0	52	Na	7,0	2,1	51,0	15
K	1,4	0,2	9,0	52	K	1,4	0,3	4,2	15
Fe	0,16	n.n.	14,50	52	Fe	0,13	n.n.	3,69	15
Mn	0,04	n.n.	0,68	52	Mn	0,03	n.n.	0,33	15
Al	0,10	n.n.	1,22	52	Al	0,05	n.n.	0,34	15
Cd	0,0002	n.n.	0,0140	52	Cd	0,0003	n.n.	0,0060	15
Zn	0,020	n.n.	0,390	52	Zn	0,010	n.n.	0,290	15
Cu	0,006	n.n.	0,390	52	Cu	0,001	n.n.	0,011	15
NH4	0,04	n.n.	1,10	52	NH4	0,03	n.n.	0,15	15
Anionen					Anionen				
Cl	12,4	1,4	105,0	52	Cl	12,2	1,6	71,0	15
F	0,05	n.n.	0,4	52	F	0,06	n.n.	0,0	15
SO4	24,8	3,5	54,4	52	SO4	23,6	4,5	54,3	15
NO3	12,9	0,1	70,0	52	NO3	12,6	0,4	32,2	15
NO2	0,04	n.n.	2,59	52	NO2	0,05	n.n.	1,05	15
PO4	0,07	n.n.	3,68	52	PO4	0,04	n.n.	0,49	15

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

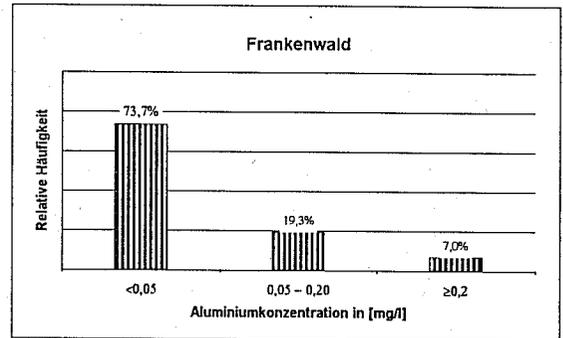
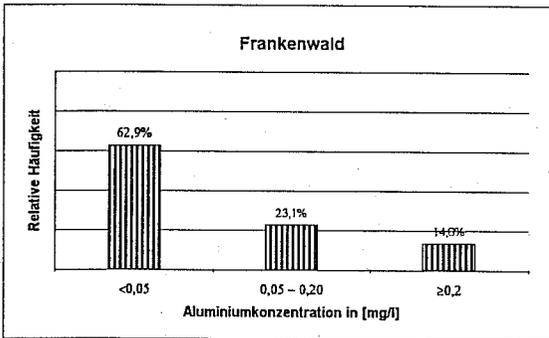
Rohwasser

Reinwasser



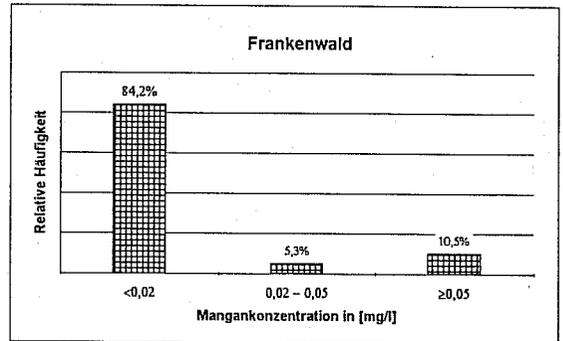
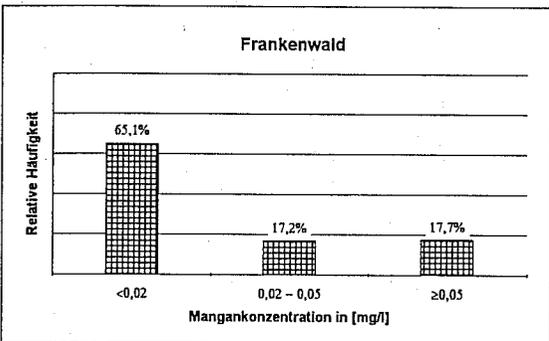
a)

b)



c)

d)



e)

f)

Abb. 23: Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Frankenwald im hydrologischen Jahr 1989. Die Klassengrenzen für den pH-Wert orientieren sich nach folgenden Kriterien: pH 4,2 Definierter Beginn des Aluminium-Puffers, pH 6,5 und 9,5 Grenzwerte der TrinkwV, pH 8,0 Obere Grenze, für die in der TrinkwV eine Entsäuerung bis zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gefordert ist, d.h. $pH = pH_C$. (Bei der Verwendung von Faserzementwerkstoffen muß auch im Bereich von pH 8,0 - 9,5 der pH-Wert des Reinwassers gleich dem pH-Wert der Calcitsättigung entsprechen.) Für Aluminium und Mangan orientieren sich die Klassen an EG-Richtwerten und Grenzwerten der TrinkwV.

Tab. 60: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5021 der Wasserversorgung 502

Kennnummer: 5021		Region: Frankenwald														
Rohwasserdaten		Landkreis: Hof														
Hydrologisches Jahr:	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	6,63	6,26	6,81	5	6,48	5,96	6,78	12	6,32	6,02	6,62	6	6,35	6,03	6,59	6
Delta-pH	-1,95	-1,84	-2,11	4	-2,18	-1,85	-3,16	12	-2,43	-2,00	-2,80	6	-2,41	-2,03	-2,69	5
pHc-Wert	8,66	8,49	8,92	4	8,66	8,36	9,13	12	8,75	8,62	8,89	6	8,76	8,58	8,93	5
Temp.	7,3	6,1	8,1	5	7,5	6,1	9,5	12	6,5	5,1	7,8	6	7,1	5,1	10,8	6
LF	63	54	70	5	67	51	74	12	73	65	100	6	71	59	106	6
O2	10,5	10,2	11,0	5	10,2	9,1	10,8	12	10,5	10,1	10,8	6	10,5	9,6	11,1	6
°dH	1,6	1,4	1,7	5	1,6	1,3	1,8	12	1,4	1,2	1,7	6	1,4	1,2	1,7	6
Calcitiösek.	24,3	15,0	30,1	4	26,0	17,1	38,5	12	26,4	16,0	32,4	6	26,8	17,9	36,1	5
KS4.3	0,35	0,22	0,44	5	0,34	0,12	0,44	12	0,24	0,10	0,37	6	0,26	0,18	0,43	6
KB8.2	0,23	0,13	0,29	4	0,25	0,15	0,38	12	0,25	0,14	0,31	6	0,25	0,16	0,35	5
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	7,8	7,0	8,8	5	7,8	6,4	9,3	12	8,3	7,1	9,5	6	8,6	7,0	9,5	6
SPAK254	0,7	0,2	1,2	5	0,9	0,2	2,2	12	1,9	1,2	3,6	6	0,8	0,2	1,6	6
TOC	0,7	0,3	1,3	5	0,6	0,3	1,6	12	0,4	0,1	1,2	6	0,4	n.n.	1,2	6
Ca	8,1	6,9	9,0	5	8,1	6,4	9,2	12	6,7	5,7	8,5	6	6,7	5,4	8,6	6
Mg	1,9	1,7	2,0	5	2,1	1,7	2,6	12	2,0	1,7	2,1	6	1,9	1,7	2,1	6
Na	2,6	2,4	22,0	5	2,7	2,1	28,0	12	2,8	1,7	32,0	6	3,3	2,4	26,0	6
K	0,8	0,7	0,9	5	0,7	0,5	1,1	12	0,8	0,7	0,9	6	0,8	0,7	0,8	5
Fe	0,05	0,01	0,12	5	0,02	n.n.	0,04	12	0,02	n.n.	0,03	6	0,01	n.n.	0,02	6
Mn	0,03	0,01	0,10	5	0,05	0,01	0,17	12	0,04	n.n.	0,17	6	0,01	n.n.	0,03	6
Al	0,07	n.n.	0,21	5	0,12	n.n.	0,67	12	0,13	n.n.	0,62	6	0,01	n.n.	0,08	6
Cd	0,0001	n.n.	0,0004	5	0,0001	n.n.	0,0003	12	0,0001	n.n.	0,0004	6	0,0001	n.n.	0,0002	6
Zn	0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,02	6	0,03	n.n.	0,17	6
Cu	n.n.	n.n.	0,001	5	0,001	n.n.	0,008	12	0,001	n.n.	0,002	6	0,001	n.n.	0,003	6
NH4	0,06	n.n.	0,16	5	0,07	n.n.	0,26	12	0,04	n.n.	0,11	6	0,01	n.n.	0,04	5
Cl	2,4	2,2	2,5	5	2,3	1,9	2,7	12	6,7	2,1	11,7	6	8,0	1,0	12,0	6
F	n.n.	n.n.	0,1	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	0,1	6	0,1	n.n.	0,5	6
SO4	7,7	6,3	10,4	5	7,9	6,1	11,9	12	6,1	2,0	13,4	6	3,8	2,2	8,3	6
NO3	4,4	3,9	5,1	5	4,5	3,5	6,3	12	5,0	4,1	6,8	6	4,9	4,5	5,3	6
NO2	0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,04	12	n.n.	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6
PO4	0,13	n.n.	0,60	5	0,07	0,01	0,48	12	0,03	n.n.	0,09	6	0,04	n.n.	0,11	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 61: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5022 der Wasserversorgung 502

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl														
		6,37	6,25	6,52	5	6,19	6,06	6,40	12	6,41	6,16	6,72	6	6,38	6,01	6,90	6	6,38	6,01	6,90	6	6,38	6,01	6,90
pH-Wert	-2,22	-2,08	-2,40	4	-2,48	-2,28	-2,92	12	-2,28	-2,00	-2,70	6	-2,33	-1,95	-2,71	5	-2,33	-1,95	-2,71	5	-2,33	-1,95	-2,71	5
Delta-pH	8,61	8,41	8,70	4	8,68	8,44	9,02	12	8,68	8,60	8,87	6	8,68	8,40	8,86	5	8,68	8,40	8,86	5	8,68	8,40	8,86	5
pHc-Wert	6,8	5,3	7,9	5	7,4	6,2	9,2	12	6,7	5,4	8,2	6	7,1	5,7	9,8	6	7,1	5,7	9,8	6	7,1	5,7	9,8	6
Temp.	59	53	63	5	66	1	79	12	85	68	134	6	78	67	109	6	78	67	109	6	78	67	109	6
LF	10,2	9,9	10,6	5	10,4	10,0	10,9	12	10,6	10,3	10,7	6	10,4	10,2	10,8	6	10,4	10,2	10,8	6	10,4	10,2	10,8	6
O2	1,3	1,2	1,4	5	1,4	1,2	1,9	12	1,5	1,4	1,6	6	1,5	1,2	1,8	6	1,5	1,2	1,8	6	1,5	1,2	1,8	6
°dH	32,7	26,5	43,6	4	30,3	17,1	42,7	12	27,0	20,8	34,2	6	25,9	15,0	37,7	5	25,9	15,0	37,7	5	25,9	15,0	37,7	5
Calcitfösek.	0,24	0,18	0,28	5	0,20	0,17	0,29	12	0,29	0,16	0,46	6	0,31	0,13	0,44	6	0,31	0,13	0,44	6	0,31	0,13	0,44	6
KS4.3	0,32	0,25	0,43	4	0,29	0,15	0,42	12	0,26	0,19	0,33	6	0,24	0,13	0,37	5	0,24	0,13	0,37	5	0,24	0,13	0,37	5
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
KS8.2	8,5	7,6	9,2	5	8,4	7,3	9,1	12	8,5	7,2	9,2	6	8,3	6,8	9,3	6	8,3	6,8	9,3	6	8,3	6,8	9,3	6
SiO2	0,8	0,4	1,8	5	0,6	0,2	1,4	12	1,6	0,2	3,6	6	1,4	0,4	3,0	6	1,4	0,4	3,0	6	1,4	0,4	3,0	6
SPAK254	0,4	0,2	0,5	5	0,4	0,2	0,8	12	0,4	0,2	0,6	6	0,7	0,2	1,3	6	0,7	0,2	1,3	6	0,7	0,2	1,3	6
TOC	6,4	5,5	6,9	5	6,7	5,3	9,8	12	7,4	6,2	8,5	6	7,6	6,0	9,1	6	7,6	6,0	9,1	6	7,6	6,0	9,1	6
Ca	1,9	1,8	2,1	5	2,1	1,8	2,6	12	2,1	2,0	2,4	6	1,9	1,7	2,2	6	1,9	1,7	2,2	6	1,9	1,7	2,2	6
Mg	3,4	3,0	22,0	5	3,6	2,4	28,0	12	3,2	2,5	32,0	6	2,8	1,9	26,0	6	2,8	1,9	26,0	6	2,8	1,9	26,0	6
Na	0,8	0,8	0,9	5	0,8	0,6	1,1	12	0,8	0,7	0,9	6	0,7	0,6	0,8	6	0,7	0,6	0,8	6	0,7	0,6	0,8	6
K	0,02	0,01	0,04	5	0,02	n.n.	0,05	12	0,02	0,01	0,05	6	0,02	0,01	0,03	6	0,02	0,01	0,03	6	0,02	0,01	0,03	6
Fe	0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,04	12	0,01	n.n.	0,04	6	0,07	n.n.	0,25	6	0,07	n.n.	0,25	6	0,07	n.n.	0,25	6
Mn	0,01	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	0,02	12	0,03	n.n.	0,12	6	0,08	n.n.	0,49	6	0,08	n.n.	0,49	6	0,08	n.n.	0,49	6
Al	0,0001	n.n.	0,0002	5	0,0001	n.n.	0,0004	12	0,0001	n.n.	0,0002	6												
Cd	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6
Zn	n.n.	n.n.	0,001	5	n.n.	n.n.	0,003	12	0,002	n.n.	0,009	6	0,001	n.n.	0,002	6	0,001	n.n.	0,002	6	0,001	n.n.	0,002	6
Cu	0,08	0,01	0,27	5	0,06	n.n.	0,22	12	0,01	n.n.	0,03	6	0,01	n.n.	0,04	5	0,01	n.n.	0,04	5	0,01	n.n.	0,04	5
NH4	8,1	6,7	11,3	5	11,0	6,1	14,0	12	7,0	1,9	12,0	6	3,1	1,9	7,8	6	3,1	1,9	7,8	6	3,1	1,9	7,8	6
Cl	n.n.	n.n.	0,2	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	0,1	6
F	3,4	2,2	4,4	5	3,3	1,8	5,4	12	5,8	2,6	8,9	6	7,2	4,0	10,5	6	7,2	4,0	10,5	6	7,2	4,0	10,5	6
SO4	4,3	3,7	4,8	5	4,6	3,5	5,4	12	4,6	3,9	6,4	6	4,4	3,7	6,1	6	4,4	3,7	6,1	6	4,4	3,7	6,1	6
NO3	0,01	n.n.	0,03	5	0,01	n.n.	0,06	12	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6
NO2	0,03	n.n.	0,07	5	0,07	n.n.	0,45	12	0,01	n.n.	0,07	6	0,03	n.n.	0,04	6	0,03	n.n.	0,04	6	0,03	n.n.	0,04	6
PO4																								

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 62: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5051 der Wasserversorgung 505

Hydrologisches Jahr:	1989			1990			1991			1992		
	Mittel	Min	Max									
	Anzahl											
pH-Wert	5,63	5,27	5,76	5,71	5,45	5,89	5,75	5,70	5,84	5,89	5,60	6,00
Delta-pH	-2,94	-2,69	-3,37	-2,86	-2,67	-3,20	-2,77	-2,70	-2,83	-2,58	-2,41	-2,68
pHc-Wert	8,67	8,42	9,13	8,57	8,41	8,67	8,54	8,41	8,65	8,53	8,39	8,65
Temp.	7,4	5,7	8,2	6,5	5,7	7,5	6,1	5,3	7,1	6,3	5,6	7,1
LF	66	43	110	63	57	73	62	60	66	59	56	63
O2	11,0	10,3	11,6	11,1	10,2	12,8	10,0	8,7	11,2	10,9	10,5	11,3
°dH	1,0	0,9	1,1	1,0	0,8	1,2	1,0	0,9	1,1	0,9	0,8	1,0
Calcitlösek.	37,7	19,2	48,5	40,8	37,2	44,8	42,1	37,2	48,6	44,1	37,3	52,3
KS4.3	0,07	0,02	0,08	0,10	0,04	0,27	0,15	0,07	0,43	0,09	0,08	0,11
KB8.2	0,37	0,17	0,48	0,40	0,36	0,44	0,41	0,36	0,48	0,43	0,36	0,52
KS8.2	n.b.											
SiO2	13,7	13,0	14,0	13,9	13,0	15,0	13,0	11,3	15,5	14,5	13,0	17,0
SPAK254	2,2	0,4	5,0	1,0	0,4	3,2	4,1	0,6	10,0	1,7	0,6	3,0
TOC	1,1	0,4	2,5	0,7	0,4	1,7	0,7	0,2	1,2	0,7	0,3	1,0
Ca	4,6	4,0	5,0	4,6	3,9	5,2	4,5	4,1	5,1	4,3	3,8	4,7
Mg	1,5	1,3	1,9	1,7	1,3	2,1	1,5	1,3	1,7	1,4	1,2	1,7
Na	4,4	4,2	22,0	4,3	4,0	28,0	4,4	4,3	32,0	4,4	4,3	26,0
K	1,4	1,2	1,6	1,2	1,1	1,4	1,2	1,1	1,4	1,2	1,2	1,3
Fe	0,06	n.n.	0,22	0,08	n.n.	0,42	0,01	n.n.	0,02	0,02	0,01	0,04
Mn	0,02	n.n.	0,05	0,01	n.n.	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	0,19	0,03	0,68	0,09	n.n.	0,40	0,06	n.n.	0,11	0,08	0,05	0,12
Cd	0,0002	n.n.	0,0005	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002
Zn	0,01	n.n.	0,02	0,03	n.n.	0,11	0,04	n.n.	0,08	0,07	0,03	0,12
Cu	n.n.	n.n.	0,001	0,002	n.n.	0,006	0,002	n.n.	0,008	0,003	0,001	0,005
NH4	0,09	n.n.	0,32	0,03	n.n.	0,13	0,01	n.n.	0,03	0,02	n.n.	0,07
Cl	3,1	2,8	3,5	2,9	2,7	3,2	3,0	2,7	3,2	2,9	2,8	3,0
F	0,2	0,1	0,2	0,1	n.n.	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
SO4	13,8	11,4	18,5	13,4	9,0	17,4	14,1	12,1	15,8	13,0	12,1	14,2
NO3	7,0	5,8	8,9	6,9	6,0	8,1	6,4	5,5	7,4	6,0	5,1	7,1
NO2	0,01	n.n.	0,04	n.n.	n.n.	0,02	0,01	n.n.	0,02	0,01	n.n.	0,03
PO4	0,12	0,01	0,45	0,09	n.n.	0,69	0,04	n.n.	0,06	0,04	n.n.	0,06

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 63: Beschaffenheitsdaten der Probenahmeestelle 5059 der Wasserversorgung 505

Kennnummer: 5059 Reinwasserdaten		Region: Frankenwald Landkreis: Hof										
		1989		1990		1991		1992				
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	8,20	7,92	8,62	5	8,27	7,58	8,87	12	8,71	8,23	8,99	6
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	-1,21	-0,96	-1,51	5	n.b.	n.b.	n.b.	0
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,07	9,00	9,12	5	n.b.	n.b.	n.b.	0
Temp.	6,7	5,2	7,9	5	6,3	5,6	7,1	12	6,1	5,3	7,1	6
LF	93	66	124	5	86	72	103	12	88	86	92	6
O2	11,5	11,0	11,6	5	11,4	10,5	13,1	12	10,2	8,7	11,6	5
°dH	1,9	1,8	2,1	5	2,0	1,7	2,4	12	1,9	1,9	2,1	6
Calcitiöse.	n.b.	n.b.	n.b.	0	5,4	4,3	6,4	5	n.b.	n.b.	n.b.	0
KS4.3	0,38	0,36	0,43	5	0,39	0,34	0,47	12	0,41	0,37	0,46	6
KB8.2	0,00	0,00	0,00	1	0,02	0,00	0,04	8	n.b.	n.b.	n.b.	0
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,00	0,00	0,00	1
SiO2	13,7	13,0	14,0	5	15,2	14,0	17,0	12	14,1	11,3	19,0	6
SPAK254	1,4	0,4	3,0	5	1,2	0,4	3,6	12	3,0	0,6	11,4	6
TOC	0,9	0,5	1,3	5	0,7	0,4	1,6	12	0,5	0,3	0,9	6
Ca	11,3	10,4	12,0	5	11,4	9,9	14,0	12	11,3	11,0	12,0	6
Mg	1,5	1,3	2,0	5	1,6	1,3	2,1	12	1,6	1,4	1,8	6
Na	4,4	4,2	22,0	5	4,4	4,0	28,0	12	4,4	4,3	32,0	6
K	1,3	1,2	1,4	5	1,5	1,1	4,8	12	1,2	1,1	1,4	6
Fe	0,01	n.n.	0,03	5	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,01	6
Mn	0,02	0,01	0,04	5	0,01	0,01	0,03	12	0,01	n.n.	0,01	6
Al	0,08	0,03	0,21	5	0,09	0,04	0,36	12	0,05	n.n.	0,11	6
Cd	0,0001	n.n.	0,0003	5	0,0001	n.n.	0,0002	12	0,0001	n.n.	0,0001	6
Zn	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,03	12	n.n.	n.n.	n.n.	6
Cu	0,001	n.n.	0,003	5	0,001	n.n.	0,002	12	0,001	n.n.	0,001	6
NH4	0,12	n.n.	0,32	5	0,02	n.n.	0,10	12	n.n.	n.n.	0,02	6
Cl	3,0	2,8	3,5	5	2,9	2,7	3,3	12	3,0	2,7	3,2	6
F	0,2	0,1	0,2	5	0,2	0,1	0,2	12	0,1	0,1	0,2	6
SO4	13,5	11,1	16,7	5	13,8	11,5	17,5	12	14,0	12,2	16,1	6
NO3	6,6	5,8	7,8	5	6,9	6,0	8,1	12	6,5	5,8	7,4	6
NO2	0,03	n.n.	0,09	5	0,01	n.n.	0,05	12	0,01	n.n.	0,05	6
PO4	0,18	0,02	0,49	5	0,10	n.n.	0,69	12	0,05	0,02	0,07	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KB8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 64: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5161 der Wasserversorgung 516

Kennnummer: 5161 Rohwasserdaten		Region: Frankenwald Landkreis: Hof										
		1989		1990		1991		1992				
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,62	5,49	5,71	4	5,65	5,45	5,83	12	5,71	5,59	5,80	6
Delta-pH	-3,10	-2,95	-3,33	3	-3,01	-2,81	-3,45	12	-2,99	-2,85	-3,17	5
pHc-Wert	8,77	8,61	9,05	3	8,67	8,29	9,02	12	8,69	8,59	8,77	5
Temp.	6,9	5,0	8,0	4	6,7	5,6	8,0	12	6,3	5,3	7,9	6
LF	94	72	142	4	76	72	97	12	74	72	77	6
O2	10,6	10,3	10,7	4	10,3	9,0	11,1	12	9,8	8,5	11,4	4
°dH	1,4	1,2	1,8	4	1,3	1,2	1,5	12	1,3	1,2	1,4	6
Calcitfösek.	32,8	23,0	38,1	3	36,2	23,9	50,0	12	36,1	33,4	41,0	5
KS4.3	0,05	0,03	0,07	4	0,12	0,05	0,46	12	0,06	0,05	0,07	5
KB8.2	0,31	0,21	0,37	3	0,35	0,22	0,50	12	0,35	0,32	0,40	6
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	9,9	9,5	10,2	4	9,8	9,2	11,0	12	9,2	7,8	11,0	6
SPAK254	0,9	0,4	1,4	4	0,5	0,4	0,8	12	1,3	0,4	3,0	6
TOC	1,1	0,8	1,4	4	0,6	0,3	1,0	12	0,5	0,3	1,0	6
Ca	5,1	4,4	6,2	4	4,7	4,2	5,6	12	4,7	4,4	5,1	6
Mg	3,1	2,6	4,1	4	2,9	2,4	3,2	12	2,8	2,6	3,0	6
Na	4,5	4,0	22,0	4	4,2	3,9	28,0	12	4,2	4,1	32,0	6
K	1,2	1,1	1,3	4	1,1	0,9	1,3	12	1,1	1,0	1,2	6
Fe	0,02	0,01	0,02	4	0,01	n.n.	0,06	12	0,01	n.n.	0,01	6
Mn	0,03	0,01	0,05	4	0,02	0,01	0,04	12	0,02	0,01	0,03	6
Al	0,14	0,02	0,26	4	0,08	n.n.	0,27	12	0,04	n.n.	0,16	6
Cd	0,0001	n.n.	0,0002	4	0,0001	n.n.	0,0002	12	0,0002	0,0001	0,0002	6
Zn	0,03	n.n.	0,05	4	0,05	n.n.	0,11	12	0,04	n.n.	0,11	6
Cu	0,001	n.n.	0,001	4	0,001	n.n.	0,002	12	0,001	n.n.	0,001	6
NH4	0,04	n.n.	0,10	4	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,02	6
Cl	7,6	5,7	11,6	4	6,8	6,1	7,2	12	7,0	5,8	8,1	6
F	n.n.	n.n.	0,1	4	n.n.	n.n.	0,1	12	0,1	n.n.	0,1	6
SO4	13,6	11,4	15,0	4	12,7	10,7	14,8	12	13,3	11,4	15,7	6
NO3	8,9	8,7	9,3	4	9,2	8,5	10,6	12	8,6	6,6	10,2	6
NO2	n.n.	n.n.	0,01	4	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,02	6
PO4	0,01	n.n.	0,01	4	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	n.n.	6

(alle Werte in mg/l), Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 65: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5169 der Wasserversorgung 516

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl				
	Reinwasserdaten																							
pH-Wert	7,90	7,62	8,14	4	7,78	6,80	8,49	12	8,43	8,09	8,61	6	8,41	8,11	8,75	5	8,41	8,11	8,75	5				
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,91	-0,26	-1,87	12	-0,37	-0,28	-0,65	4	-0,63	-0,63	-0,63	1	-0,63	-0,63	-0,63	1				
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,68	8,50	8,85	12	8,72	8,69	8,74	4	8,74	8,74	8,74	1	8,74	8,74	8,74	1				
Temp.	7,1	5,2	8,9	4	7,1	5,6	12,7	12	6,3	5,2	7,8	6	6,4	5,6	7,8	5	6,4	5,6	7,8	5				
LF	147	121	192	4	126	111	145	12	130	127	133	6	109	14	145	5	109	14	145	5				
O2	11,0	10,6	11,2	4	10,9	8,4	12,3	12	10,0	8,8	11,5	4	10,7	9,9	11,6	3	10,7	9,9	11,6	3				
°dH	3,5	2,9	4,1	4	3,2	2,8	4,1	12	3,4	3,1	3,6	6	3,3	3,0	3,6	5	3,3	3,0	3,6	5				
Calcitlösek.	n.b.	n.b.	n.b.	0	6,0	-1,7	13,7	12	1,4	0,8	2,9	4	3,9	3,9	3,9	1	3,9	3,9	3,9	1				
KS4.3	0,73	0,69	0,79	4	0,68	0,52	0,85	12	0,76	0,71	0,79	6	0,80	0,70	0,93	5	0,80	0,70	0,93	5				
KB8.2	0,00	0,00	0,00	1	0,06	0,02	0,12	10	0,01	0,01	0,01	1	0,05	0,02	0,07	2	0,05	0,02	0,07	2				
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,03	0,02	0,04	2	0,01	0,01	0,01	3	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00	1				
SiO2	9,7	9,5	10,0	4	11,2	9,5	14,0	12	9,2	7,9	10,7	6	10,3	8,8	12,0	5	10,3	8,8	12,0	5				
SPAK254	0,9	0,4	1,8	4	0,6	0,4	0,8	12	1,5	0,4	3,2	6	0,9	0,6	1,2	5	0,9	0,6	1,2	5				
TOC	0,9	0,5	1,4	4	0,8	0,3	2,0	12	0,5	0,3	0,7	6	0,6	0,2	0,8	5	0,6	0,2	0,8	5				
Ca	19,8	16,7	23,0	4	18,3	15,0	24,0	12	19,3	17,0	21,0	6	19,0	17,0	21,0	5	19,0	17,0	21,0	5				
Mg	3,0	2,6	3,7	4	3,0	2,8	3,2	12	2,9	2,7	3,0	6	2,9	2,6	3,0	5	2,9	2,6	3,0	5				
Na	4,5	4,1	22,0	4	4,2	3,8	28,0	12	4,3	4,1	32,0	6	4,3	4,1	26,0	5	4,3	4,1	26,0	5				
K	1,2	1,1	1,3	4	1,1	0,9	1,3	12	1,1	1,0	1,2	6	1,1	1,0	1,2	5	1,1	1,0	1,2	5				
Fe	0,05	0,02	0,08	4	0,01	n.n.	0,07	12	0,01	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	5				
Mn	0,01	n.n.	0,01	4	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	5				
Al	0,05	0,03	0,08	4	0,03	n.n.	0,09	12	0,05	n.n.	0,20	6	0,08	0,05	0,14	5	0,08	0,05	0,14	5				
Cd	0,0002	0,0001	0,0002	4	0,0001	n.n.	0,0001	12	0,0001	n.n.	0,0001	6	0,0001	n.n.	0,0001	5	0,0001	n.n.	0,0001	5				
Zn	0,01	n.n.	0,01	4	0,01	n.n.	0,08	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	0,01	5				
Cu	0,001	n.n.	0,001	4	n.n.	n.n.	0,001	12	n.n.	n.n.	0,001	6	0,003	n.n.	0,015	5	0,003	n.n.	0,015	5				
NH4	0,01	n.n.	0,04	4	n.n.	n.n.	0,04	12	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,02	5				
Cl	7,3	5,7	10,0	4	6,9	6,1	7,7	12	7,0	5,8	7,7	6	7,4	6,6	8,7	5	7,4	6,6	8,7	5				
F	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,1	n.n.	0,1	12	0,1	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	0,1	5	n.n.	n.n.	0,1	5				
SO4	13,1	11,4	14,0	4	12,8	10,7	15,4	12	13,1	11,4	14,6	6	12,6	11,4	13,9	5	12,6	11,4	13,9	5				
NO3	8,5	7,3	8,9	4	9,2	8,5	10,6	12	8,5	6,6	10,2	6	9,0	7,8	10,6	5	9,0	7,8	10,6	5				
NO2	0,03	n.n.	0,07	4	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,04	6	0,01	n.n.	0,06	5	0,01	n.n.	0,06	5				
PO4	0,01	0,01	0,02	4	n.n.	n.n.	0,03	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	0,01	n.n.	0,03	5	0,01	n.n.	0,03	5				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 66: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5191 der Wasserversorgung 519

Hydrologisches Jahr:		1989					1990					1991					1992				
		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
	Kennnummer: 5191	Region: Frankenwald																			
	Rohwasserdaten	Landkreis: Hof																			
pH-Wert		5,39	5,07	5,62	5	5,50	5,31	5,58	12	5,52	5,48	5,55	8	5,53	5,35	5,71	6				
Delta-pH		-3,01	-2,84	-3,16	4	-2,92	-2,82	-3,09	12	-2,89	-2,82	-2,99	7	-2,77	-2,49	-2,99	6				
pHc-Wert		8,49	8,29	8,79	4	8,42	8,32	8,52	12	8,41	8,36	8,47	7	8,30	7,98	8,45	6				
Temp.		7,0	5,7	8,0	5	6,3	5,7	7,0	12	6,0	5,3	7,0	8	6,2	5,4	7,0	6				
LF		66	35	132	5	46	42	60	12	43	40	46	8	43	42	45	6				
O2		10,2	9,8	10,5	5	10,4	9,1	12,1	12	9,7	8,0	11,3	7	9,7	9,0	10,2	4				
°dH		0,5	0,5	0,7	5	0,5	0,4	0,6	12	0,5	0,4	0,5	8	0,5	0,5	0,5	6				
Calcititösek.		48,1	33,5	59,8	4	52,0	45,8	59,9	12	53,5	48,7	56,2	7	60,8	50,6	88,2	6				
KS4.3		0,05	0,00	0,06	5	0,06	0,02	0,10	12	0,06	0,05	0,07	7	0,10	0,06	0,19	6				
KB8.2		0,48	0,32	0,60	4	0,52	0,45	0,60	12	0,55	0,48	0,65	8	0,61	0,50	0,92	6				
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2		12,8	12,0	13,0	5	13,4	12,0	17,0	12	11,9	9,5	13,4	8	13,7	12,0	15,0	6				
SPAK254		1,2	0,2	2,2	5	0,7	0,2	1,4	12	1,9	0,4	5,8	8	0,7	0,2	1,6	6				
TOC		0,9	0,5	1,6	5	0,6	0,3	1,0	12	0,5	0,3	0,7	8	0,9	0,2	2,6	6				
Ca		2,5	2,3	3,1	5	2,3	2,2	2,7	12	2,4	1,5	2,6	8	2,5	2,3	2,7	6				
Mg		0,7	0,6	1,3	5	0,6	0,5	0,9	12	0,7	0,6	1,0	8	0,6	0,6	0,7	6				
Na		4,3	4,0	22,0	5	4,3	3,9	28,0	12	4,2	3,1	32,0	8	4,4	4,3	26,0	6				
K		1,1	1,0	1,2	5	1,0	0,9	1,1	12	1,0	0,7	1,1	8	1,0	1,0	1,1	6				
Fe		0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,04	12	0,01	n.n.	0,03	8	n.n.	n.n.	0,01	6				
Mn		0,02	0,01	0,06	5	0,01	n.n.	0,02	12	0,01	0,01	0,02	8	0,01	n.n.	0,02	6				
Al		0,30	0,03	1,22	5	0,10	n.n.	0,60	12	0,11	n.n.	0,31	8	0,09	n.n.	0,20	6				
Cd		0,0003	n.n.	0,0008	5	0,0001	n.n.	0,0002	12	0,0002	n.n.	0,0004	8	0,0001	0,0001	0,0001	6				
Zn		0,02	n.n.	0,03	5	0,08	0,01	0,70	12	0,11	0,02	0,51	8	0,05	0,02	0,10	6				
Cu		0,006	n.n.	0,023	5	0,001	n.n.	0,004	12	0,005	0,001	0,015	8	0,004	0,001	0,011	6				
NH4		0,01	n.n.	0,04	5	0,01	n.n.	0,07	12	0,01	n.n.	0,04	8	0,01	n.n.	0,04	5				
Cl		2,5	2,3	2,7	5	2,6	2,5	2,8	12	2,6	2,4	2,8	8	9,3	2,5	43,0	6				
F		0,1	n.n.	0,2	5	0,1	n.n.	0,2	12	0,1	n.n.	0,1	8	0,1	n.n.	0,3	6				
SO4		7,9	6,2	13,8	5	7,1	6,1	9,5	12	7,0	6,2	7,6	8	8,1	6,4	12,6	6				
NO3		6,4	5,0	9,7	5	6,5	5,2	10,7	12	6,4	5,4	7,0	8	6,3	3,9	7,5	6				
NO2		0,01	n.n.	0,03	5	0,01	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,02	8	0,01	n.n.	0,02	6				
PO4		0,02	n.n.	0,05	5	0,03	n.n.	0,06	12	0,02	n.n.	0,05	8	0,03	n.n.	0,05	6				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 67: Beschaffenheitsdaten der Probenahmeestelle 5199 der Wasserversorgung 519

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl		
	pH-Wert	7,13	6,73	7,49	5	7,87	12	8,31	8,01	8,43	8	8,24	8,01	8,43	8	8,26	8,00	8,48	6	8,26	8,00	8,48	6	
Delta-pH	-1,34	-1,17	-1,62	4	-0,68	8	-1,57	-0,04	-0,32	6	-0,20	-0,04	-0,32	6	-0,17	0,02	-0,35	2	-0,17	0,02	-0,35	2		
pHc-Wert	8,39	8,35	8,48	4	8,37	8	8,49	8,33	8,47	6	8,42	8,33	8,47	6	8,41	8,35	8,46	2	8,41	8,35	8,46	2		
Temp.	7,5	5,9	8,7	5	6,5	12	7,4	5,5	7,6	8	6,3	5,5	7,6	8	6,3	5,4	7,3	6	6,3	5,4	7,3	6		
LF	145	90	313	5	129	12	139	118	144	8	129	118	144	8	133	126	149	6	133	126	149	6		
O2	10,2	9,8	10,7	5	10,4	12	11,9	8,2	11,6	7	10,0	8,2	11,6	7	10,1	8,5	11,5	4	10,1	8,5	11,5	4		
°dH	3,0	2,2	3,9	5	3,5	11	4,1	3,4	3,8	8	3,6	3,4	3,8	8	3,5	3,3	3,6	6	3,5	3,3	3,6	6		
Calcitiösesek.	16,6	8,3	26,6	4	9,1	8	23,0	0,3	6,8	6	2,4	0,3	6,8	6	3,7	0,4	6,9	2	3,7	0,4	6,9	2		
KS4.3	0,86	0,70	1,05	5	1,08	12	1,23	1,09	1,21	8	1,15	1,09	1,21	8	1,08	0,66	1,20	6	1,08	0,66	1,20	6		
KB8.2	0,16	0,07	0,26	4	0,06	12	0,22	0,02	0,06	3	0,03	0,02	0,06	3	0,02	0,00	0,06	3	0,02	0,00	0,06	3		
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,00	3	0,00	0,00	0,01	5	0,01	0,00	0,01	5	0,00	0,00	0,01	3	0,00	0,00	0,01	3		
SiO2	12,9	12,0	13,5	5	13,7	12	18,0	9,5	15,0	8	12,7	9,5	15,0	8	14,0	13,0	15,0	6	14,0	13,0	15,0	6		
SPAK254	0,9	0,2	1,8	5	0,7	12	1,4	0,4	5,4	8	1,7	0,4	5,4	8	0,8	0,4	1,8	6	0,8	0,4	1,8	6		
TOC	1,6	0,4	5,3	5	0,7	12	1,2	0,3	1,0	8	0,6	0,3	1,0	8	0,6	0,2	0,9	6	0,6	0,2	0,9	6		
Ca	20,3	14,7	26,0	5	24,4	12	28,0	24,0	26,0	8	24,8	24,0	26,0	8	24,2	23,0	25,0	6	24,2	23,0	25,0	6		
Mg	0,8	0,6	1,2	5	0,6	11	0,9	0,4	0,7	8	0,6	0,4	0,7	8	0,6	0,5	0,7	6	0,6	0,5	0,7	6		
Na	4,3	4,0	22,0	5	4,2	12	28,0	4,1	32,0	8	4,3	4,1	32,0	8	4,3	4,2	26,0	6	4,3	4,2	26,0	6		
K	1,1	1,0	1,2	5	1,0	12	1,2	0,9	1,1	8	1,0	0,9	1,1	8	1,0	1,0	1,0	6	1,0	1,0	1,0	6		
Fe	0,02	n.n.	0,05	5	0,03	12	0,29	n.n.	0,03	8	0,01	n.n.	0,03	8	0,02	n.n.	0,04	6	0,02	n.n.	0,04	6		
Mn	0,02	n.n.	0,06	5	n.n.	12	0,02	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	6		
Al	0,08	n.n.	0,34	5	0,04	12	0,11	n.n.	0,42	8	0,08	n.n.	0,42	8	0,07	0,05	0,15	6	0,07	0,05	0,15	6		
Cd	0,0003	n.n.	0,0011	5	n.n.	12	0,0001	n.n.	0,0002	8	0,0001	n.n.	0,0002	8	0,0001	n.n.	0,0001	6	0,0001	n.n.	0,0001	6		
Zn	n.n.	n.n.	0,02	5	0,32	12	2,70	0,05	0,14	8	0,09	0,05	0,14	8	0,09	0,06	0,12	6	0,09	0,06	0,12	6		
Cu	0,001	n.n.	0,002	5	n.n.	12	0,001	n.n.	0,004	8	0,001	n.n.	0,004	8	0,001	n.n.	0,003	6	0,001	n.n.	0,003	6		
NH4	0,01	n.n.	0,04	5	0,01	12	0,08	n.n.	0,08	8	0,01	n.n.	0,08	8	0,01	n.n.	0,08	6	0,01	n.n.	0,08	6		
Cl	2,4	2,2	2,6	5	2,5	12	2,9	2,2	2,8	8	2,4	2,2	2,8	8	9,3	2,1	43,0	6	9,3	2,1	43,0	6		
F	n.n.	n.n.	0,1	5	0,1	12	0,2	n.n.	0,1	8	0,1	n.n.	0,1	8	0,1	n.n.	0,1	6	0,1	n.n.	0,1	6		
SO4	6,4	5,1	9,8	5	6,6	12	9,8	5,1	7,1	8	6,2	5,1	7,1	8	7,4	4,8	12,2	6	7,4	4,8	12,2	6		
NO3	5,4	4,6	6,5	5	6,0	12	8,2	3,8	7,0	8	5,4	3,8	7,0	8	5,7	3,9	7,6	6	5,7	3,9	7,6	6		
NO2	0,22	n.n.	1,05	5	0,03	12	0,13	n.n.	0,12	8	0,03	n.n.	0,12	8	0,01	n.n.	0,04	6	0,01	n.n.	0,04	6		
PO4	0,02	n.n.	0,03	5	0,03	12	0,08	n.n.	0,06	8	0,03	n.n.	0,06	8	0,04	0,02	0,06	6	0,04	0,02	0,06	6		

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 68: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5302 der Wasserversorgung 530

Hydrologisches Jahr:	Region: Frankенwald Landkreis: Kronach															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,26	5,12	5,44	5	5,24	4,94	5,47	12	5,32	5,03	5,43	6	5,29	4,62	5,74	6
Delta-pH	-3,17	-2,92	-3,47	4	-3,29	-2,98	-4,11	12	-3,22	-3,09	-3,45	6	-3,36	-2,83	-3,97	5
pHc-Wert	8,46	8,36	8,59	4	8,53	8,33	9,26	12	8,54	8,48	8,64	6	8,62	8,37	8,84	5
Temp.	10,0	6,8	12,3	5	9,0	6,3	11,8	12	8,2	5,2	12,1	6	9,4	6,6	14,2	6
LF	124	82	170	5	108	96	191	12	104	96	126	6	107	94	145	6
O2	10,7	10,2	11,1	5	10,8	10,3	11,6	12	11,1	10,6	11,8	5	10,8	10,3	11,5	6
°dH	1,9	1,6	2,2	5	2,0	1,8	2,5	12	1,8	1,8	1,9	6	1,8	1,7	1,8	6
Calcitiösek.	42,1	36,8	47,3	4	40,8	16,1	49,2	12	40,4	37,1	45,7	6	36,6	26,5	47,3	5
KS4.3	0,02	0,01	0,04	5	0,03	0,00	0,07	12	0,03	0,01	0,04	6	0,04	0,01	0,06	6
KB8.2	0,42	0,36	0,47	4	0,40	0,14	0,49	12	0,40	0,36	0,45	6	0,36	0,25	0,47	5
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	9,5	9,3	10,0	5	9,3	8,5	9,8	12	9,6	8,1	10,8	6	9,5	8,6	10,3	6
SPAK254	1,5	0,8	2,6	5	1,6	1,0	2,6	12	3,9	1,2	7,0	6	1,6	0,8	3,8	6
TOC	1,3	1,0	1,8	5	1,3	0,8	2,0	12	1,3	0,7	1,8	6	1,1	0,7	1,7	6
Ca	9,1	7,3	10,5	5	9,2	8,2	11,0	12	8,5	8,3	8,7	6	8,4	7,8	8,6	6
Mg	3,0	2,6	3,4	5	3,1	2,6	4,0	12	2,9	2,5	3,3	6	2,7	2,3	2,9	6
Na	2,4	2,1	22,0	5	2,4	2,3	28,0	12	2,2	1,9	32,0	6	2,3	2,2	26,0	6
K	4,3	4,1	4,4	5	4,2	4,0	4,4	12	4,2	3,6	4,8	6	4,0	3,9	4,1	6
Fe	0,02	n.n.	0,04	5	0,06	0,01	0,42	12	0,02	n.n.	0,04	6	0,07	0,01	0,34	6
Mn	0,06	0,04	0,08	5	0,06	0,03	0,13	12	0,06	0,03	0,15	6	0,04	0,02	0,09	6
Al	0,21	0,10	0,35	5	0,21	0,11	0,54	12	0,20	0,10	0,54	6	0,19	0,10	0,35	6
Cd	0,0002	n.n.	0,0009	5	0,0002	0,0001	0,0003	12	0,0003	0,0001	0,0008	6	0,0001	0,0001	0,0002	6
Zh	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,01	12	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6
Cu	0,001	n.n.	0,001	5	0,001	n.n.	0,004	12	0,001	n.n.	0,003	6	0,003	0,001	0,009	6
NH4	0,24	n.n.	1,10	5	0,02	n.n.	0,07	12	0,05	n.n.	0,15	6	0,03	n.n.	0,09	6
Cl	3,8	3,5	4,1	5	3,8	3,4	4,2	12	3,7	3,5	3,9	6	3,7	3,5	3,9	6
F	0,1	0,1	0,1	5	0,1	n.n.	0,2	12	0,1	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	0,1	6
SO4	35,0	31,9	38,3	5	35,1	30,7	39,8	12	35,8	32,6	43,5	6	32,4	30,5	33,7	6
NO3	0,6	0,5	0,6	3	0,4	0,1	0,6	11	0,7	0,4	0,9	4	0,5	0,2	0,9	6
NO2	n.n.	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,02	6
PO4	0,04	0,01	0,08	5	0,05	0,02	0,11	12	0,06	n.n.	0,21	6	0,12	n.n.	0,55	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KS4,3, KB8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 69: Beschaffenheitsdaten der Probenahmeestelle 5309 der Wasserversorgung 530

Hydrologisches Jahr:		1989						1990						1991						1992					
		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl				
pH-Wert		8,90	8,73	9,13	5	8,93	8,52	9,63	12	8,94	8,30	9,34	6	9,08	8,42	9,91	6	9,08	8,42	9,91	6				
Delta-pH		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,69	-0,69	-0,69	1	-0,69	-0,69	-0,69	1				
pHc-Wert		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,11	9,11	9,11	1	9,11	9,11	9,11	1				
Temp.		9,1	6,8	11,4	5	8,4	6,0	11,8	12	7,7	5,0	11,6	6	9,2	5,7	15,4	6	9,2	5,7	15,4	6				
LF		153	102	191	5	145	130	156	12	145	133	158	6	139	134	146	6	139	134	146	6				
O2		10,8	10,3	11,1	5	10,9	10,3	11,7	12	11,1	10,5	11,8	5	10,8	10,3	11,7	6	10,8	10,3	11,7	6				
°dH		4,3	3,8	4,6	5	4,2	3,3	4,8	12	3,9	3,4	4,7	6	3,6	3,5	4,0	6	3,6	3,5	4,0	6				
Calcitiöse.		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	-4,0	-4,0	-4,0	1	-4,0	-4,0	-4,0	1				
KS4.3		0,79	0,71	0,88	5	0,72	0,61	0,81	12	0,70	0,56	0,84	6	0,67	0,55	0,75	6	0,67	0,55	0,75	6				
KB8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,07	0,07	0,07	1	0,07	0,07	0,07	1				
SiO2		9,3	8,6	10,0	5	8,7	7,3	9,8	12	9,4	9,0	10,2	6	9,0	7,9	10,5	6	9,0	7,9	10,5	6				
SPAK254		1,5	0,8	2,6	5	1,5	1,0	2,4	12	2,8	1,0	4,0	6	1,8	1,0	3,4	6	1,8	1,0	3,4	6				
TOC		1,3	0,9	1,8	5	1,2	0,8	1,8	12	1,2	0,7	1,9	6	1,1	0,6	2,0	6	1,1	0,6	2,0	6				
Ca		18,8	16,0	22,0	5	17,8	11,0	22,0	12	17,2	14,0	21,0	6	14,3	9,7	18,0	6	14,3	9,7	18,0	6				
Mg		7,2	5,9	8,3	5	7,3	5,6	9,6	12	6,4	5,1	7,6	6	7,2	5,6	9,3	6	7,2	5,6	9,3	6				
Na		2,4	2,1	2,2	5	2,4	2,2	28,0	12	2,2	1,9	32,0	6	2,3	2,2	26,0	6	2,3	2,2	26,0	6				
K		4,2	4,1	4,3	5	4,2	4,0	4,5	12	4,2	3,6	4,7	6	4,0	3,8	4,4	6	4,0	3,8	4,4	6				
Fe		0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,01	6				
Mn		n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	n.n.	0,08	12	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6				
Al		0,03	0,01	0,05	5	0,03	n.n.	0,08	12	0,05	n.n.	0,14	6	0,04	n.n.	0,06	6	0,04	n.n.	0,06	6				
Cd		0,0012	n.n.	0,0060	5	n.n.	n.n.	0,0001	12	0,0003	0,0001	0,0006	6	n.n.	n.n.	0,0001	6	n.n.	n.n.	0,0001	6				
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	6				
Cu		0,001	n.n.	0,001	5	0,001	n.n.	0,002	12	0,001	n.n.	0,001	6	0,001	n.n.	0,003	6	0,001	n.n.	0,003	6				
NH4		0,03	n.n.	0,08	5	0,05	n.n.	0,19	12	0,01	n.n.	0,05	6	0,03	n.n.	0,10	6	0,03	n.n.	0,10	6				
Cl		3,8	3,6	4,0	5	3,8	3,4	4,2	12	3,7	3,7	3,8	6	3,8	3,5	4,1	6	3,8	3,5	4,1	6				
F		0,1	0,1	0,1	5	0,1	n.n.	0,2	12	0,1	n.n.	0,2	6	0,1	n.n.	0,1	6	0,1	n.n.	0,1	6				
SO4		35,2	32,5	38,8	5	34,8	30,5	39,4	12	36,0	32,8	42,1	6	32,6	30,5	34,2	6	32,6	30,5	34,2	6				
NO3		0,6	0,5	0,6	4	0,4	0,1	0,7	12	0,5	0,3	0,8	5	0,5	0,3	0,9	6	0,5	0,3	0,9	6				
NO2		n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6				
PO4		0,08	n.n.	0,20	5	0,04	0,01	0,10	12	0,05	n.n.	0,13	6	0,06	0,04	0,08	6	0,06	0,04	0,08	6				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 70: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5311 der Wasserversorgung 531

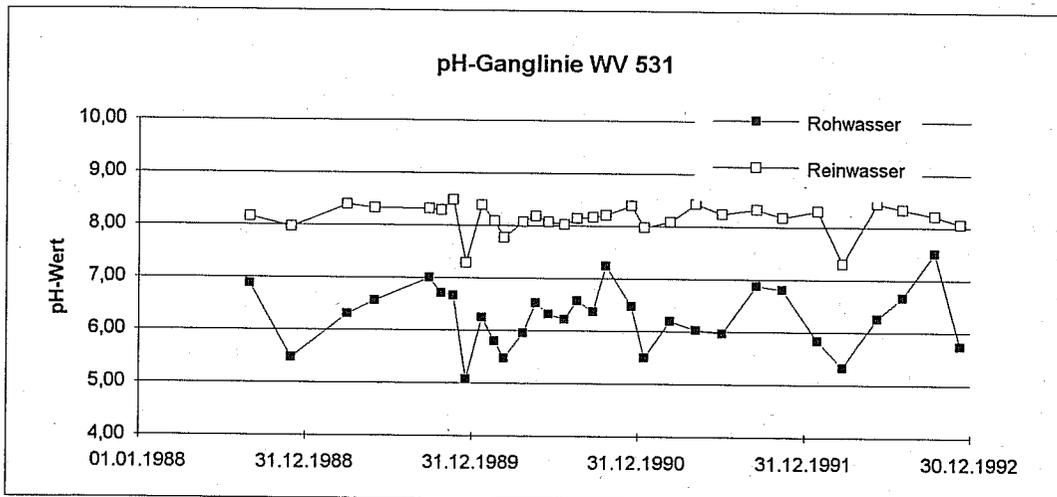
Hydrologisches Jahr:	Region: Frankенwald Landkreis: Hof											
	1989			1990			1991			1992		
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	6,41	5,47	7,00	5	6,20	5,07	7,24	12	6,17	5,49	6,87	6
Delta-pH	-2,29	-1,97	-2,65	4	-2,61	-1,70	-4,10	12	-2,75	-1,98	-3,29	6
pHc-Wert	8,94	8,82	8,99	4	8,82	8,42	9,18	12	8,92	8,64	9,27	6
Temp.	8,1	5,8	10,6	5	8,1	5,6	10,4	12	6,5	4,6	10,1	6
LF	187	165	224	5	190	159	208	12	217	188	256	6
O2	11,2	10,6	11,7	5	11,1	10,1	11,7	12	11,5	10,7	12,1	6
°dH	3,6	3,4	4,0	5	3,7	3,2	4,4	12	3,5	2,9	3,9	6
Calcitibsek.	13,7	7,9	19,6	4	20,7	9,0	38,6	12	19,4	10,9	31,1	6
KS4.3	0,17	0,02	0,30	5	0,16	0,02	0,33	12	0,14	0,02	0,39	6
KB8.2	0,12	0,06	0,18	4	0,19	0,07	0,38	12	0,18	0,09	0,30	6
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	10,6	9,4	12,0	5	10,1	8,2	12,0	12	10,3	9,6	10,9	6
SPAK254	1,7	0,4	2,6	5	2,6	1,0	6,6	12	3,5	1,6	6,0	6
TOC	1,2	0,8	2,3	5	1,6	0,7	4,4	12	1,1	0,4	1,8	6
Ca	14,8	13,5	15,4	5	15,8	14,0	26,0	12	14,0	13,0	16,0	6
Mg	6,7	5,5	7,9	5	6,6	2,7	8,8	12	6,8	4,6	7,7	6
Na	13,8	11,9	22,0	5	13,1	8,8	28,0	12	15,3	8,4	32,0	6
K	1,1	1,0	1,4	5	1,1	0,9	2,1	12	1,0	0,9	1,1	6
Fe	0,03	0,01	0,04	5	0,03	0,01	0,09	12	0,03	0,02	0,04	6
Mn	0,06	0,03	0,16	5	0,07	0,01	0,25	12	0,08	0,04	0,14	6
Al	0,10	n.n.	0,32	5	0,11	n.n.	0,58	12	0,09	n.n.	0,26	6
Cd	n.n.	n.n.	0,0001	5	0,0001	n.n.	0,0004	12	0,0003	0,0001	0,0007	6
Zn	0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,01	6
Cu	0,001	n.n.	0,001	5	0,001	n.n.	0,002	12	0,001	0,001	0,002	6
NH4	0,06	0,01	0,14	5	0,11	n.n.	0,90	12	0,01	n.n.	0,03	6
Cl	28,8	26,0	35,0	5	28,9	23,0	36,0	12	29,3	17,0	35,0	6
F	n.n.	n.n.	0,1	5	n.n.	n.n.	0,2	12	n.n.	n.n.	0,1	6
SO4	33,1	29,4	38,2	5	36,0	27,7	48,0	12	37,3	24,8	50,8	6
NO3	8,7	7,4	11,5	5	8,5	6,0	11,7	12	8,8	4,1	11,1	6
NO2	n.n.	n.n.	0,01	5	0,14	n.n.	1,64	12	n.n.	n.n.	0,01	6
PO4	0,74	0,02	3,38	5	0,05	0,02	0,10	12	0,09	n.n.	0,34	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 in mmol/l)

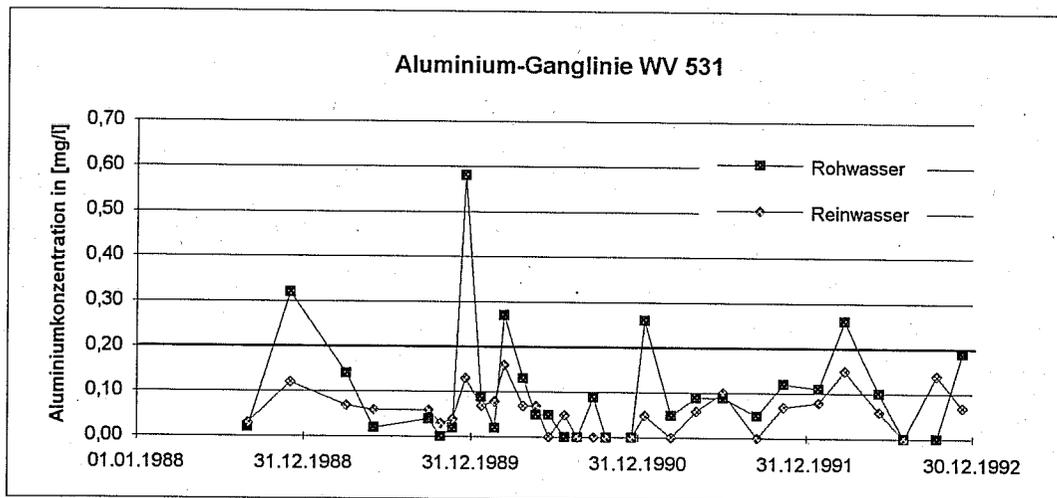
Tab. 71: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 5319 der Wasserversorgung 531

Kennnummer: 5319 Reinwasserdaten		Region: Frankenwald Landkreis: Hof											
		Hydrologisches Jahr: 1989		1990		1991		1992					
		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert		8,26	7,96	8,39	5	8,11	7,29	8,49	13	8,24	7,98	8,43	6
Delta-pH		n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,55	-0,16	-0,92	6	-0,59	-0,29	-0,76	4
pHc-Wert		n.b.	n.b.	n.b.	0	8,49	8,21	8,77	6	8,81	8,72	8,98	4
Temp.		7,7	5,4	9,4	5	7,5	5,3	10,2	13	6,4	4,5	9,4	6
LF		202	163	294	5	201	170	233	13	214	191	241	6
O2		10,9	10,4	11,9	5	11,3	10,5	12,3	13	11,5	10,5	12,0	6
°dH		5,1	3,3	8,0	5	4,8	3,8	6,0	13	4,7	4,1	5,9	6
Calcitlösek.		n.b.	n.b.	n.b.	0	12,0	0,8	39,6	6	1,5	-0,5	3,7	4
KS4.3		0,88	0,68	1,07	5	0,70	0,48	0,88	13	0,66	0,51	0,97	6
KB8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	0,10	0,00	0,40	7	0,02	0,01	0,02	2
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	0,00	0,01	2	0,01	0,00	0,02	3
SiO2		10,2	9,2	12,0	5	10,8	8,2	13,0	13	10,0	9,4	11,0	6
SPAK254		1,7	0,4	3,6	5	1,4	0,4	5,4	13	3,1	1,2	6,4	6
TOC		1,1	0,7	1,9	5	1,0	0,5	3,5	13	1,0	0,3	1,8	6
Ca		28,6	22,0	44,0	5	25,3	21,0	31,0	13	24,3	21,0	32,0	6
Mg		4,9	0,9	8,2	5	5,7	3,9	7,4	13	5,6	3,5	6,9	6
Na		9,2	1,9	22,0	5	11,0	8,2	28,0	13	12,4	6,0	32,0	6
K		1,1	0,6	1,4	5	1,0	0,9	1,4	13	1,0	0,7	1,3	6
Fe		0,03	0,01	0,07	5	0,02	0,01	0,07	13	0,01	n.n.	0,02	6
Mn		0,02	n.n.	0,07	5	0,04	n.n.	0,35	13	0,01	n.n.	0,01	6
Al		0,07	0,03	0,12	5	0,05	n.n.	0,16	13	0,04	n.n.	0,10	6
Cd		0,0001	n.n.	0,0006	5	0,0001	n.n.	0,0005	13	0,0002	0,0001	0,0003	6
Zn		0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,04	13	n.n.	n.n.	0,01	6
Cu		0,001	n.n.	0,001	5	0,001	n.n.	0,002	13	0,001	n.n.	0,001	6
NH4		0,48	0,02	2,19	5	0,06	n.n.	0,27	13	0,02	n.n.	0,06	6
Cl		20,9	16,5	32,0	5	22,0	13,0	38,0	13	25,1	9,8	37,0	6
F		n.n.	n.n.	0,1	5	n.n.	n.n.	0,1	13	n.n.	n.n.	n.n.	6
SO4		30,7	23,2	44,0	5	30,9	21,6	47,0	13	34,0	20,1	48,9	6
NO3		6,7	5,2	10,6	5	7,2	4,7	9,3	13	7,5	4,5	9,0	6
NO2		0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,04	13	0,01	n.n.	0,02	6
PO4		0,08	0,03	0,15	4	0,06	n.n.	0,28	13	0,09	n.n.	0,21	6

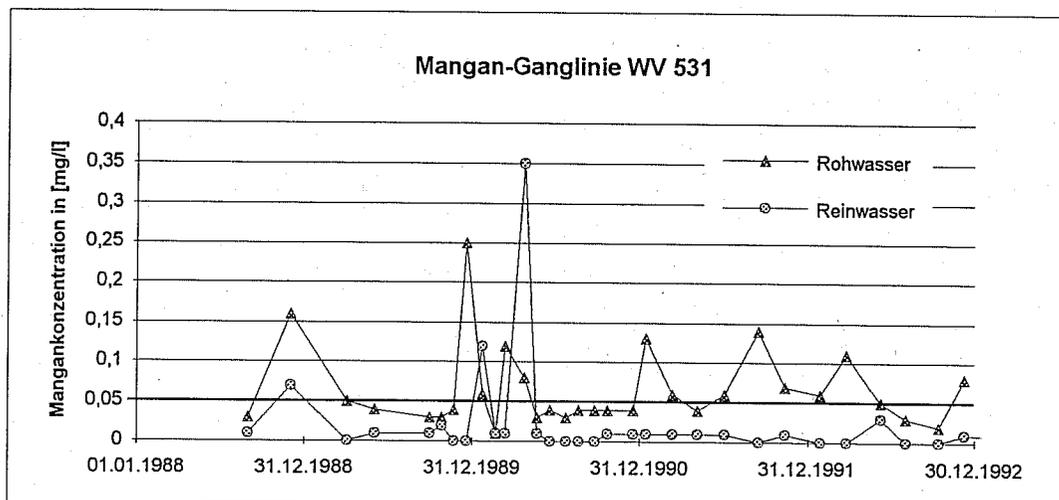
(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)



a)



b)



c)

Abb. 24: Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Frankenwald

4.3 Region Fichtelgebirge

4.3.1 Situation der Wasserversorgungen Region Fichtelgebirge/Steinwald

Die geogenen Lösungsinhalte der Grundwässer in der Region Fichtelgebirge/Steinwald sind geringer als die der Region Frankenstein. Entsprechend sind die untersuchten Rohwässer sehr gering mineralisiert mit einer mittleren Härte von $1,8^{\circ}\text{dH}$ (Summe der Erdalkalitionen $0,32 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), was nach dem Waschmittelgesetz dem Härtebereich 1 entspricht. Der hohe Gehalt an überschüssigem Kohlendioxid (max. $70 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) führt zu einem über die Region gemittelten Calcitlösevermögen von $38,6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

In Tabelle 72 sind die Gebietsmittelwerte sowie der Minimal- bzw. Maximalwert für 31 ausgewählte Parameter der Roh- und Reinwasserbeschaffenheit dargestellt.

Die Häufigkeitsverteilung der pH-Werte von 170 Rohwasseranalysen (Abb. 25a) zeigt, daß bei 93,5% der nach TrinkwV geforderte pH-Wert von mindestens 6,5 nicht erreicht wird. Diese Wässer müssen hinsichtlich des pH-Wertes aufbereitet werden. Im Reinwasser wurde bei immerhin noch 5,3% der Analysen ($n = 114$) ein pH-Wert unter 6,5 nachgewiesen. Der obere Grenzwert von 9,5 wurde nicht erreicht. Bei den 78,1% der Reinwässer mit einem zulässigen pH-Wert zwischen 6,5 und 8,0 muß laut TrinkwV ein Delta-pH-Wert von 0,2 pH-Einheiten eingehalten werden, bei Verwendung von Faserzementwerkstoffen im Versorgungsnetz sogar im gesamten zulässigen pH-Bereich von 6,5 bis 9,5. Der regionale Mittelwert des Parameters Delta-pH-Wert beträgt dagegen 1,03 pH-Einheiten. Er verdeutlicht die erheblichen Mängel in der Entsäuerungsleistung.

Die Häufigkeitsverteilungen zeigen für Aluminium und Mangan im Rohwasser (Abb. 25c und 25e) erhebliche Überschreitungen der Grenzwerte. Sie erfordern ebenfalls eine Aufbereitung. So wird bei 43,5% der Rohwasseranalysen der EG-Richtwert für Aluminium und bei 32,9% der EG-Richtwert für Mangan überschritten.

Grenzwertüberschreitungen im Rohwasser ergaben sich bei 25,3% der Analysen bezüglich Aluminium und bei 22,9% bezüglich Mangan. Durch die mangelhafte Entsäuerungsleistung etlicher Anlagen wird bei 9,6% der Reinwasseranalysen der Aluminiumgrenzwert von $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ überschritten. Ähnlich wie in der Region Frankenwald liegen die Mangankonzentrationen bei 9,6% der Analysen über dem Grenzwert.

Für 11 intensiv beprobte Anlagen wurde für Roh- und Reinwasser die mittleren Konzentrationen sowie der im hydrologischen Jahr gemessene Minimal- und Maximalwert zusammengestellt (Tab. 73 - 94).

Abbildung 26b zeigt, wie dramatisch sich die Aluminiumkonzentration im Rohwasser und parallel dazu verlaufend die Mangankonzentration während eines hydrologischen Jahres ändern kann. Abbildung 26a dokumentiert die Entsäuerungsleistung dieser Anlage. Erwähnenswert ist, daß bei den hier gemessenen hohen Aluminium- und Mangankonzentrationen die Eliminierung durch die Entsäuerungsanlage bemerkenswert gut funktioniert.

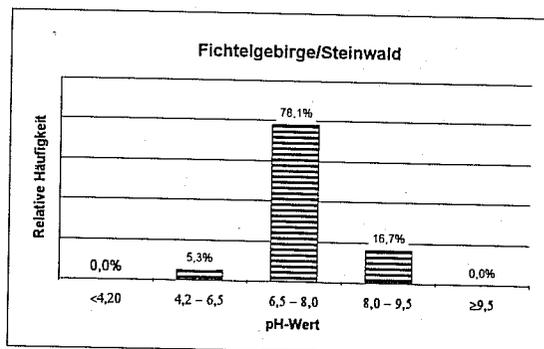
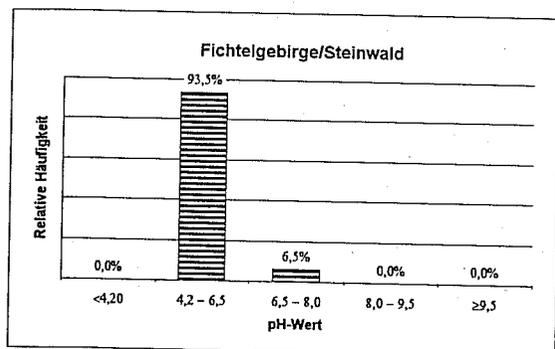
Tab. 72: Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers,
Region Fichtelgebirge/Steinwald

Region: Fichtelgebirge/Steinwald									
Landkreise:		Bayreuth, Tirschenreuth, Wunsiedel							
Rohwasser					Reinwasser				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,49	4,21	8,00	60	pH-Wert	6,79	5,20	8,70	39
Delta-pH	-2,75	-0,75	-4,29	60	Delta-pH	-1,03	0,12	-3,62	30
pHc	8,43	7,57	9,69	60	pHc	8,27	7,87	9,64	30
Temp.	7,1	3,0	13,1	60	Temp.	7,2	3,4	12,5	39
LF	105	26,2	547	60	LF	169	54	426	39
O2	10,2	4,6	13,1	60	O2	10,5	5,5	13,1	39
°dH	1,8	0,2	7,2	60	°dH	4,4	1,6	10,6	39
Calcitlösek.	38,6	3,9	136,8	60	Calcitlösek.	12,6	2,9	47,1	30
KS4,3	0,19	-0,01	1,36	60	KS4,3	1,01	0,08	1,85	39
KB8,2	0,38	0,00	1,60	60	KB8,2	0,10	0,00	0,49	38
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	KS8,2	0,00	0,00	0,00	0
SiO2	14,2	5,5	55,0	60	SiO2	13,2	5,7	32,0	39
SPAK254	1,2	0,1	9,6	60	SPAK254	1,2	0,2	9,0	39
TOC	0,7	0,1	3,1	60	TOC	0,6	0,2	2,7	39
Kationen					Kationen				
Ca	8,6	1,2	40,0	60	Ca	25,2	3,0	53,4	39
Mg	2,8	0,3	9,8	60	Mg	3,8	0,4	23,0	39
Na	6,0	1,4	51,0	60	Na	7,0	2,1	51,0	15
K	1,4	0,4	3,8	60	K	1,4	0,3	4,2	15
Fe	0,03	n.n.	0,62	60	Fe	0,01	n.n.	0,12	39
Mn	0,03	n.n.	0,49	60	Mn	0,01	n.n.	0,14	39
Al	0,22	n.n.	5,50	60	Al	0,07	n.n.	0,73	39
Cd	0,0002	n.n.	0,0014	60	Cd	0,0001	n.n.	0,0010	39
Zn	0,0003	n.n.	0,020	60	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	39
Cu	0,002	n.n.	0,037	60	Cu	0,001	n.n.	0,040	39
NH4	0,02	n.n.	0,14	60	NH4	0,03	n.n.	0,17	39
Anionen					Anionen				
Cl	7,4	0,9	48,0	60	Cl	7,2	0,9	40,0	39
F	0,1	n.n.	0,9	60	F	0,1	n.n.	0,9	39
SO4	16,4	1,2	118,2	60	SO4	15,4	0,8	68,2	39
NO3	9,0	0,1	55,4	60	NO3	9,1	0,3	52,3	39
NO2	0,02	n.n.	0,13	60	NO2	0,02	n.n.	0,13	39
PO4	0,06	n.n.	0,34	60	PO4	0,07	n.n.	0,86	39

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

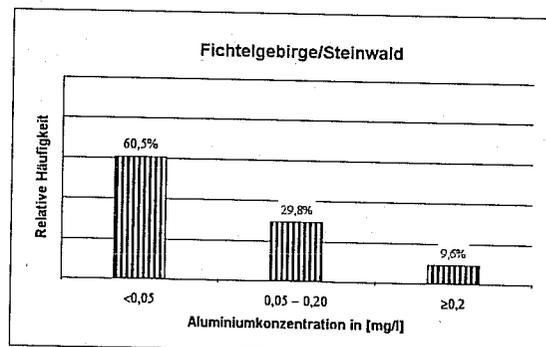
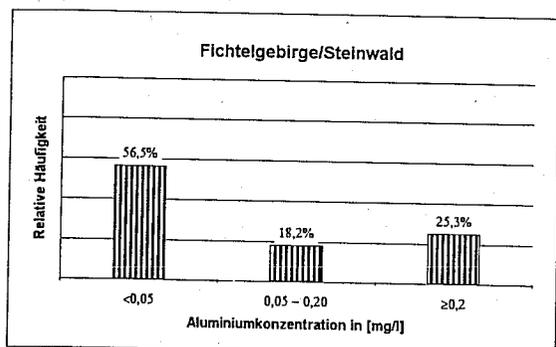
Rohwasser

Reinwasser



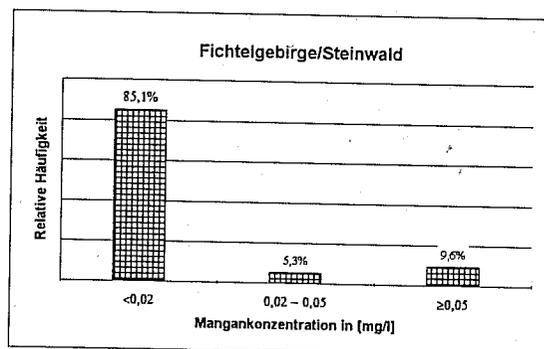
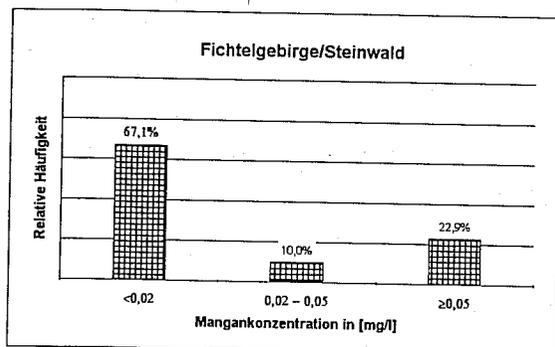
a)

b)



c)

d)



e)

f)

Abb. 25: Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Fichtelgebirge im hydrologischen Jahr 1989. Die Klassengrenzen für den pH-Wert orientieren sich nach folgenden Kriterien: pH 4,2 Definierter Beginn des Aluminium-Puffers, pH 6,5 und 9,5 Grenzwerte der TrinkwV, pH 8,0 Obere Grenze, für die in der TrinkwV eine Entsäuerung bis zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gefordert ist, d.h. $pH = pH_C$. (Bei der Verwendung von Faserzementwerkstoffen muß auch im Bereich von pH 8,0 - 9,5 der pH-Wert des Reinwassers gleich dem pH-Wert der Calcitsättigung entsprechen.) Für Aluminium und Mangan orientieren sich die Klassen an EG-Richtwerten und Grenzwerten der TrinkwV.

Tab. 73: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3024 der Wasserversorgung 302

Hydrologisches Jahr:	Region: Fichtelgebirge/Steinwald											
	Landkreis: Wunsiedel											
	1989			1990			1991			1992		
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	5,34	4,30	5,56	8
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	-2,84	-2,04	-4,21	8
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,19	7,55	8,52	8
Temp.	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	6,2	5,4	7,4	8
LF	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	130	86	162	8
O2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,3	7,0	10,7	7
°dH	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,2	1,8	2,4	8
Calcitlösek.	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	66,9	40,8	142,6	8
KS4.3	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,13	0,06	0,54	8
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,70	0,40	1,64	8
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	14,8	13,0	16,0	8
SPAK254	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,4	0,6	4,8	8
TOC	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,8	0,5	1,4	8
Ca	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	11,4	9,5	13,0	8
Mg	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	2,5	2,2	2,7	8
Na	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	9,0	7,8	14,0	8
K	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	1,7	1,5	1,9	8
Fe	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,01	8
Mn	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,05	0,03	0,14	8
Al	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,31	0,15	0,56	8
Cd	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,0003	0,0002	0,0005	8
Zn	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,02	8
Cu	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,001	n.n.	0,001	8
NH4	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,03	8
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	10,8	9,0	12,0	8
F	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,4	0,2	0,5	8
SO4	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	39,8	33,5	51,5	8
NO3	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,1	2,4	3,9	8
NO2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,01	n.n.	0,04	8
PO4	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,04	n.n.	0,11	8

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 74: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3029 der Wasserversorgung 302

Kennnummer: 3029 Reinwasserdaten		Region: Fichtelgebirge/Steinwald Landkreis: Wunsiedel										
		1989		1990		1991		1992				
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	7,42	7,06	7,90	3	7,60	7,21	7,88	12	7,82	6,50	8,16	8
Delta-pH	-0,50	-0,11	-0,88	2	-0,47	-0,18	-1,07	12	-0,30	0,02	-1,47	8
pHc-Wert	7,98	7,94	8,01	2	8,08	7,91	8,53	12	8,12	7,97	8,22	8
Temp.	6,2	5,7	6,9	3	6,9	5,5	8,9	12	6,4	5,4	8,7	8
LF	302	235	360	3	246	143	400	12	225	151	316	8
O2	9,8	9,6	10,2	3	10,4	9,6	11,5	12	9,7	7,9	10,9	7
°dH	7,4	6,0	8,6	3	6,7	1,9	8,5	12	6,3	5,4	8,1	8
Calcitlösek.	12,4	8,1	16,8	2	10,2	3,4	18,4	12	8,1	1,9	26,9	8
KS4.3	1,42	1,30	1,48	3	1,47	1,26	1,63	12	1,40	1,32	1,56	8
KB8.2	0,15	0,10	0,20	2	0,12	0,05	0,20	12	0,09	0,02	0,30	8
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	13,7	13,0	15,0	3	14,3	12,0	16,0	11	15,0	13,0	16,0	8
SPAK254	1,4	0,6	2,2	3	1,3	0,4	2,8	12	2,5	0,4	4,4	8
TOC	0,8	0,7	0,9	3	1,0	0,6	1,8	11	0,8	0,4	1,6	8
Ca	47,5	39,0	53,4	3	42,4	6,2	53,0	12	40,5	35,0	52,0	8
Mg	3,6	2,3	4,9	3	3,5	2,4	4,9	12	2,7	2,3	3,8	8
Na	10,8	8,5	16,3	3	10,7	7,7	14,5	12	9,6	8,0	14,0	8
K	1,9	1,6	2,2	3	1,8	1,4	2,3	12	1,7	1,5	2,2	8
Fe	n.n.	n.n.	0,01	3	0,01	n.n.	0,02	12	0,13	n.n.	1,00	8
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	n.n.	8
Al	0,07	0,05	0,09	3	0,06	n.n.	0,10	12	0,06	n.n.	0,16	8
Cd	0,0002	0,0001	0,0002	3	0,0001	n.n.	0,0003	12	0,0001	n.n.	0,0002	8
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,05	n.n.	0,12	12	0,03	0,01	0,07	8
Cu	0,001	n.n.	0,001	3	0,001	n.n.	0,004	12	n.n.	n.n.	0,001	8
NH4	0,02	n.n.	0,05	3	0,03	n.n.	0,14	11	0,01	n.n.	0,03	8
Cl	15,1	9,4	19,0	3	16,6	9,3	31,0	12	11,7	9,3	20,0	8
F	0,4	0,2	0,5	3	0,4	n.n.	0,9	12	0,4	0,3	0,5	8
SO4	52,4	33,9	68,2	3	50,4	31,4	75,0	12	41,7	33,5	61,6	8
NO3	3,5	2,7	4,2	3	3,7	2,3	6,3	12	3,1	2,3	4,1	8
NO2	0,03	0,01	0,03	3	0,01	n.n.	0,05	11	0,02	n.n.	0,06	8
PO4	0,04	0,02	0,06	3	0,03	n.n.	0,12	11	0,01	n.n.	0,07	8

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 75: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3031 der Wasserversorgung 303

Kennnummer: 3031 Rohwasserdaten		Region: Fichtelgebirge/Steinwald Landkreis: Wunsiedel											
		1989			1990			1991			1992		
Hydrologisches Jahr:		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert		4,97	4,87	5,10	3	5,10	4,50	5,44	12	5,01	4,00	5,42	6
Delta-pH		-3,32	-3,28	-3,39	3	-3,25	-2,66	-3,85	12	-3,23	-2,91	-4,05	6
pHc-Wert		8,30	8,25	8,38	3	8,35	8,05	8,96	12	8,24	7,90	8,44	6
Temp.		5,5	4,9	6,5	3	7,1	5,1	9,3	12	6,6	4,5	9,0	6
LF		140	134	148	3	102	8	150	12	118	87	138	6
O2		10,5	10,1	11,1	3	10,4	9,6	11,0	11	10,1	9,3	10,7	6
°dH		2,5	2,4	2,7	3	2,2	1,7	2,6	12	2,0	1,4	2,5	6
Calcitlösek.		56,5	50,2	59,6	3	53,9	21,6	77,6	12	62,9	46,6	94,8	6
KS4.3		0,01	0,01	0,02	3	0,02	0,00	0,07	12	0,02	0,01	0,03	6
KB8.2		0,57	0,50	0,60	3	0,54	0,20	0,80	12	0,64	0,46	1,00	6
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2		17,3	17,0	18,0	3	18,5	15,0	20,0	11	18,7	16,0	20,0	6
SPAK254		1,5	0,8	2,0	3	2,1	1,2	3,6	12	4,3	2,4	6,6	6
TOC		1,9	1,8	2,1	3	1,9	1,3	2,9	11	1,8	0,8	2,8	6
Ca		12,6	12,0	13,4	3	11,1	8,4	14,0	12	10,4	7,1	13,0	6
Mg		3,2	3,1	3,4	3	2,8	2,3	3,1	12	2,6	1,9	3,0	6
Na		5,0	4,9	16,3	3	5,2	4,5	14,5	12	5,4	4,9	14,0	6
K		1,6	1,6	1,7	3	1,6	1,1	2,1	12	1,7	1,4	1,9	6
Fe		0,01	0,01	0,01	3	0,03	n.n.	0,23	12	0,01	n.n.	0,02	6
Mn		0,40	0,35	0,49	3	0,31	0,01	0,63	12	0,31	0,16	0,61	6
Al		1,87	1,60	2,30	3	1,42	n.n.	2,90	12	1,49	0,81	2,80	6
Cd		0,0009	0,0008	0,0010	3	0,0007	0,0001	0,0013	12	0,0009	0,0005	0,0018	6
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	3	0,03	n.n.	0,04	12	0,02	0,01	0,03	6
Cu		0,001	0,001	0,001	3	0,001	n.n.	0,002	12	0,004	0,001	0,017	6
NH4		0,01	n.n.	0,03	3	0,06	n.n.	0,23	11	0,64	n.n.	3,35	6
Cl		3,3	3,2	3,3	3	3,7	3,0	4,8	12	3,6	3,0	4,6	6
F		0,8	0,8	0,9	3	0,8	0,5	1,1	12	0,7	n.n.	1,1	6
SO4		45,6	44,9	46,5	3	41,0	32,2	48,9	12	43,2	38,4	47,9	6
NO3		8,1	7,3	8,9	3	7,4	4,4	11,1	12	6,6	5,4	9,2	6
NO2		0,01	0,01	0,01	3	n.n.	n.n.	0,01	11	n.n.	n.n.	0,01	6
PO4		0,07	0,05	0,08	3	0,04	n.n.	0,08	11	0,23	0,02	0,92	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in immo/l/l)

Tab. 76: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3039 der Wasserversorgung 303

Hydrologisches Jahr:	1989					1990					1991					1992				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert	7,28	6,93	7,62	3	7,36	6,88	7,94	12	7,52	6,39	8,02	6	7,96	7,84	8,20	5				
Delta-pH	-0,94	-0,62	-1,11	3	-0,75	-0,19	-1,29	12	-0,64	-0,25	-1,64	6	-0,36	-0,27	-0,49	5				
pHc-Wert	8,23	8,05	8,39	3	8,12	8,02	8,20	12	8,16	7,97	8,31	6	8,32	8,22	8,47	5				
Temp.	5,3	4,5	6,3	3	6,9	4,5	9,7	12	6,7	4,4	9,7	6	6,8	4,9	9,7	5				
LF	224	208	241	3	189	122	252	12	206	140	245	6	235	191	261	5				
O2	10,3	10,1	10,8	3	10,4	9,4	11,1	12	10,1	9,5	10,6	6	10,2	8,8	11,2	5				
°dH	6,2	5,6	6,8	3	6,4	5,7	7,0	12	5,8	5,1	7,0	6	5,4	4,2	5,9	5				
Calcitiöse.	11,5	5,9	18,4	3	12,5	4,5	18,8	12	13,0	3,2	28,1	6	3,3	2,3	4,2	5				
KS4,3	1,05	0,90	1,18	3	1,18	1,06	1,30	12	1,17	1,06	1,23	6	1,16	1,03	1,36	5				
KB8,2	0,12	0,05	0,20	3	0,13	0,05	0,20	12	0,14	0,03	0,30	6	0,03	0,01	0,04	5				
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2	16,3	16,0	17,0	3	17,5	16,0	19,0	11	17,9	16,0	19,0	6	19,2	18,0	21,0	5				
SPAK254	1,5	0,8	2,2	3	2,5	1,3	5,8	12	4,7	2,6	7,6	6	2,4	1,0	4,2	5				
TOC	1,5	1,5	1,6	3	1,7	1,1	3,4	11	1,6	0,7	2,6	6	1,5	0,8	3,2	5				
Ca	38,8	34,4	43,0	3	41,0	36,0	44,0	12	36,5	32,0	45,0	6	32,2	26,0	37,0	5				
Mg	3,5	3,3	3,6	3	3,1	2,3	3,6	12	3,1	2,8	3,5	6	4,0	2,5	6,7	5				
Na	5,0	4,9	16,3	3	5,2	4,8	14,5	12	5,5	5,1	14,0	6	5,6	5,0	13,1	5				
K	1,6	1,6	1,7	3	1,6	1,2	2,1	12	1,7	1,5	1,9	6	1,6	1,4	1,7	5				
Fe	0,00	n.n.	0,01	3	0,01	n.n.	0,02	12	0,00	n.n.	0,01	6	0,00	n.n.	0,01	5				
Mn	0,06	0,01	0,12	3	0,02	n.n.	0,07	12	0,01	n.n.	0,03	6	0,02	n.n.	0,10	5				
Al	0,16	0,08	0,27	3	0,11	0,06	0,19	12	0,07	n.n.	0,13	6	0,12	0,05	0,22	5				
Cd	0,0002	0,0001	0,0003	3	0,0002	n.n.	0,0014	12	0,0001	n.n.	0,0003	6	0,0001	n.n.	0,0004	5				
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,01	n.n.	0,02	12	0,00	n.n.	0,01	6	0,00	n.n.	0,01	5				
Cu	0,000	n.n.	0,001	3	0,001	n.n.	0,002	12	0,001	n.n.	0,002	6	0,001	n.n.	0,001	5				
NH4	0,00	n.n.	0,01	3	0,03	n.n.	0,12	11	0,06	n.n.	0,17	6	0,10	n.n.	0,43	5				
Cl	3,6	3,3	4,1	3	3,9	3,0	5,4	12	4,2	3,4	6,3	6	12,9	3,3	36,0	5				
F	0,8	0,8	0,9	3	0,8	0,4	1,1	12	0,6	n.n.	1,1	6	0,7	0,3	1,2	5				
SO4	45,2	43,2	46,5	3	40,1	31,3	46,9	12	40,3	30,3	44,8	6	32,5	15,4	47,6	5				
NO3	8,5	8,0	8,9	3	8,1	4,4	12,6	12	8,5	5,8	12,0	6	14,0	7,9	27,1	5				
NO2	0,02	0,01	0,03	3	0,01	n.n.	0,03	11	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	5				
PO4	0,02	0,01	0,02	3	0,02	n.n.	0,09	11	0,11	n.n.	0,58	6	0,33	0,03	0,89	5				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 77: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3091 der Wasserversorgung 309

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl		
pH-Wert	4,89	4,48	5,40	4	5,37	4,88	7,02	11	4,96	4,19	5,29	6	5,07	4,88	5,25	4								
Delta-pH	-3,59	-3,42	-3,84	3	-3,24	-1,81	-4,03	11	-3,41	-3,02	-4,01	6	-3,50	-3,32	-3,71	4								
pHc-Wert	8,58	8,32	8,82	3	8,61	8,09	9,13	11	8,38	7,80	8,66	6	8,57	8,44	8,71	4								
Temp.	5,2	4,4	6,1	4	6,7	5,4	8,1	11	5,9	5,3	6,8	6	5,9	5,2	6,8	4								
LF	76	69	85	4	69	42	148	11	53	40	62	6	65	60	67	4								
O2	10,3	10,0	10,6	4	10,1	9,5	11,1	11	10,2	9,8	10,4	5	10,3	10,0	10,6	4								
°dH	1,0	0,9	1,1	4	0,9	0,7	1,4	11	0,7	0,6	0,8	6	0,8	0,7	0,8	4								
Calcitiöse.	44,1	31,5	59,9	3	43,0	22,1	77,9	11	59,7	39,2	111,4	6	44,4	37,3	51,5	4								
KS4.3	0,01	-0,01	0,02	4	0,03	0,01	0,05	11	0,03	0,01	0,04	6	0,03	0,02	0,05	4								
KB8.2	0,43	0,30	0,60	3	0,42	0,20	0,80	11	0,61	0,38	1,20	6	0,44	0,36	0,51	4								
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0								
SiO2	10,8	10,0	11,0	4	11,5	10,0	14,0	10	10,9	9,3	12,0	6	12,4	12,0	13,0	4								
SPAK254	3,0	0,2	9,6	4	1,4	0,6	2,6	11	2,5	1,2	7,0	6	2,5	0,4	7,0	4								
TOC	1,5	0,8	3,1	4	1,6	0,5	3,4	10	1,1	0,3	2,7	6	0,8	0,4	1,0	4								
Ca	5,0	4,7	5,3	4	4,4	3,4	7,2	11	3,6	3,0	4,1	6	3,9	3,6	4,0	4								
Mg	1,3	1,2	1,5	4	1,2	1,0	1,9	11	1,0	0,8	1,1	6	1,0	0,9	1,0	4								
Na	3,9	3,7	16,3	4	5,3	3,4	15,0	11	4,0	3,9	14,0	6	4,1	3,9	13,1	4								
K	1,2	1,1	1,3	4	1,5	0,7	1,9	11	1,3	1,2	1,3	6	1,2	1,0	1,3	4								
Fe	0,02	0,01	0,05	4	0,02	0,01	0,07	11	0,01	n.n.	0,05	6	0,01	n.n.	0,01	4								
Mn	0,10	0,07	0,12	4	0,05	0,01	0,07	11	0,05	0,03	0,08	6	0,06	0,04	0,07	4								
Al	0,69	0,39	1,30	4	0,30	0,10	0,48	11	0,35	0,16	0,88	6	0,41	0,33	0,52	4								
Cd	0,0004	0,0002	0,0006	4	0,0003	0,0001	0,0007	11	0,0002	0,0002	0,0004	6	0,0002	0,0001	0,0002	4								
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,02	n.n.	0,10	11	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	4								
Cu	0,001	n.n.	0,002	4	0,003	n.n.	0,009	11	n.n.	n.n.	0,001	6	0,002	n.n.	0,007	4								
NH4	0,02	n.n.	0,04	4	0,12	n.n.	0,37	10	0,02	n.n.	0,09	6	0,02	0,01	0,03	3								
Cl	2,7	2,6	2,9	4	6,2	2,7	26,5	11	2,7	2,6	3,0	6	8,6	2,5	26,0	4								
F	0,3	0,3	0,3	4	0,2	0,1	0,3	11	0,2	0,1	0,3	6	0,3	0,2	0,4	4								
SO4	15,6	14,0	19,6	4	12,6	8,8	20,0	11	12,1	10,6	16,1	6	13,5	11,0	14,8	4								
NO3	7,7	7,1	8,5	4	7,2	2,3	10,3	11	7,4	6,3	8,3	6	8,6	7,7	10,2	4								
NO2	0,01	0,01	0,01	4	n.n.	n.n.	0,01	10	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	4								
PO4	0,05	0,01	0,14	4	0,02	n.n.	0,07	10	0,08	n.n.	0,46	6	0,06	0,02	0,12	4								

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 78: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3099 der Wasserversorgung 309

Hydrologisches Jahr:	1989					1990					1991					1992				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert	7,25	6,80	7,84	4	7,46	7,16	7,77	11	7,43	6,84	7,84	6	7,63	7,24	8,11	4				
Delta-pH	-0,98	-0,41	-1,63	3	-0,86	-0,32	-1,24	11	-0,88	-0,63	-1,13	6	-0,82	-0,43	-1,25	4				
pHc-Wert	8,30	8,23	8,43	3	8,32	8,00	8,49	11	8,31	7,96	8,56	6	8,45	8,37	8,54	4				
Temp.	4,9	4,0	5,6	4	6,3	5,4	7,5	11	5,8	5,1	6,7	6	5,7	4,9	6,7	4				
LF	145	135	156	4	140	95	212	11	125	92	148	6	153	146	166	4				
O2	10,4	10,1	10,6	4	10,2	9,5	10,8	11	10,3	10,0	10,6	5	10,5	10,2	10,9	4				
°dH	4,0	3,4	4,6	4	3,9	3,3	4,6	11	3,5	2,9	4,0	6	3,5	3,3	3,9	4				
Calcitlösek.	13,7	10,3	20,0	3	14,4	6,2	37,3	11	18,3	5,6	46,2	6	5,8	3,6	7,4	4				
KS4.3	0,89	0,63	1,14	4	0,95	0,75	1,13	11	0,96	0,88	1,07	6	1,01	0,94	1,14	4				
KB8.2	0,13	0,10	0,20	3	0,14	0,05	0,40	11	0,18	0,04	0,50	6	0,05	0,02	0,06	4				
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2	10,8	10,0	11,0	4	11,4	10,0	14,0	10	10,8	8,9	12,0	6	12,1	11,0	13,0	4				
SPAK254	2,9	0,6	9,0	4	1,4	0,6	3,0	11	2,8	1,4	5,6	6	1,6	0,4	4,0	4				
TOC	1,4	0,6	2,7	4	1,1	0,4	2,2	10	1,1	0,4	2,3	6	0,7	0,4	1,0	4				
Ca	26,4	22,2	31,2	4	25,7	22,0	31,0	11	23,5	19,0	27,0	6	23,5	22,0	26,0	4				
Mg	1,4	1,3	1,6	4	1,3	1,0	2,0	11	1,0	0,9	1,2	6	1,1	1,0	1,1	4				
Na	3,9	3,8	16,3	4	5,3	3,8	15,0	11	4,1	3,9	14,0	6	4,1	3,9	13,1	4				
K	1,3	1,2	1,4	4	1,4	0,7	1,8	11	1,3	1,2	1,4	6	1,2	1,0	1,3	4				
Fe	0,01	n.n.	0,03	4	0,01	n.n.	0,01	11	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,01	4				
Mn	0,04	0,01	0,06	4	0,01	n.n.	0,02	11	0,02	n.n.	0,03	6	0,02	n.n.	0,03	4				
Al	0,32	0,08	0,73	4	0,09	n.n.	0,26	11	0,11	n.n.	0,29	6	0,11	0,08	0,16	4				
Cd	0,0003	0,0001	0,0006	4	0,0004	0,0001	0,0033	11	0,0002	0,0001	0,0003	6	0,0001	n.n.	0,0002	4				
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,01	n.n.	0,02	11	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	4				
Cu	0,001	n.n.	0,002	4	0,003	n.n.	0,010	11	n.n.	n.n.	0,001	6	n.n.	n.n.	0,001	4				
NH4	0,03	n.n.	0,12	4	0,12	n.n.	0,50	10	0,02	n.n.	0,04	6	0,02	n.n.	0,04	4				
Cl	2,7	2,6	2,9	4	5,9	2,6	28,5	11	2,8	2,7	3,2	6	8,3	2,6	25,0	4				
F	0,3	0,3	0,3	4	0,2	0,1	0,3	11	0,2	0,1	0,3	6	0,3	0,2	0,4	4				
SO4	15,6	14,2	19,4	4	12,9	10,0	20,1	11	12,1	11,0	15,4	6	13,3	10,7	14,7	4				
NO3	7,7	7,1	8,4	4	7,0	2,2	9,0	11	7,3	6,2	8,2	6	8,0	7,6	8,4	4				
NO2	0,01	0,01	0,03	4	0,04	n.n.	0,35	10	0,01	0,01	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	4				
PO4	0,03	0,01	0,05	4	0,19	n.n.	1,69	10	0,10	n.n.	0,58	6	0,39	0,15	0,68	3				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KB8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 79: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3141 der Wasserversorgung 314

Hydrologisches Jahr:	Region: Fichtelgebirge/Steinwald Landkreis: Wunsiedel															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,55	5,22	5,89	3	5,44	4,75	6,80	13	5,07	4,31	5,45	6	5,26	5,11	5,52	5
Delta-pH	-2,90	-2,60	-3,19	2	-2,88	-1,68	-3,53	13	-3,41	-3,15	-4,08	6	-3,29	-2,77	-3,53	5
pHc-Wert	8,61	8,49	8,73	2	8,32	8,08	8,51	13	8,48	8,29	8,76	6	8,55	8,10	8,86	5
Temp.	6,3	5,0	7,6	3	7,2	4,3	10,7	13	6,7	4,0	10,1	6	6,4	4,3	9,8	5
LF	167	139	220	3	116	73	174	13	119	86	139	6	138	118	146	5
O2	11,1	10,4	11,6	3	10,5	8,2	11,9	13	10,5	10,0	11,5	6	10,7	9,8	11,5	5
%dH	2,4	2,3	2,4	3	2,4	1,9	2,9	13	2,1	1,7	2,5	6	2,5	1,7	4,2	5
Calcitlösek.	35,9	31,2	40,7	2	52,2	21,3	68,7	13	44,5	29,3	59,7	6	34,2	27,5	44,5	5
KS4.3	0,02	0,01	0,04	3	0,07	0,01	0,66	13	0,02	0,01	0,03	6	0,24	0,01	1,07	5
KB8.2	0,35	0,30	0,40	2	0,52	0,20	0,70	13	0,44	0,28	0,60	6	0,34	0,26	0,44	5
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	15,7	12,0	18,0	3	17,7	16,0	25,0	12	17,4	15,0	19,0	6	19,4	17,0	23,0	5
SPAK254	1,5	1,4	1,6	3	1,7	0,4	3,6	13	3,0	1,4	4,2	6	1,8	1,4	2,8	5
TOC	1,2	1,1	1,4	3	1,7	0,5	3,4	12	1,6	0,6	2,3	6	1,2	0,9	1,6	5
Ca	12,2	12,1	12,4	3	12,0	10,0	14,0	13	11,0	8,8	13,0	6	13,3	8,7	24,0	5
Mg	3,0	2,8	3,2	3	3,0	2,4	4,2	13	2,6	2,1	3,1	6	2,7	2,0	3,6	5
Na	5,7	5,5	16,3	3	5,8	4,9	15,0	13	5,8	5,5	14,0	6	6,0	5,5	13,1	5
K	2,2	2,0	2,5	3	2,1	1,2	2,6	13	2,2	1,9	2,5	6	1,9	1,4	2,1	5
Fe	0,04	0,02	0,06	3	0,02	0,01	0,05	13	0,02	0,01	0,03	6	0,03	0,01	0,05	5
Mn	0,26	0,21	0,32	3	0,20	0,03	0,28	13	0,24	0,15	0,34	6	0,20	n.n.	0,35	5
Al	0,94	0,72	1,20	3	0,75	0,04	1,20	13	0,93	0,48	1,60	6	0,76	0,06	1,30	5
Cd	0,0007	0,0006	0,0009	3	0,0006	0,0004	0,0007	13	0,0007	0,0004	0,0011	6	0,0004	0,0001	0,0006	5
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,03	n.n.	0,15	13	0,03	0,02	0,05	6	0,02	0,01	0,03	5
Cu	0,005	0,002	0,008	3	0,004	n.n.	0,010	13	0,005	0,001	0,009	6	0,008	0,007	0,011	5
NH4	n.n.	n.n.	0,01	3	0,06	n.n.	0,19	12	0,02	n.n.	0,05	6	0,05	0,02	0,12	5
Cl	4,0	3,7	4,6	3	3,9	3,3	4,7	13	3,6	3,4	4,0	6	10,2	3,0	36,0	5
F	0,6	0,5	0,9	3	0,5	0,2	0,7	13	0,5	0,3	0,8	6	0,5	0,3	0,6	5
SO4	39,8	36,2	43,7	3	37,7	19,1	45,4	13	34,1	7,3	42,2	6	37,0	27,6	43,9	5
NO3	7,8	0,9	12,4	3	9,8	1,6	13,1	13	11,2	8,9	13,7	6	10,6	6,7	14,2	5
NO2	n.n.	n.n.	0,01	3	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	n.n.	5
PO4	0,02	0,02	0,03	3	0,01	n.n.	0,05	12	0,12	n.n.	0,68	6	1,80	0,08	3,90	4

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in immo/l/l)

Tab. 80: Beschaffenheitsdaten der Probenahmeestelle 3149 der Wasserversorgung 314

Hydrologisches Jahr:	Region: Fichtelgebirge/Steinwald Landkreis: Wunsiedel															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	6,61	6,26	6,86	3	7,59	5,28	8,24	12	7,72	6,74	8,27	6	8,15	7,97	8,24	5
Delta-pH	-1,86	-1,50	-2,22	2	-0,80	-0,23	-3,24	11	-0,65	-0,21	-1,29	5	-0,41	-0,28	-0,53	2
pHc-Wert	8,35	8,23	8,48	2	8,33	8,18	8,52	11	8,25	8,03	8,41	5	8,45	8,40	8,50	2
Temp.	7,3	5,4	8,9	3	7,3	4,1	11,0	12	7,4	5,4	9,7	6	7,3	6,1	9,2	5
LF	181	142	214	3	159	116	228	12	173	116	204	6	198	189	204	5
O2	10,1	7,4	11,7	3	10,9	10,2	11,9	12	10,6	9,9	11,2	6	10,7	9,9	11,4	5
°dH	4,1	2,5	5,2	3	4,9	2,5	6,5	12	4,5	3,9	5,6	6	3,8	2,1	4,5	5
Calcitlösek.	25,4	20,0	30,9	2	11,5	5,3	40,8	11	18,0	3,2	37,8	5	2,8	2,1	3,5	2
KS4.3	0,77	0,33	1,04	3	0,97	0,06	1,18	12	1,07	0,92	1,17	6	0,89	0,02	1,17	5
KB8.2	0,25	0,20	0,30	2	0,10	0,05	0,40	12	0,16	0,02	0,40	6	0,01	0,01	0,02	5
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	21,0	18,0	25,0	3	21,5	17,0	27,0	11	23,2	21,0	26,0	6	22,2	18,0	25,0	5
SPAK254	1,1	1,0	1,2	3	1,8	0,4	3,2	12	2,2	1,4	3,2	6	1,5	0,8	3,2	5
TOC	0,9	0,6	1,1	3	1,1	0,6	1,6	11	3,5	0,4	15,0	6	0,9	0,6	1,5	5
Ca	23,0	12,5	30,4	3	28,3	13,0	40,0	12	25,7	22,0	32,0	6	21,4	11,0	26,0	5
Mg	3,9	3,5	4,3	3	4,0	3,1	4,6	12	4,1	3,5	5,0	6	3,7	2,6	4,5	5
Na	7,1	6,1	16,3	3	6,9	5,7	15,0	12	7,9	6,7	14,0	6	7,3	5,6	13,1	5
K	1,6	1,2	1,8	3	1,6	0,8	2,7	12	1,4	1,3	1,7	6	1,5	1,3	2,1	5
Fe	0,04	0,01	0,09	3	0,01	n.n.	0,03	12	0,03	n.n.	0,10	6	0,03	0,02	0,05	5
Mn	0,05	n.n.	0,14	3	0,02	n.n.	0,23	12	n.n.	n.n.	0,02	6	0,04	n.n.	0,20	5
Al	0,21	0,07	0,44	3	0,13	0,05	0,90	12	0,04	n.n.	0,11	6	0,22	0,06	0,78	5
Cd	0,0003	n.n.	0,0010	3	0,0001	n.n.	0,0011	12	0,0001	n.n.	0,0002	6	0,0002	n.n.	0,0005	5
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,02	n.n.	0,15	12	0,01	0,01	0,02	6	0,01	0,01	0,02	5
Cu	0,006	0,003	0,011	3	0,004	0,002	0,010	12	0,008	n.n.	0,019	6	0,012	0,007	0,022	5
NH4	n.n.	n.n.	0,01	3	0,04	n.n.	0,13	10	0,03	n.n.	0,07	6	0,07	n.n.	0,27	5
Cl	4,3	1,9	6,0	3	4,9	3,9	6,6	12	5,5	4,6	6,1	6	13,8	3,4	48,0	5
F	0,8	0,5	0,9	3	0,6	0,3	1,1	12	0,5	0,3	0,8	6	0,5	0,4	0,6	5
SO4	29,9	22,9	37,7	3	30,9	22,2	41,5	12	24,2	7,3	35,8	6	29,1	20,2	39,7	5
NO3	7,1	4,5	10,2	3	7,8	3,7	11,8	12	6,4	3,6	11,0	6	7,1	4,6	10,9	5
NO2	0,01	0,01	0,01	3	0,01	n.n.	0,03	11	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,03	4
PO4	0,02	0,02	0,03	3	0,03	n.n.	0,11	10	0,02	n.n.	0,05	6	0,94	0,02	2,55	4

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KS4,3, KB8,2 u. KS8,2 in mmol/l)

Tab. 81: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3191 der Wasserversorgung 319

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl				
	1989						1990						1991						1992					
pH-Wert	5,39	5,23	5,69	3	5,36	5,24	5,69	12	5,17	4,45	5,47	6	5,30	5,17	5,39	4	5,30	5,17	5,39	4				
Delta-pH	-3,12	-2,68	-3,55	2	-3,22	-2,88	-3,78	12	-3,31	-2,74	-4,02	6	-3,24	-3,07	-3,35	4	-3,24	-3,07	-3,35	4				
pHc-Wert	8,59	8,37	8,81	2	8,58	8,28	9,10	12	8,48	8,18	8,64	6	8,54	8,47	8,66	4	8,54	8,47	8,66	4				
Temp.	5,7	5,2	6,8	3	6,5	5,0	8,0	12	6,0	5,0	7,6	6	6,2	5,6	7,0	4	6,2	5,6	7,0	4				
LF	112	90	146	3	87	62	99	12	84	63	95	6	99	90	106	4	99	90	106	4				
O2	9,1	8,0	10,1	3	9,7	8,9	11,0	12	10,0	9,0	10,4	5	9,9	9,3	10,3	4	9,9	9,3	10,3	4				
*dH	1,1	1,0	1,4	3	1,3	0,8	4,9	12	0,8	0,7	1,2	6	0,8	0,7	0,9	4	0,8	0,7	0,9	4				
Calcitiösek.	40,9	31,5	50,3	2	41,3	22,0	59,8	12	46,7	39,2	51,0	6	44,9	39,2	48,7	4	44,9	39,2	48,7	4				
KS4.3	0,06	0,04	0,10	3	0,04	0,03	0,06	12	0,18	0,02	0,96	6	0,05	0,02	0,08	4	0,05	0,02	0,08	4				
KB8.2	0,40	0,30	0,50	2	0,40	0,20	0,60	12	0,46	0,38	0,52	6	0,44	0,38	0,48	4	0,44	0,38	0,48	4				
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2	11,3	10,0	14,0	3	10,5	9,5	11,0	11	9,4	5,6	11,0	6	11,0	10,0	12,0	4	11,0	10,0	12,0	4				
SPAK254	0,5	0,4	0,8	3	0,9	0,2	2,0	12	1,3	1,0	2,0	6	0,9	0,4	1,6	4	0,9	0,4	1,6	4				
TOC	0,5	0,4	0,7	3	1,3	0,4	4,2	11	0,9	0,3	1,7	6	0,7	0,4	0,9	4	0,7	0,4	0,9	4				
Ca	5,6	4,9	6,7	3	7,1	3,9	33,0	12	4,2	3,5	6,1	6	4,2	3,7	4,6	4	4,2	3,7	4,6	4				
Mg	1,6	1,2	2,1	3	1,4	1,1	1,6	12	1,1	0,9	1,5	6	1,1	1,0	1,3	4	1,1	1,0	1,3	4				
Na	7,6	6,7	16,3	3	8,4	7,8	15,0	12	9,4	8,5	14,0	6	9,2	8,4	13,1	4	9,2	8,4	13,1	4				
K	1,3	1,2	1,4	3	1,3	0,7	1,6	12	1,3	1,2	1,4	6	1,3	1,2	1,3	4	1,3	1,2	1,3	4				
Fe	0,01	0,01	0,01	3	0,01	n.n.	0,01	12	0,01	0,01	0,03	6	0,01	n.n.	0,01	4	0,01	n.n.	0,01	4				
Mn	0,07	0,02	0,10	3	0,09	n.n.	0,12	12	0,10	0,09	0,11	6	0,10	0,09	0,12	4	0,10	0,09	0,12	4				
Al	0,40	0,15	0,56	3	0,43	0,07	0,61	12	0,50	0,37	0,72	6	0,50	0,47	0,56	4	0,50	0,47	0,56	4				
Cd	0,0002	0,0002	0,0002	3	0,0002	0,0001	0,0005	12	0,0003	0,0002	0,0005	6	0,0002	0,0002	0,0002	4	0,0002	0,0002	0,0002	4				
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,01	n.n.	0,03	12	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	4				
Cu	0,001	0,001	0,001	3	0,001	n.n.	0,003	12	0,001	n.n.	0,001	6	0,001	n.n.	0,001	4	0,001	n.n.	0,001	4				
NH4	n.n.	n.n.	0,01	3	0,09	n.n.	0,34	11	0,01	n.n.	0,03	6	0,01	n.n.	0,03	4	0,01	n.n.	0,03	4				
Cl	10,0	0,9	15,0	3	16,8	16,0	18,0	12	16,6	15,0	20,0	6	17,1	15,0	18,4	4	17,1	15,0	18,4	4				
F	0,3	0,3	0,3	3	0,3	0,2	0,4	12	0,3	0,1	0,4	6	0,3	0,3	0,3	4	0,3	0,3	0,3	4				
SO4	7,8	7,4	8,1	3	7,0	6,5	7,5	12	11,7	4,9	37,3	6	6,9	6,4	7,2	4	6,9	6,4	7,2	4				
NO3	5,5	3,5	6,7	3	7,7	6,8	9,1	12	7,1	5,8	8,2	6	7,4	7,3	7,7	4	7,4	7,3	7,7	4				
NO2	0,01	n.n.	0,02	3	n.n.	n.n.	0,03	11	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	3	0,01	n.n.	0,02	3				
PO4	0,02	0,01	0,03	3	0,01	n.n.	0,06	11	0,01	n.n.	0,04	6	0,04	n.n.	0,07	3	0,04	n.n.	0,07	3				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KB8,2 u. KS8,2 in mmol/l)

Tab. 82: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3199 der Wasserversorgung 319

Kennnummer: 3199 Reinwasserdaten		Region: Fichtelgebirge/Steinwald Landkreis: Bayreuth											
		1989			1990			1991			1992		
Hydrologisches Jahr:		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert		6,86	6,52	7,37	3	7,79	7,33	7,98	12	7,63	6,00	8,29	6
Delta-pH		-1,38	-0,86	-1,89	2	-0,48	0,26	-1,43	12	-0,98	-0,22	-2,42	4
pHc-Wert		8,32	8,23	8,42	2	8,27	7,72	9,14	12	8,30	7,97	8,44	4
Temp.		5,4	4,9	6,2	3	6,2	5,0	7,1	12	6,0	5,2	7,5	6
LF		176	130	204	3	181	118	216	12	162	97	194	6
O2		9,6	9,3	9,8	3	10,0	8,0	11,1	12	10,0	9,4	10,6	5
*dH		4,0	2,4	4,8	3	4,7	4,1	5,5	12	3,9	3,0	5,7	6
Calciflösek.		20,4	10,1	30,7	2	13,5	4,9	69,1	12	14,5	4,2	26,8	4
KS4.3		0,97	0,45	1,28	3	1,09	0,09	1,32	12	1,05	0,69	1,33	6
KB8.2		0,20	0,10	0,30	2	0,14	0,05	0,80	12	0,12	0,02	0,30	5
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,00	0,00	0,00	1
SiO2		10,0	10,0	10,0	3	10,4	9,5	11,0	11	9,8	7,5	11,7	6
SPAK254		0,4	0,2	0,6	3	1,1	0,4	2,2	12	1,5	0,6	3,2	6
TOC		0,5	0,4	0,7	3	1,2	0,4	3,5	11	0,9	0,3	2,6	6
Ca		26,4	14,8	32,7	3	31,2	27,0	37,0	12	26,0	19,0	38,0	6
Mg		1,4	1,2	1,5	3	1,4	1,2	1,6	12	1,2	1,0	1,6	6
Na		8,1	7,9	16,3	3	8,5	8,0	15,0	12	9,3	8,6	14,0	6
K		1,3	1,1	1,4	3	1,3	0,7	1,6	12	1,3	1,2	1,4	6
Fe		n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,02	6
Mn		0,03	n.n.	0,08	3	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	6
Al		0,16	0,05	0,36	3	0,04	n.n.	0,09	12	0,03	n.n.	0,06	6
Cd		0,0001	0,0001	0,0002	3	0,0001	n.n.	0,0004	12	0,0001	n.n.	0,0001	6
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	3	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	6
Cu		n.n.	n.n.	0,001	3	0,001	n.n.	0,002	12	0,003	n.n.	0,015	6
NH4		0,02	n.n.	0,04	3	0,17	n.n.	0,84	11	0,08	n.n.	0,41	6
Cl		12,0	8,1	14,0	3	17,1	15,7	19,0	12	16,6	15,0	20,0	6
F		0,3	0,3	0,3	3	0,3	0,2	0,3	12	0,3	0,1	0,5	6
SO4		7,5	7,2	7,8	3	7,1	6,3	7,6	12	9,4	4,9	22,6	6
NO3		7,0	6,4	7,5	3	7,6	6,6	9,1	12	7,0	5,8	7,3	6
NO2		0,01	0,01	0,03	3	n.n.	n.n.	0,01	11	0,01	n.n.	0,02	6
PO4		0,12	0,01	0,35	3	0,01	n.n.	0,05	11	0,07	n.n.	0,31	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 83: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3291 der Wasserversorgung 329

Kennnummer: 3291 Rohwasserdaten		Region: Fichtelgebirge/Steinwald Landkreis: Bayreuth											
		1989			1990			1991			1992		
Hydrologisches Jahr:		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert		4,56	4,21	4,75	6	4,73	4,60	4,85	23	4,78	4,69	4,89	12
Delta-pH		-3,17	-2,90	-3,35	5	-2,90	-2,64	-3,42	23	-2,77	-2,59	-3,07	11
pHc-Wert		7,70	7,45	8,01	5	7,64	7,45	8,20	23	7,56	7,44	7,76	11
Temp.		7,3	4,8	13,1	6	9,6	2,7	13,4	23	7,0	4,0	13,4	12
LF		265	175	547	6	185	120	221	23	173	160	192	12
O2		9,1	8,1	11,2	5	9,1	6,8	10,6	23	9,0	6,8	10,9	9
°dH		1,7	1,6	1,8	5	1,7	1,4	2,0	23	1,4	1,3	1,7	11
Calcitfösek.		119,9	86,7	147,5	5	128,3	69,1	154,5	23	146,1	116,2	160,1	11
KS4.3		0,10	0,00	0,50	6	0,01	0,00	0,03	23	0,01	0,00	0,03	12
KB8.2		1,34	0,90	1,72	5	1,45	0,70	1,80	23	1,69	1,26	1,88	12
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2		7,6	6,8	8,2	5	8,4	7,0	9,8	22	7,8	6,2	9,5	12
SPAK254		2,3	0,2	3,4	5	2,7	1,4	4,8	23	4,9	2,6	9,0	12
TOC		1,8	1,5	2,1	5	1,7	0,5	3,6	22	1,7	1,1	2,3	11
Ca		9,4	8,8	10,1	5	9,3	7,8	11,0	23	8,1	7,2	9,6	11
Mg		1,5	1,4	1,7	5	1,6	1,3	2,0	23	1,3	1,2	1,6	11
Na		19,8	17,1	22,0	5	18,2	15,6	21,3	23	16,2	14,0	18,9	11
K		1,8	1,5	2,1	5	1,7	1,3	2,6	23	1,6	1,4	1,7	11
Fe		0,11	0,04	0,18	6	0,13	0,05	0,30	23	0,11	n.n.	0,19	10
Mn		0,30	0,27	0,34	6	0,34	0,14	1,61	23	0,25	0,23	0,28	11
Al		3,45	2,80	4,10	6	2,97	2,10	3,70	23	2,69	2,40	3,10	11
Cd		0,0013	0,0013	0,0014	5	0,0018	0,0009	0,0160	23	0,0013	0,0010	0,0018	11
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	6	0,02	n.n.	0,09	23	0,08	n.n.	0,40	11
Cu		0,021	0,009	0,029	5	0,027	0,005	0,080	23	0,042	0,014	0,096	11
NH4		0,04	n.n.	0,14	5	0,05	n.n.	0,32	22	0,01	n.n.	0,03	12
Cl		38,2	34,0	46,0	5	34,6	29,0	41,0	23	29,5	23,0	35,0	12
F		0,4	0,3	0,5	5	0,4	n.n.	0,5	23	0,3	n.n.	0,4	12
SO4		22,2	21,8	22,8	5	21,8	15,9	24,0	23	23,6	20,5	27,0	12
NO3		14,9	14,2	15,5	5	13,6	12,4	16,0	23	12,3	10,2	15,1	12
NO2		0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,09	22	n.n.	n.n.	0,01	12
PO4		0,04	n.n.	0,09	5	n.n.	n.n.	0,06	22	0,03	n.n.	0,40	12

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 84: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3299 der Wasserversorgung 329

Hydrologisches Jahr:		1989					1990					1991					1992				
		Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	
Kennnummer: 3299		Region: Fichtelgebirge/Steinwald																			
Reinwasserdaten		Landkreis: Bayreuth																			
pH-Wert	7,13	6,71	7,43	6	23	6,69	5,65	7,58	23	6,90	6,60	7,21	12	7,22	6,89	7,47	6				
Delta-pH	-0,82	-0,46	-1,29	5	23	-0,94	-0,47	-1,78	23	-0,70	-0,37	-1,02	11	-0,42	-0,19	-0,81	5				
pHc-Wert	7,94	7,83	8,09	5	23	7,63	7,44	8,05	23	7,60	7,53	7,68	11	7,63	7,56	7,71	5				
Temp.	11,7	7,1	17,0	6	23	13,9	8,7	18,5	23	11,1	8,3	15,5	12	11,3	8,0	15,4	6				
LF	345	300	416	6	23	287	190	362	23	315	252	365	12	317	280	348	6				
O2	9,4	8,1	10,3	6	23	9,3	7,7	12,6	23	9,2	7,0	10,0	9	8,9	8,0	10,9	4				
°dH	7,2	5,7	8,2	6	23	6,5	3,0	8,9	23	7,2	5,2	8,6	11	7,9	5,9	8,9	5				
Calcitiosek.	18,5	6,3	34,6	5	23	54,5	6,8	122,1	23	43,2	21,7	66,0	11	27,2	17,6	49,6	5				
KS4.3	1,59	1,13	1,93	6	23	1,41	0,31	1,90	23	1,81	1,39	2,23	12	2,03	1,47	2,28	6				
KB8.2	0,22	0,10	0,40	5	23	0,68	0,10	1,44	23	0,59	0,36	0,80	12	0,41	0,30	0,60	6				
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2	9,2	8,2	9,9	5	22	10,2	7,5	14,0	22	9,4	6,7	11,6	12	10,3	7,4	13,0	6				
SPAK254	1,7	0,2	3,0	5	23	2,2	1,6	3,8	23	3,6	1,8	7,4	12	2,6	1,8	4,0	6				
TOC	1,5	1,0	2,3	5	22	1,2	0,4	1,9	22	1,4	0,8	1,7	11	1,2	0,9	1,8	6				
Ca	33,2	29,0	36,0	6	23	40,2	19,0	54,0	23	49,4	35,0	59,0	11	54,0	40,0	61,0	5				
Mg	11,2	7,1	13,9	6	23	3,8	1,3	16,0	23	1,4	1,2	1,6	11	1,5	1,4	1,6	5				
Na	20,7	18,7	22,0	4	23	20,2	18,1	28,0	23	17,6	14,0	21,0	11	16,5	14,9	18,3	5				
K	2,0	1,6	3,3	5	23	1,7	1,2	2,0	23	1,6	1,4	1,8	11	1,5	1,4	1,6	5				
Fe	0,03	0,01	0,08	6	23	0,03	0,01	0,07	23	0,01	n.n.	0,02	10	0,02	0,01	0,04	5				
Mn	0,08	0,02	0,12	6	23	0,23	0,01	0,31	23	0,23	0,13	0,29	11	0,09	0,05	0,14	5				
Al	0,31	0,10	0,57	6	23	0,28	0,10	1,30	23	0,09	0,01	0,15	11	0,13	0,08	0,24	5				
Cd	0,0005	n.n.	0,0008	6	23	0,0011	0,0002	0,0050	23	0,0011	0,0007	0,0014	10	0,0006	0,0006	0,0006	5				
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	6	23	0,17	n.n.	0,70	23	0,17	0,12	0,39	11	0,09	0,06	0,13	5				
Cu	0,012	0,002	0,040	5	23	0,010	0,003	0,029	23	0,008	0,005	0,010	10	0,006	0,005	0,007	5				
NH4	0,01	n.n.	0,04	6	22	0,03	n.n.	0,26	22	0,01	n.n.	0,04	12	0,01	n.n.	0,02	6				
Cl	38,3	34,0	45,0	6	23	34,4	27,0	39,0	23	28,6	23,0	34,0	12	27,2	22,8	32,0	6				
F	0,2	n.n.	0,5	6	23	0,3	0,2	0,4	23	0,3	0,2	0,4	12	0,3	0,2	0,4	6				
SO4	23,8	21,2	33,0	6	23	22,1	20,2	25,3	23	24,2	22,0	29,9	12	22,9	20,6	23,6	6				
NO3	15,3	14,2	17,5	6	23	13,4	10,2	15,5	23	12,0	10,6	15,1	12	11,2	8,5	12,4	6				
NO2	0,01	n.n.	0,03	6	22	0,01	n.n.	0,05	22	0,02	n.n.	0,19	12	0,02	n.n.	0,06	6				
PO4	0,04	n.n.	0,11	6	22	0,10	n.n.	1,01	22	0,02	n.n.	0,07	12	0,05	n.n.	0,16	6				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KB8,2 u. KS8,2 in mmol/l)

Tab. 85: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3311 der Wasserversorgung 331

Hydrologisches Jahr:	1989					1990					1991					1992				
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	
	5,52	5,50	5,53	2	2	5,41	4,85	5,64	13	13	5,53	5,45	5,59	7	7	5,54	5,40	5,63	6	
pH-Wert	-3,40	-3,26	-3,53	2	2	-3,22	-2,83	-3,74	13	13	-3,04	-2,85	-3,17	7	7	-3,15	-2,93	-3,32	5	
Delta-pH	8,91	8,76	9,06	2	2	8,64	8,28	8,80	13	13	8,57	8,44	8,69	7	7	8,69	8,55	8,82	5	
pHc-Wert	6,6	6,3	6,8	2	2	6,6	5,2	7,8	13	13	5,8	5,0	7,1	7	7	6,6	5,3	8,8	6	
Temp.	105	100	109	2	2	130	49	213	13	13	161	82	199	7	7	123	81	199	6	
LF	8,9	7,0	10,8	2	2	10,4	7,8	11,9	13	13	10,4	9,3	12,6	5	5	10,2	9,8	10,5	4	
O2	1,3	1,2	1,5	2	2	1,4	0,7	1,8	13	13	1,5	1,2	1,9	7	7	1,4	1,2	1,7	5	
*dH	26,6	21,9	31,4	2	2	38,5	31,3	59,9	13	13	36,3	31,2	41,0	7	7	34,4	27,5	41,0	5	
Calcitlösek.	0,05	0,04	0,05	2	2	0,05	0,02	0,09	13	13	0,26	0,03	0,77	7	7	0,07	0,04	0,13	6	
KS4.3	0,25	0,20	0,30	2	2	0,38	0,30	0,60	13	13	0,35	0,30	0,40	7	7	0,33	0,26	0,40	6	
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	
KS8.2	13,5	13,0	14,0	2	2	12,6	11,0	14,0	12	12	12,0	9,3	14,0	7	7	13,7	12,0	15,0	6	
SiO2	0,3	0,1	0,4	2	2	1,1	0,4	4,0	13	13	1,9	0,6	5,0	7	7	1,3	0,6	2,6	6	
SPAK254	1,3	0,6	1,9	2	2	0,7	0,3	1,6	12	12	0,6	0,4	0,7	7	7	0,8	0,3	1,6	6	
TOC	6,5	6,0	7,0	2	2	7,0	3,5	9,0	13	13	7,4	5,9	9,3	7	7	7,1	6,0	8,9	5	
Ca	1,9	1,7	2,1	2	2	1,9	1,0	2,8	13	13	1,9	1,6	2,4	7	7	1,8	1,7	2,0	5	
Mg	6,6	6,2	22,0	2	2	15,9	3,8	28,0	13	13	20,6	6,3	32,0	7	7	14,6	6,3	26,0	5	
Na	1,5	1,4	1,5	2	2	1,7	1,2	2,0	13	13	1,8	1,5	2,1	7	7	1,7	1,4	2,1	5	
K	0,01	n.n.	0,01	2	2	0,01	n.n.	0,05	13	13	0,01	n.n.	0,01	7	7	0,01	n.n.	0,03	5	
Fe	0,03	0,02	0,03	2	2	0,03	n.n.	0,09	13	13	0,03	0,02	0,04	7	7	0,02	0,01	0,04	5	
Mn	0,10	0,06	0,13	2	2	0,17	0,10	0,58	13	13	0,09	0,06	0,13	7	7	0,12	0,09	0,16	5	
Al	0,0003	0,0002	0,0003	2	2	0,0002	0,0001	0,0005	13	13	0,0003	0,0001	0,0007	7	7	0,0002	0,0001	0,0003	5	
Cd	n.n.	n.n.	n.n.	2	2	0,01	n.n.	0,03	13	13	n.n.	n.n.	n.n.	7	7	0,03	n.n.	0,12	5	
Zn	0,002	0,001	0,002	2	2	0,001	n.n.	0,002	13	13	0,001	n.n.	0,001	7	7	0,001	n.n.	0,004	5	
Cu	0,01	n.n.	0,01	2	2	0,11	n.n.	1,16	12	12	0,01	n.n.	0,01	7	7	0,01	n.n.	0,03	6	
NH4	9,9	8,8	11,0	2	2	25,1	3,3	46,0	13	13	35,2	8,2	50,0	7	7	15,1	2,6	45,5	6	
Cl	0,1	0,1	0,2	2	2	0,2	n.n.	0,3	13	13	0,2	0,1	0,3	7	7	0,2	0,1	0,2	6	
F	19,9	19,3	20,4	2	2	17,4	10,3	21,7	13	13	19,2	17,5	22,6	7	7	19,0	17,0	20,2	6	
SO4	2,2	2,1	2,2	2	2	3,8	1,7	8,3	13	13	3,5	2,2	4,2	7	7	3,2	1,5	6,2	6	
NO3	0,01	0,01	0,01	2	2	n.n.	n.n.	0,01	12	12	0,01	n.n.	0,05	7	7	0,01	n.n.	0,03	6	
NO2	0,02	0,01	0,04	2	2	0,04	n.n.	0,17	12	12	0,02	n.n.	0,03	7	7	0,01	n.n.	0,05	6	
PO4																				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 86: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3319 der Wasserversorgung 331

Hydrologisches Jahr:	1989					1990					1991					1992				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert	7,50	7,10	7,89	2	7,65	6,67	8,18	19	7,63	7,42	7,85	7	7,98	6,98	8,39	6				
Delta-pH	-1,07	-0,66	-1,48	2	-0,86	-0,46	-1,66	19	-0,96	-0,78	-1,22	7	-0,92	-0,40	-1,56	3				
pHc-Wert	8,57	8,55	8,58	2	8,51	8,15	8,73	19	8,59	8,50	8,72	7	8,54	8,45	8,63	3				
Temp.	6,2	6,1	6,2	2	6,6	5,2	8,1	19	6,0	5,4	7,2	7	6,5	5,3	8,2	6				
LF	152	149	155	2	187	108	271	19	216	148	251	7	176	138	250	6				
O2	8,7	6,8	10,6	2	10,6	9,0	14,0	19	10,0	8,1	11,8	5	10,2	9,8	10,5	4				
°dH	3,5	3,2	3,8	2	3,6	3,1	5,2	19	3,4	2,9	3,9	7	3,3	3,0	3,7	5				
Calcitiöse.	8,9	6,4	11,4	2	10,1	2,6	39,1	19	7,8	4,8	11,4	7	5,9	2,7	9,4	3				
KS4,3	0,70	0,69	0,70	2	0,76	0,65	1,17	19	0,75	0,67	0,94	7	0,81	0,70	1,18	6				
KB8,2	0,08	0,05	0,10	2	0,09	0,01	0,40	19	0,06	0,03	0,10	7	0,04	0,00	0,08	6				
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2	13,5	13,0	14,0	2	13,5	11,0	17,0	18	11,9	9,3	14,0	7	14,2	12,0	17,0	6				
SPAK254	1,2	0,4	2,0	2	1,0	0,4	3,2	19	1,9	0,6	3,6	7	0,8	0,4	1,4	6				
TOC	0,6	0,6	0,6	2	0,8	0,4	1,6	18	0,6	0,4	0,7	7	3,9	0,3	20,0	6				
Ca	21,9	19,8	24,0	2	23,1	19,0	35,0	19	21,1	18,0	24,0	7	21,0	19,0	23,0	5				
Mg	1,9	1,7	2,1	2	1,8	1,0	2,2	19	1,9	1,5	2,2	7	1,8	1,7	2,1	5				
Na	6,6	6,1	22,0	2	15,6	3,8	28,0	19	18,0	2,1	32,0	7	14,5	6,2	26,0	5				
K	1,5	1,4	1,5	2	1,6	1,3	2,0	19	1,8	1,4	2,0	7	1,6	1,3	2,0	5				
Fe	0,02	0,01	0,02	2	0,01	n.n.	0,02	19	n.n.	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	0,01	5				
Mn	0,01	n.n.	0,01	2	n.n.	n.n.	0,01	19	0,01	n.n.	0,01	7	n.n.	n.n.	0,01	5				
Al	0,04	0,03	0,05	2	0,05	n.n.	0,16	19	0,02	n.n.	0,11	7	0,03	n.n.	0,09	5				
Cd	0,0002	0,0001	0,0002	2	0,0003	0,0001	0,0040	19	0,0001	0,0001	0,0002	7	0,0001	0,0001	0,0001	5				
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	0,02	19	n.n.	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	0,01	5				
Cu	0,001	n.n.	0,001	2	0,002	n.n.	0,018	19	0,001	n.n.	0,001	7	0,001	n.n.	0,002	5				
NH4	n.n.	n.n.	0,01	2	0,04	n.n.	0,27	18	0,01	n.n.	0,03	7	0,01	n.n.	0,02	6				
Cl	11,9	8,7	15,0	2	25,2	2,8	45,0	19	36,2	8,4	49,0	7	15,2	2,2	45,4	6				
F	0,2	0,2	0,2	2	0,1	n.n.	0,3	19	0,2	0,1	0,3	7	0,2	0,1	0,3	5				
SO4	19,8	19,2	20,4	2	17,9	10,5	21,7	19	19,0	17,8	22,0	7	18,7	16,8	20,0	6				
NO3	2,0	1,7	2,2	2	3,6	1,8	8,2	19	3,6	2,3	4,2	7	2,9	2,2	4,6	6				
NO2	0,03	0,02	0,04	2	0,01	n.n.	0,03	18	0,01	n.n.	0,02	7	0,01	n.n.	0,04	6				
PO4	0,08	0,02	0,14	2	0,02	n.n.	0,06	18	0,01	n.n.	0,05	7	0,04	n.n.	0,16	6				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 87: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3341 der Wasserversorgung 334

Kennnummer: 3341 Rohwasserdaten		Region: Fichtelgebirge/Steinwald Landkreis: Bayreuth															
		1989			1990			1991			1992						
Hydrologisches Jahr:		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert		4,59	4,59	4,59	1	4,04	4,04	4,04	1	4,69	4,36	4,86	5	4,66	4,44	4,85	6
Delta-pH		-3,22	-3,22	-3,22	1	-4,04	-4,04	-4,04	1	-3,28	-3,11	-3,61	5	-3,35	-3,00	-3,67	5
pHc-Wert		7,81	7,81	7,81	1	8,08	8,08	8,08	1	7,97	7,97	7,98	5	8,02	7,63	8,26	5
Temp.		8,9	8,9	8,9	1	5,5	5,5	5,5	1	6,7	5,0	9,5	5	7,2	5,6	9,1	6
LF		77	77	77	1	28	28	28	1	70	67	73	5	75	68	84	6
O2		8,9	8,9	8,9	1	11,4	11,4	11,4	1	8,7	7,9	9,4	3	10,0	8,8	10,8	4
°dH		0,9	0,9	0,9	1	0,7	0,7	0,7	1	0,6	0,5	0,8	5	0,6	0,4	0,7	5
Calcitiöse.		104,6	104,6	104,6	1	81,7	81,7	81,7	1	90,1	86,5	93,8	5	88,2	65,6	138,3	5
KS4.3		0,04	0,04	0,04	1	-0,01	-0,01	-0,01	1	0,01	0,01	0,03	5	0,02	0,00	0,05	6
KB8.2		1,12	1,12	1,12	1	0,84	0,84	0,84	1	0,94	0,90	0,98	5	0,92	0,66	1,56	6
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2		10,3	10,3	10,3	1	6,8	6,8	6,8	1	7,3	6,5	7,9	5	7,6	6,3	8,5	6
SPAK254		4,3	4,3	4,3	1	2,8	2,8	2,8	1	6,8	5,2	9,2	5	3,8	2,8	7,6	6
TOC		1,0	1,0	1,0	1	2,5	2,5	2,5	1	1,4	1,1	2,2	5	1,8	1,4	2,2	6
Ca		2,9	2,9	2,9	1	3,2	3,2	3,2	1	2,9	2,1	4,1	5	2,8	2,5	3,1	5
Mg		2,0	2,0	2,0	1	1,2	1,2	1,2	1	0,8	0,7	1,0	5	0,9	0,1	1,2	5
Na		1,7	1,7	22,0	1	1,5	28,0	28,0	1	1,7	1,6	32,0	5	2,0	1,6	26,0	5
K		2,5	2,5	2,5	1	1,9	1,9	1,9	1	2,6	2,3	2,9	5	2,4	1,9	3,8	5
Fe		0,05	0,05	0,05	1	0,03	0,03	0,03	1	0,02	0,01	0,05	5	0,06	0,03	0,15	5
Mn		0,22	0,22	0,22	1	0,22	0,22	0,22	1	0,14	0,12	0,19	5	0,57	0,17	2,10	5
Al		2,60	2,60	2,60	1	4,70	4,70	4,70	1	3,20	2,00	5,50	5	3,04	n.n.	4,20	5
Cd		n.n.	n.n.	n.n.	1	0,0005	0,0005	0,0005	1	0,0006	0,0005	0,0007	5	0,0034	0,0004	0,0150	5
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	1	0,05	0,05	0,05	1	0,04	0,01	0,06	5	0,05	0,04	0,06	4
Cu		n.b.	n.b.	n.b.	0	0,011	0,011	0,011	1	0,012	0,010	0,014	5	0,013	0,012	0,014	4
NH4		0,09	0,09	0,09	1	n.n.	n.n.	n.n.	1	0,01	n.n.	0,03	5	0,01	n.n.	0,04	6
Cl		2,5	2,5	2,5	1	2,8	2,8	2,8	1	3,0	2,9	3,1	5	2,9	2,8	3,0	6
F		0,2	0,2	0,2	1	0,2	0,2	0,2	1	0,1	0,1	0,2	5	0,2	0,1	0,2	6
SO4		19,0	19,0	19,0	1	23,7	23,7	23,7	1	18,3	17,5	19,3	5	20,9	17,0	23,4	6
NO3		9,8	9,8	9,8	1	9,1	9,1	9,1	1	7,0	5,9	8,4	5	7,7	6,1	9,3	6
NO2		n.n.	n.n.	n.n.	1	0,05	0,05	0,05	1	n.n.	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	n.n.	6
PO4		0,09	0,09	0,09	1	n.n.	n.n.	n.n.	1	0,01	n.n.	0,02	5	0,02	n.n.	0,05	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 88: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 3349 der Wasserversorgung 334

Hydrologisches Jahr:	1989					1990					1991					1992				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0		7,21	6,81	7,60	6		7,24	6,73	7,97	7		7,05	5,20	8,06	6	
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0		-0,91	-0,53	-1,26	6		-0,95	-0,20	-1,39	7		-0,72	-0,15	-1,44	5	
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0		8,11	8,06	8,19	6		8,19	8,12	8,26	7		8,14	7,98	8,31	5	
Temp.	n.b.	n.b.	n.b.	0		8,1	5,7	9,3	6		6,4	4,9	9,4	7		7,1	5,4	9,2	6	
LF	n.b.	n.b.	n.b.	0		159	134	172	6		153	126	182	7		143	80	183	6	
O2	n.b.	n.b.	n.b.	0		9,9	8,3	11,5	6		9,6	7,7	11,5	5		9,9	9,0	10,7	4	
°dH	n.b.	n.b.	n.b.	0		4,6	3,3	5,5	6		4,3	3,2	5,3	7		4,4	3,0	5,2	5	
Calcitiöse.	n.b.	n.b.	n.b.	0		19,2	9,4	37,3	6		20,1	3,8	42,8	7		21,6	4,3	60,6	5	
KS4.3	n.b.	n.b.	n.b.	0		1,11	0,91	1,37	6		0,99	0,63	1,31	7		0,89	0,11	1,33	6	
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,20	0,10	0,39	6		0,20	0,04	0,44	7		0,29	0,04	0,64	6	
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0	
SiO2	n.b.	n.b.	n.b.	0		7,4	5,6	9,1	6		6,6	5,4	8,2	7		6,8	5,4	7,5	6	
SPAK254	n.b.	n.b.	n.b.	0		1,6	0,6	2,8	6		3,4	1,8	4,4	7		2,3	1,4	4,0	6	
TOC	n.b.	n.b.	n.b.	0		1,3	1,0	1,8	6		1,1	0,8	1,4	7		1,2	0,8	1,6	6	
Ca	n.b.	n.b.	n.b.	0		31,2	22,0	37,0	6		29,0	21,0	36,0	7		29,8	20,0	36,0	5	
Mg	n.b.	n.b.	n.b.	0		1,2	1,0	1,5	6		1,1	1,0	1,1	7		1,0	1,0	1,1	5	
Na	n.b.	n.b.	n.b.	0		1,7	1,5	28,0	6		1,6	1,4	32,0	7		1,7	1,7	26,0	5	
K	n.b.	n.b.	n.b.	0		2,5	2,1	2,9	6		2,4	2,2	2,5	7		2,3	2,1	2,5	5	
Fe	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,01	n.n.	0,02	6		0,01	n.n.	0,02	7		n.n.	n.n.	0,01	5	
Mn	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,06	0,04	0,09	6		0,06	0,01	0,12	7		0,04	n.n.	0,09	5	
Al	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,76	0,45	1,30	6		0,84	0,15	3,90	7		0,40	0,22	0,65	5	
Cd	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,0003	0,0002	0,0006	6		0,0004	0,0002	0,0005	7		0,0003	0,0001	0,0004	5	
Zn	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,03	0,02	0,04	6		0,03	0,01	0,05	7		0,02	n.n.	0,04	5	
Cu	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,004	0,001	0,006	6		0,004	0,002	0,010	7		0,003	0,001	0,005	5	
NH4	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.n.	n.n.	0,01	6		0,01	n.n.	0,04	7		0,01	n.n.	0,04	6	
Cl	n.b.	n.b.	n.b.	0		2,8	2,1	2,9	6		2,9	2,8	3,2	7		2,9	2,8	3,0	6	
F	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,2	0,1	0,2	6		0,1	0,1	0,2	7		0,2	0,1	0,4	6	
SO4	n.b.	n.b.	n.b.	0		19,6	18,5	21,7	6		21,2	19,6	23,9	7		20,3	18,5	21,9	6	
NO3	n.b.	n.b.	n.b.	0		7,2	3,1	8,7	6		7,2	6,2	8,2	7		6,8	5,9	8,2	6	
NO2	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,01	n.n.	0,06	6		0,01	n.n.	0,02	7		0,01	n.n.	0,05	6	
PO4	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.n.	n.n.	0,02	6		n.n.	n.n.	0,02	7		n.n.	n.n.	0,05	6	

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 90: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8269 der Wasserversorgung 826

Kennnummer: 8269 Reinwasserdaten		Region: Fichtelgebirge/Steinwald Landkreis: Tirschenreuth										
		1989		1990		1991		1992				
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	7,85	7,80	7,90	2	7,69	7,40	7,90	8	7,77	7,20	8,30	6
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,77	-0,64	-0,95	8	-0,78	-0,50	-1,15	6
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,46	8,30	8,54	8	8,55	8,36	8,90	6
Temp.	7,2	6,8	7,6	2	7,8	6,8	8,9	8	8,2	4,9	12,0	6
LF	99	97	101	2	103	92	114	8	97	81	116	6
O2	11,6	11,4	11,7	2	11,5	10,8	12,2	8	11,6	10,1	13,5	6
°dH	3,2	3,1	3,3	2	3,3	3,1	3,7	8	2,9	2,3	3,4	6
Calcitfösek.	n.b.	n.b.	n.b.	0	4,6	2,4	7,6	8	4,4	0,3	6,9	6
KS4.3	0,90	0,89	0,90	2	0,97	0,84	1,16	8	0,91	0,66	1,13	6
KB8.2	0,00	0,00	0,00	1	0,03	0,01	0,07	8	0,04	0,02	0,06	5
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,02	0,02	0,02	1
SiO2	6,5	5,7	7,2	2	5,9	5,1	6,4	8	6,2	5,3	6,6	6
SPAK254	1,0	0,8	1,2	2	0,7	0,2	2,4	8	1,4	0,6	1,8	6
TOC	0,5	0,4	0,5	2	0,5	0,2	1,7	8	0,5	0,2	1,0	6
Ca	21,4	20,6	22,2	2	22,5	21,0	25,0	8	19,7	15,0	23,0	6
Mg	1,0	1,0	1,0	2	0,9	0,7	1,4	8	0,8	0,7	1,0	6
Na	1,5	1,5	22,0	2	1,3	1,2	28,0	8	1,3	1,0	32,0	6
K	0,7	0,7	0,7	2	0,7	0,6	0,8	8	0,7	0,6	0,8	6
Fe	0,01	n.n.	0,01	2	0,05	n.n.	0,36	8	0,01	n.n.	0,02	6
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	6
Al	0,08	0,07	0,09	2	0,05	n.n.	0,11	8	0,04	n.n.	0,14	6
Cd	0,0001	n.n.	0,0001	2	0,0001	n.n.	0,0001	8	n.n.	n.n.	0,0001	6
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	0,01	8	n.n.	n.n.	0,01	6
Cu	0,001	n.n.	0,001	2	0,001	n.n.	0,001	8	0,001	n.n.	0,001	6
NH4	0,01	0,01	0,01	2	0,03	n.n.	0,14	8	0,03	n.n.	0,13	6
Cl	1,4	1,3	1,4	2	1,4	1,3	1,7	8	1,4	1,2	1,7	6
F	n.n.	n.n.	n.n.	2	0,3	n.n.	2,2	8	n.n.	n.n.	0,1	6
SO4	6,4	5,8	7,0	2	5,1	3,2	8,2	8	5,8	3,9	8,2	6
NO3	1,7	1,4	1,9	2	1,9	1,2	2,7	8	2,1	1,3	3,1	6
NO2	0,01	n.n.	0,02	2	n.n.	n.n.	0,01	8	n.n.	n.n.	0,01	6
PO4	0,01	n.n.	0,02	2	0,02	n.n.	0,05	8	0,01	n.n.	0,03	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 91: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8271 der Wasserversorgung 827

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl														
	pH-Wert	5,30	5,20	5,50	3	5,30	12	5,22	5,10	5,30	6	5,33	5,20	5,50	6	5,33	5,20	5,50	6	5,33	5,20	5,50	6	
Delta-pH	-3,39	-3,34	-3,46	3	-3,34	12	-3,42	-3,23	-3,60	6	-3,33	-3,26	-3,42	6	-3,33	-3,26	-3,42	6	-3,33	-3,26	-3,42	6		
pHc-Wert	8,70	8,54	8,89	3	8,65	12	8,64	8,54	8,90	6	8,66	8,49	8,85	6	8,66	8,49	8,85	6	8,66	8,49	8,85	6		
Temp.	6,7	5,8	8,5	3	7,2	12	7,2	5,3	9,7	6	8,0	5,3	11,6	6	8,0	5,3	11,6	6	8,0	5,3	11,6	6		
LF	54	53	54	3	53	12	56	51	63	6	58	55	60	6	58	55	60	6	58	55	60	6		
O2	12,4	11,2	13,1	3	12,3	12	13,5	11,8	16,5	6	13,3	11,2	15,5	6	13,3	11,2	15,5	6	13,3	11,2	15,5	6		
°dH	0,7	0,7	0,7	3	0,7	12	0,7	0,7	0,8	6	0,7	0,7	0,7	6	0,7	0,7	0,7	6	0,7	0,7	0,7	6		
Calcitlösek.	38,2	28,7	45,9	3	39,9	12	40,1	27,7	45,0	6	38,2	30,6	45,8	6	38,2	30,6	45,8	6	38,2	30,6	45,8	6		
KS4.3	0,01	0,00	0,02	3	0,02	12	0,02	0,01	0,03	6	0,03	0,01	0,05	6	0,03	0,01	0,05	6	0,03	0,01	0,05	6		
KB8.2	0,37	0,27	0,45	3	0,39	12	0,39	0,26	0,44	6	0,37	0,29	0,45	6	0,37	0,29	0,45	6	0,37	0,29	0,45	6		
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0														
SiO2	10,9	10,0	12,0	3	11,3	12	11,0	9,9	11,7	6	12,1	10,8	14,0	6	12,1	10,8	14,0	6	12,1	10,8	14,0	6		
SPAK254	0,7	0,6	1,0	3	0,6	12	1,6	0,8	2,2	6	0,9	0,6	1,8	6	0,9	0,6	1,8	6	0,9	0,6	1,8	6		
TOC	0,8	0,6	1,0	3	0,7	12	0,7	0,5	0,9	6	0,8	0,3	1,5	6	0,8	0,3	1,5	6	0,8	0,3	1,5	6		
Ca	3,6	3,6	3,6	3	3,7	12	3,7	3,4	3,9	6	3,6	3,5	3,8	6	3,6	3,5	3,8	6	3,6	3,5	3,8	6		
Mg	0,9	0,9	0,9	3	0,9	12	0,9	0,8	0,9	6	0,8	0,8	0,9	6	0,8	0,8	0,9	6	0,8	0,8	0,9	6		
Na	3,7	3,6	22,0	3	3,7	12	3,6	3,1	32,0	6	3,6	2,9	27,0	5	3,6	2,9	27,0	5	3,6	2,9	27,0	5		
K	1,0	0,9	1,1	3	1,0	12	1,0	0,9	1,1	6	0,9	0,8	1,0	5	0,9	0,8	1,0	5	0,9	0,8	1,0	5		
Fe	0,01	n.n.	0,03	3	n.n.	12	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	6		
Mn	0,08	0,06	0,10	3	0,08	12	0,09	0,06	0,13	6	0,07	0,05	0,10	6	0,07	0,05	0,10	6	0,07	0,05	0,10	6		
Al	0,56	0,34	0,71	3	0,52	12	0,58	0,33	0,85	6	0,50	0,30	0,73	6	0,50	0,30	0,73	6	0,50	0,30	0,73	6		
Cd	0,0003	0,0001	0,0005	3	0,0003	12	0,0003	n.n.	0,0006	6	0,0002	n.n.	0,0004	5	0,0002	n.n.	0,0004	5	0,0002	n.n.	0,0004	5		
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,02	12	0,01	n.n.	0,03	6	0,02	0,01	0,03	6	0,02	0,01	0,03	6	0,02	0,01	0,03	6		
Cu	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,007	12	0,005	n.n.	0,012	6	0,004	n.n.	0,017	5	0,004	n.n.	0,017	5	0,004	n.n.	0,017	5		
NH4	0,01	n.n.	0,01	3	0,03	12	0,01	n.n.	0,03	6	0,02	n.n.	0,11	6	0,02	n.n.	0,11	6	0,02	n.n.	0,11	6		
Cl	2,5	2,3	2,7	3	2,4	12	2,5	2,3	2,8	6	2,4	2,4	2,5	6	2,4	2,4	2,5	6	2,4	2,4	2,5	6		
F	0,1	n.n.	0,2	3	0,2	12	0,2	0,1	0,2	6	0,2	0,1	0,2	6	0,2	0,1	0,2	6	0,2	0,1	0,2	6		
SO4	14,0	13,6	14,4	3	13,7	12	14,8	13,2	17,6	6	13,7	13,1	14,7	6	13,7	13,1	14,7	6	13,7	13,1	14,7	6		
NO3	3,7	3,5	3,8	3	3,9	12	4,3	3,8	4,7	6	4,1	3,4	4,6	6	4,1	3,4	4,6	6	4,1	3,4	4,6	6		
NO2	0,01	n.n.	0,01	3	0,01	12	0,01	n.n.	0,04	6	0,01	n.n.	n.n.	6	0,01	n.n.	n.n.	6	0,01	n.n.	n.n.	6		
PO4	0,05	n.n.	0,16	3	0,02	12	0,01	n.n.	0,06	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6		

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KS4.3, KB8.2 u. KS8.2 in imml/l)

Tab. 92: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8279 der Wasserversorgung 827

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl				
		6,55	5,20	7,90	2	10,01	9,70	10,10	7	8,42	8,10	8,70	6	8,52	8,10	8,90	6	8,52	8,10	8,90	6			
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,24	-0,24	-0,25	2	-0,24	-0,24	-0,25	2				
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,59	8,54	8,65	2	8,59	8,54	8,65	2				
pHc-Wert	5,9	5,8	5,9	2	7,2	5,8	9,1	7	7,0	5,3	9,5	6	7,9	4,7	12,4	6	7,9	4,7	12,4	6				
Temp.	86	54	118	2	110	96	126	7	113	100	133	6	126	108	148	6	126	108	148	6				
LF	12,7	12,3	13,1	2	12,3	11,5	13,6	7	12,9	12,0	14,7	6	12,6	11,2	14,5	6	12,6	11,2	14,5	6				
O2	3,3	3,3	3,4	2	3,2	2,3	4,0	7	3,1	2,4	3,8	6	2,8	2,0	3,6	6	2,8	2,0	3,6	6				
°dH	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	-1,5	-2,4	-1,0	3	-0,8	-1,4	-0,2	2	-0,8	-1,4	-0,2	2				
Calcititösek.	0,81	0,80	0,81	2	0,78	0,67	0,89	7	0,82	0,56	1,07	6	0,77	0,57	1,03	6	0,77	0,57	1,03	6				
KS4.3	0,00	0,00	0,00	1	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,03	0,03	0,03	1	0,03	0,03	0,03	1				
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,03	0,03	0,04	3	0,03	0,02	0,03	2	0,03	0,02	0,03	2				
KS8.2	11,6	10,2	13,0	2	10,6	10,0	13,0	7	12,3	9,9	19,0	6	15,7	10,3	26,0	6	15,7	10,3	26,0	6				
SiO2	0,9	0,6	1,2	2	1,0	0,2	1,8	7	1,9	0,8	2,4	6	1,0	0,6	1,8	6	1,0	0,6	1,8	6				
SPAK254	0,8	0,7	0,8	2	0,5	0,4	0,7	6	0,7	0,5	0,9	6	0,7	0,4	1,0	6	0,7	0,4	1,0	6				
TOC	22,4	21,9	22,9	2	8,9	7,5	11,0	7	20,5	16,0	26,0	6	18,7	13,0	24,0	6	18,7	13,0	24,0	6				
Ca	0,9	0,9	0,9	2	8,6	3,5	12,0	7	0,9	0,8	0,9	6	0,9	0,8	0,9	6	0,9	0,8	0,9	6				
Mg	3,7	3,6	22,0	2	3,6	3,1	28,0	7	4,0	3,1	32,0	6	4,2	2,9	27,0	5	4,2	2,9	27,0	5				
Na	0,9	0,9	0,9	2	0,9	0,9	1,0	7	1,0	0,9	1,1	6	0,9	0,9	1,0	5	0,9	0,9	1,0	5				
K	0,01	0,01	0,01	2	0,01	n.n.	0,03	7	0,06	n.n.	0,34	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	6				
Fe	0,08	0,05	0,11	2	n.n.	n.n.	0,01	7	0,03	n.n.	0,13	6	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	6				
Mn	0,24	0,12	0,35	2	0,07	0,06	0,09	7	0,13	0,06	0,25	6	0,14	0,12	0,15	6	0,14	0,12	0,15	6				
Al	0,0004	0,0002	0,0005	2	n.n.	n.n.	n.n.	7	0,0001	n.n.	0,0002	6	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	5				
Cd	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	0,01	7	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	6				
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	2	0,001	n.n.	0,006	7	n.n.	n.n.	0,001	6	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	5				
Cu	n.n.	n.n.	0,01	2	0,03	n.n.	0,14	6	0,01	n.n.	0,03	6	n.n.	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	0,02	5				
NH4	2,4	2,3	2,4	2	3,4	2,1	4,5	7	2,4	2,4	2,5	6	2,4	2,3	2,6	6	2,4	2,3	2,6	6				
Cl	0,2	0,2	0,2	2	0,2	0,2	0,3	7	0,2	0,1	0,2	6	0,2	0,1	0,3	6	0,2	0,1	0,3	6				
F	14,4	14,2	14,6	2	14,0	13,2	15,7	7	14,9	13,4	17,2	6	14,8	13,6	17,1	6	14,8	13,6	17,1	6				
SO4	3,5	3,5	3,5	2	3,8	3,4	4,0	6	4,0	3,3	4,6	6	3,5	2,1	4,4	6	3,5	2,1	4,4	6				
NO3	0,01	0,01	0,01	2	0,01	n.n.	0,02	6	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,01	6				
NO2	0,01	n.n.	0,02	2	0,03	n.n.	0,08	7	0,03	n.n.	0,08	6	0,10	n.n.	0,26	6	0,10	n.n.	0,26	6				
PO4																								

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 93: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8421 der Wasserversorgung 842

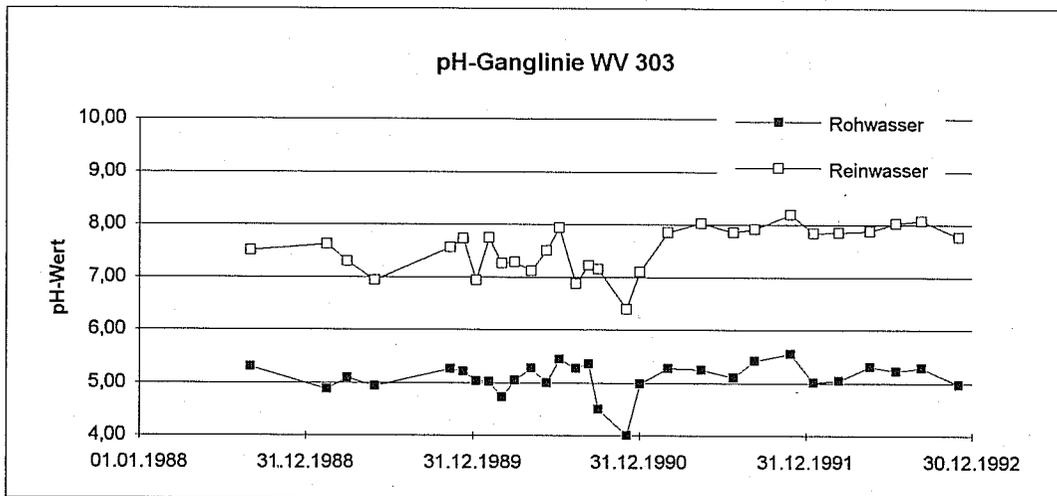
Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl														
	pH-Wert	5,10	5,10	5,10	2	5,53	6	5,28	5,10	5,70	6	5,48	5,10	6,10	6	5,48	5,10	6,10	6	5,48	5,10	6,10	6	
Delta-pH	-2,97	-2,95	-2,99	2	-2,61	6	-2,86	-2,40	-3,20	6	-2,64	-2,11	-3,07	6	-2,64	-2,11	-3,07	6	-2,64	-2,11	-3,07	6		
pHc-Wert	8,07	8,05	8,10	2	8,15	6	8,15	8,06	8,31	6	8,12	8,03	8,21	6	8,12	8,03	8,21	6	8,12	8,03	8,21	6		
Temp.	8,0	6,6	9,3	2	9,2	6	8,0	8,0	10,3	6	8,0	5,5	10,9	6	8,7	6,4	11,6	6	8,7	6,4	11,6	6		
LF	110	108	111	2	104	6	104	90	122	6	104	96	117	6	123	121	124	6	123	121	124	6		
O2	9,7	9,5	9,9	2	9,8	6	10,2	9,6	10,2	6	10,2	9,8	11,3	6	10,4	9,4	11,2	6	10,4	9,4	11,2	6		
°dH	1,3	1,3	1,4	2	1,5	6	1,3	1,2	2,0	6	1,3	1,2	1,7	6	1,5	1,3	1,9	6	1,5	1,3	1,9	6		
Calcitlösek.	75,9	72,3	79,6	2	64,6	6	68,8	54,0	78,4	6	68,8	54,0	76,9	6	67,8	48,6	81,3	6	67,8	48,6	81,3	6		
KS4.3	0,03	0,02	0,03	2	0,12	6	0,05	0,03	0,30	6	0,05	0,02	0,13	6	0,09	0,02	0,26	6	0,09	0,02	0,26	6		
KB8.2	0,78	0,74	0,82	2	0,66	6	0,70	0,54	0,79	6	0,69	0,49	0,84	6	0,69	0,49	0,84	6	0,69	0,49	0,84	6		
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0														
SiO2	5,7	5,5	5,9	2	7,2	6	6,7	6,2	8,4	6	6,7	6,5	6,9	6	7,0	5,0	9,0	6	7,0	5,0	9,0	6		
SPAK254	0,7	0,4	1,0	2	0,3	6	1,6	1,0	2,8	6	1,6	1,0	2,8	6	0,7	0,2	1,6	6	0,7	0,2	1,6	6		
TOC	0,5	0,4	0,5	2	0,5	6	0,6	0,3	1,1	6	0,6	0,3	1,1	6	0,5	0,2	0,9	6	0,5	0,2	0,9	6		
Ca	6,1	5,9	6,3	2	7,4	6	6,2	5,3	8,2	6	6,2	5,3	8,2	6	7,0	5,8	10,0	6	7,0	5,8	10,0	6		
Mg	2,1	2,1	2,1	2	2,2	6	2,1	1,9	2,5	6	2,1	1,9	2,5	6	2,1	1,9	2,7	6	2,1	1,9	2,7	6		
Na	10,3	9,9	22,0	2	8,4	6	9,4	8,0	32,0	6	9,4	8,0	32,0	6	9,8	8,7	27,0	5	9,8	8,7	27,0	5		
K	1,6	1,6	1,6	2	1,6	6	1,7	1,6	1,8	6	1,7	1,6	1,8	6	1,7	1,5	2,3	5	1,7	1,5	2,3	5		
Fe	0,03	0,02	0,03	2	0,01	6	0,01	0,01	0,02	6	0,01	0,01	0,01	6	0,02	0,01	0,02	6	0,02	0,01	0,02	6		
Mn	0,07	0,07	0,07	2	0,06	6	0,06	0,06	0,06	6	0,06	0,06	0,06	6	0,06	0,05	0,07	6	0,06	0,05	0,07	6		
Al	0,19	0,18	0,20	2	0,13	6	0,15	0,12	0,20	6	0,15	0,12	0,20	6	0,17	0,10	0,20	6	0,17	0,10	0,20	6		
Cd	0,0001	0,0001	0,0001	2	0,0001	6	0,0001	n.n.	0,0003	6	0,0001	n.n.	0,0002	6	n.n.	n.n.	0,0002	5	n.n.	n.n.	0,0002	5		
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	2	0,02	6	0,02	0,01	0,02	6	0,02	0,01	0,02	6	0,02	0,01	0,02	6	0,02	0,01	0,02	6		
Cu	0,001	n.n.	0,001	2	0,001	6	0,002	n.n.	0,004	6	0,002	n.n.	0,004	6	0,001	n.n.	0,002	5	0,001	n.n.	0,002	5		
NH4	n.n.	n.n.	0,01	2	0,06	6	0,02	n.n.	0,33	6	0,02	n.n.	0,06	6	n.n.	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	0,01	5		
Cl	19,5	19,0	20,0	2	16,6	6	20,3	17,0	22,0	6	20,3	17,0	22,0	6	17,4	10,5	21,0	6	17,4	10,5	21,0	6		
F	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	0,1	6		
SO4	7,2	7,0	7,4	2	6,4	6	6,7	5,4	8,4	6	6,7	5,4	8,4	6	6,4	4,8	7,6	6	6,4	4,8	7,6	6		
NO3	12,3	12,0	12,6	2	13,0	6	12,1	10,2	14,7	6	12,1	10,2	14,7	6	13,0	9,8	17,7	6	13,0	9,8	17,7	6		
NO2	0,01	0,01	0,01	2	n.n.	6	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	6		
PO4	0,01	n.n.	0,02	2	0,01	6	0,01	n.n.	0,04	6	0,01	n.n.	n.n.	6	0,01	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,02	5		

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

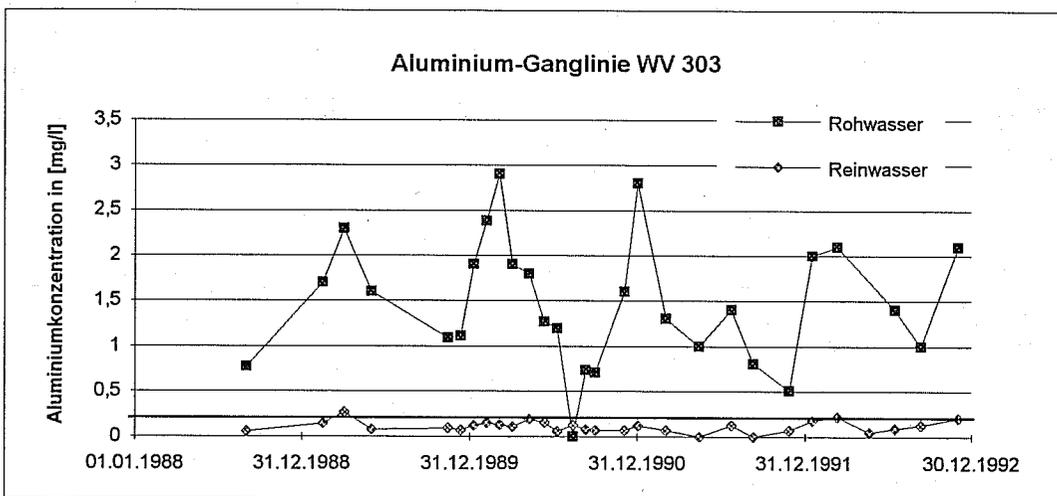
Tab. 94: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8429 der Wasserversorgung 842

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl		
	pH-Wert	7,05	7,00	7,10	2	7,52	7,20	7,80	6	7,38	7,00	7,60	6	7,52	7,20	7,90	5							
Delta-pH	-1,22	-1,12	-1,31	2	-0,79	-0,65	-0,98	6	-0,96	-0,79	-1,24	6	-0,85	-0,47	-1,08	5								
pHc-Wert	8,27	8,23	8,31	2	8,30	8,18	8,45	6	8,35	8,25	8,48	6	8,38	8,23	8,53	5								
Temp.	7,3	6,5	8,0	2	9,0	7,8	10,2	6	7,9	6,4	10,8	6	7,9	5,7	11,8	5								
LF	193	182	203	2	176	157	191	6	173	159	188	6	208	195	215	5								
O2	10,7	10,6	10,8	2	10,7	10,4	11,0	6	11,1	10,2	12,5	6	11,6	11,1	12,4	5								
°dH	4,4	4,0	4,9	2	4,5	3,9	5,0	6	3,9	3,6	4,1	6	4,0	3,8	4,2	5								
Calcitfösek.	15,3	13,1	17,5	2	8,8	3,2	15,7	6	10,5	4,2	19,1	6	8,0	1,9	15,1	5								
KS4.3	0,94	0,81	1,07	2	1,00	0,92	1,09	6	0,99	0,88	1,06	6	0,98	0,85	1,05	5								
KB8.2	0,15	0,13	0,17	2	0,08	0,02	0,16	6	0,10	0,03	0,19	6	0,07	0,01	0,15	5								
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0								
SiO2	6,3	5,9	6,6	2	7,3	6,4	8,3	6	6,7	6,3	7,0	6	7,0	5,0	9,5	5								
SPAK254	1,2	0,8	1,6	2	0,8	0,2	1,2	6	1,6	0,8	2,4	6	1,0	0,6	1,8	5								
TOC	0,5	0,4	0,5	2	0,4	0,4	0,5	6	0,6	0,3	0,8	6	0,6	0,4	0,9	5								
Ca	27,6	24,5	30,7	2	27,8	24,0	31,0	6	24,3	23,0	26,0	6	25,4	23,0	27,0	5								
Mg	2,6	2,5	2,7	2	2,6	2,2	2,9	6	2,1	1,8	2,3	6	2,1	1,9	2,5	5								
Na	9,8	9,7	22,0	2	8,3	7,5	28,0	6	9,4	8,0	32,0	6	10,1	9,0	27,0	4								
K	1,7	1,7	1,7	2	1,7	1,4	2,1	6	1,7	1,6	1,8	6	1,8	1,4	2,4	4								
Fe	0,01	0,01	0,01	2	n.n.	n.n.	0,01	6	0,02	n.n.	0,05	6	0,01	n.n.	0,02	5								
Mn	0,02	0,02	0,02	2	0,01	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,02	5								
Al	0,04	0,02	0,05	2	0,01	n.n.	0,07	6	0,03	n.n.	0,10	6	0,02	n.n.	0,06	5								
Cd	0,0001	0,0001	0,0001	2	0,0001	n.n.	0,0002	6	0,0001	n.n.	0,0001	6	0,0001	n.n.	0,06	5								
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	2	0,01	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	n.n.	4								
Cu	0,001	n.n.	0,001	2	0,001	n.n.	0,001	6	0,001	n.n.	0,002	6	0,001	n.n.	0,01	5								
NH4	n.n.	n.n.	n.n.	2	0,07	n.n.	0,43	6	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,03	4								
Cl	19,5	19,0	20,0	2	16,7	13,5	19,0	6	19,7	17,0	22,0	6	19,4	15,6	21,0	5								
F	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	0,1	5								
SO4	6,9	6,7	7,1	2	6,1	4,4	6,9	6	6,7	5,4	9,0	6	6,5	4,8	7,6	5								
NO3	17,3	17,2	17,3	2	15,5	13,3	18,2	6	12,0	10,2	13,9	6	12,4	9,8	16,8	5								
NO2	0,03	0,01	0,05	2	0,10	n.n.	0,59	6	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,05	5								
PO4	0,01	n.n.	0,02	2	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	0,02	6	n.n.	n.n.	0,05	5								

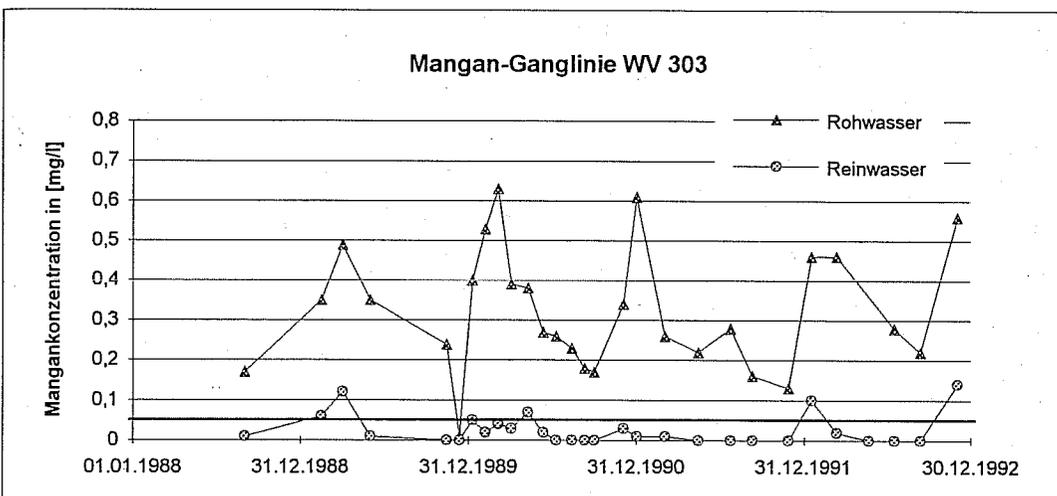
(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)



a)



b)



c)

Abb. 26: Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Fichtelgebirge

4.3.2 Untersuchungsgebiet Lehstenbach

4.3.2.1 Forstinventur und Waldzustand

Im Untersuchungsgebiet Lehstenbach stockt die Baumart Fichte auf 100% der Fläche (Tab. 95). Diese Bestockung weicht stark von der natürlichen Baumartenzusammensetzung ab, die in den Höhenlagen unter 800 m vor allem von Buche geprägt wäre. Die Verhältnisse des Einzugsgebietes sind durch die Untersuchungsbestände gut repräsentiert.

Tab. 95: Forstinventurdaten im Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fläche	Fichtelgebirge		Lehstenbach		Forstinventurdaten 1988	
	01	02	03	04	05	06
Höhenlage (m ü. NN)	770	733	710	718	758	778
Alter (Jahre)	93	52	103	47	117	42
Flächengröße (ha)	0,1341	n.b.	0,1085	n.b.	0,0676	n.b.
gesamt: Fi	522; 100	n.b.; 100	452; 96	n.b.; 100	651; 100	n.b.; 100
Baumzahl/ha; %-Anteil Ki	0; 0	0; 0	18; 4	0; 0	0; 0	0; 0
Kraftklasse 1 und 2: Fi	440; 100	n.b.; 100	396; 99	n.b.; 100	577; 100	n.b.; 100
Ki	0; 0	0; 0	9; 1	0; 0	0; 0	0; 0
Baumhöhe (m)	25,13	19,93	26,95	17,12	25,02	14,90
Kronenlänge (m)	10,37	9,48	11,50	9,02	10,38	9,15
Höhe des Kronenansatzes(m)	14,76	10,45	15,45	8,10	14,64	5,75
Brusthöhendurchmesser (m)	0,272	0,273	0,337	0,237	0,318	0,230
Kreisfläche (m ² /ha)	43,372	36,000	41,917	44,000	51,604	28,000
Vorrat (Efm. o. R. /ha)	430,39	281,86	437,38	295,32	503,56	207,84

Baumarten : Fi = Fichte, Ki=Kiefer
 Baumhöhe, Kronenlänge und Höhe des Kronenansatzes : arithmetisches Mittel aus 10% der Bäume aller Kraftklassen
 Brusthöhendurchmesser : arithmetisches Mittel der Bäume der Kraftklasse 1 und 2
 Kreisfläche : ermittelt aus allen Bäumen nach BITTERLICH (1952)
 Vorrat : Berechnung für über 60-jährige Bestände nach KRENN (1950), für die jüngeren Bestände über die Derbholzformzahl-Tafel nach FRANZ (1972) in Erntefestmetern ohne Rinde (Efm. o. R.)

Fortsetzung Tab. 95:

Fichtelgebirge	Lehstenbach			Forstinventurdaten 1988			
	Baumartenverteilung in %				Altersgruppenverteilung in %		
	Fi	Ki	Bu	Ei	< 60 Jahre	60-120 Jahre	> 120 Jahre
Gesamtgebiet (91 Stichprobenpunkte)	100	0	0	0	22	63	15

Aus den Ergebnissen der Schadansprache in Tab. 96 geht hervor, daß die älteren Bestände 01, 03 und 05 deutlich stärker als die jüngeren geschädigt sind. Eine Ausnahme stellt der Jungbestand 06 dar, in dem während des Beobachtungszeitraums eine bedenkliche Schadentwicklung einsetzte.

Tab. 96: Waldzustandsdaten im Untersuchungsgebiet
Lehstenbach

Fichtelgebirge			Lehstenbach									
Fläche	Jahr	Typ	Schadstufenverteilung									
			Schadstufe									
			0		1		2		3		4	
n	%	n	%	n	%	n	%	n	%			
Gesamtgebiet	1986	Luftb.Interp.	*	7	*	61	*	31	*	1	*	*
Gesamtgebiet	1990	Luftb.Interp.	*	1	*	54	*	44	*	1	*	*
01	1986	Luftb.Interp.	3	5	33	52	25	40	2	3	*	*
01	1988	Terr.Anspr.	5	9	29	53	21	38	*	*	*	*
01	1990	Luftb.Interp.	2	4	31	54	23	40	1	2	*	*
01	1990	Terr.Anspr.	*	*	37	66	18	32	1	2	*	*
01	1991	Terr.Anspr.	4	7	37	69	13	24	*	*	*	*
01	1992	Terr.Anspr.	*	*	30	59	19	37	2	4	*	*
02	1988	Terr.Anspr.	8	35	14	61	1	4	*	*	*	*
02	1990	Terr.Anspr.	20	87	2	9	1	4	*	*	*	*
02	1991	Terr.Anspr.	17	74	5	22	1	4	*	*	*	*
02	1992	Terr.Anspr.	17	74	6	26	*	*	*	*	*	*
03	1986	Luftb.Interp.	4	9	28	61	14	30	*	*	*	*
03	1988	Terr.Anspr.	5	12	15	35	22	51	1	2	*	*
03	1990	Luftb.Interp.	2	4	20	43	24	52	*	*	*	*
03	1990	Terr.Anspr.	2	5	26	62	13	31	1	2	*	*
03	1991	Terr.Anspr.	2	5	23	55	16	38	1	2	*	*
03	1992	Terr.Anspr.	*	*	27	68	13	33	*	*	*	*
04	1988	Terr.Anspr.	34	97	1	3	*	*	*	*	*	*
04	1990	Terr.Anspr.	35	100	*	*	*	*	*	*	*	*
04	1991	Terr.Anspr.	34	97	1	3	*	*	*	*	*	*
04	1992	Terr.Anspr.	34	97	1	3	*	*	*	*	*	*
05	1986	Luftb.Interp.	7	19	27	73	3	8	*	*	*	*
05	1988	Terr.Anspr.	8	21	23	59	8	21	*	*	*	*
05	1990	Luftb.Interp.	1	3	25	68	11	30	*	*	*	*
05	1990	Terr.Anspr.	2	5	29	78	6	16	*	*	*	*
05	1991	Terr.Anspr.	11	31	22	61	3	8	*	*	*	*
05	1992	Terr.Anspr.	4	11	23	64	9	25	*	*	*	*
06	1988	Terr.Anspr.	31	86	5	14	*	*	*	*	*	*
06	1990	Terr.Anspr.	29	81	7	19	*	*	*	*	*	*
06	1991	Terr.Anspr.	23	64	5	14	4	11	4	11	*	*
06	1992	Terr.Anspr.	20	63	6	19	2	6	3	9	1	3

Luftb.Interp.: Luftbildinterpretation

Terr.Anspr.: Terrestrische Schadansprache

4.3.2.2 Deposition

Der Untersuchungszeitraum ist im Untersuchungsgebiet Lehstenbach analog zum Gebiet Spessart von Trockenheit geprägt. An der DWD-Station Zell nordwestlich des Untersuchungsgebietes wird das langjährige Mittel von 982 mm (1931 - 60) in keinem der fünf Jahre von 1988 bis 1992 erreicht (Tab. 97), was im wesentlichen auf trockene Sommerhalbjahre zurückzuführen ist.

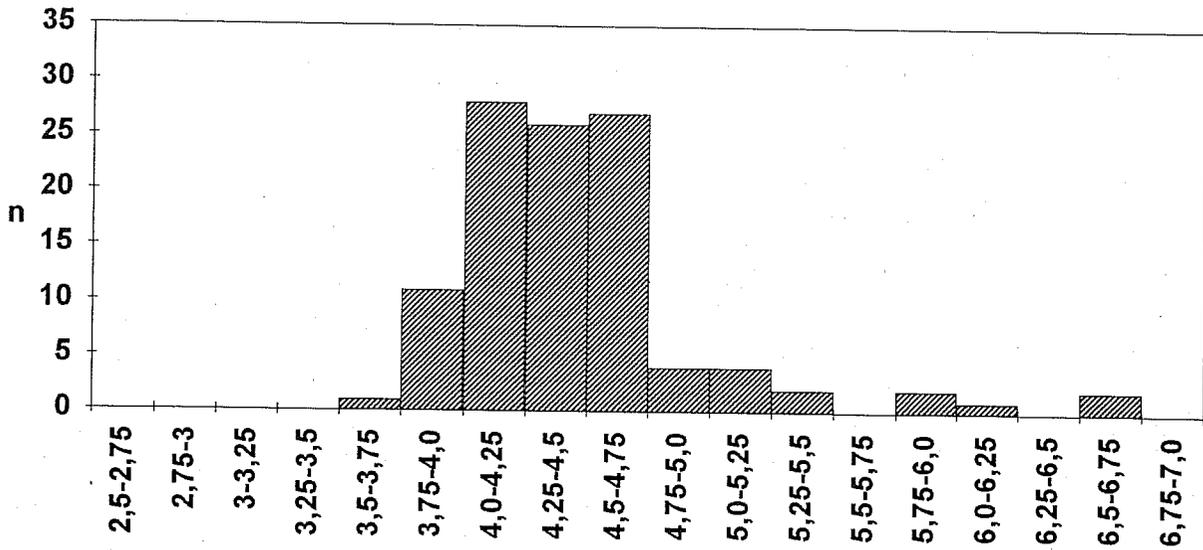
Tab. 97: Jahresniederschläge in mm im Untersuchungsgebiet Lehstenbach und an der DWD-Station Zell

Hydrologisches Jahr	Freifläche 12 785 m ü. NN	Zell (DWD) 620 m ü. NN	% vom 30-jährigen Mittel
1988	928	952	97
1989	954	924	94
1990	804	762	78
1991	821	721	73
1992	930	976	99

1990 und 1991 sind im Vergleich mit dem 30-jährigem Mittel als Trockenjahre zu bezeichnen. Im Gegensatz zur Situation im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser sind auch die Niederschläge des Jahres 1992 nur annähernd durchschnittlich.

Die Konzentrationen der Inhaltsstoffe im Freilandniederschlag sind im Gebietsvergleich hoch (Tab. 98). Die pH-Werte bewegen sich im niederschlagsgewichteten Jahresmittel zwischen 4,1 und 4,4. Ihre Häufigkeitsverteilung zeigt ein breites Maximum zwischen 4,0 und 4,75 (Abb. 27). Die Säureanionen Sulfat und Nitrat liegen in mittleren Konzentrationen von 3,2 bis 5,7 mg·l⁻¹ bzw. 2,7 bis 3,3 mg·l⁻¹ vor. Einzelne Werte erreichen im Zusammenhang mit geringen Niederschlagsmengen Konzentrationen von 20 bis 30 mg·l⁻¹. Die hohe Immissionsbelastung des nordostbayerischen Raumes mit Säuren und Säurebildnern wird aus den niedrigen pH-Werten im Bestandsniederschlag ersichtlich.

Häufigkeitsverteilung pH-Wert Freifläche 12



Häufigkeitsverteilung pH-Wert Fichte 01

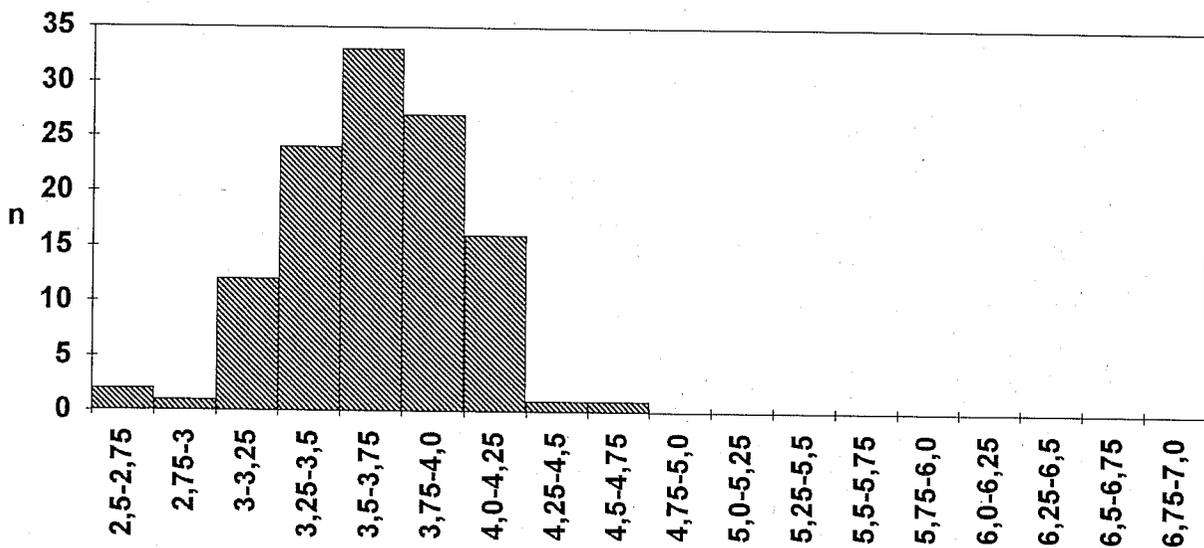


Abb. 27: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Niederschlag im Untersuchungsgebiet Lehstenbach (1988 - 1992)

Aus den hohen Stoffkonzentrationen im Bestandsniederschlag im Vergleich zum Freilandniederschlag ist der starke Auskämmeffekt der Fichtenaltbestände ersichtlich (Tab. 99). Sulfat erreicht Jahresmittelkonzentrationen von 15 bis 20 mg·l⁻¹. Die Tendenz der Jahresmittelwerte ist fallend.

Tab. 98: Beschaffenheitsdaten des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fichtegebirge Niederschlag		Lehstenbach Meßfläche: 12		Freiland		1988		1989		1990		1991		1992	
		TK25: 5837				WHA: Bayreuth		TK25: 5837		WHA: Bayreuth		TK25: 5837		WHA: Bayreuth	
		Meßstelle: 312310				Meßstelle: 312310				Meßstelle: 312310				Meßstelle: 312310	
Hydrolog. Jahr:	1988	1989	1990	1991	1992										
	MW	MAX	MIN	STD	n	pH v0	pH Lab	pH v0	pH Lab	pH v0	pH Lab	pH v0	pH Lab	pH v0	pH Lab
	4,30	3,84	5,18	12	25	4,31	3,78	4,31	3,84	4,39	3,84	4,39	3,84	4,41	3,95
	4,38	3,90	5,20	12	25	4,44	3,88	4,37	3,80	4,37	3,80	4,37	3,80	4,49	4,02
	36	80	16	16,0683	11	33	122	33	82	31	82	31	82	28	96
	37	114	13	20,0009	12	32	118	32	76	31	76	31	76	27	82
	5,7	21,1	1,9	2,7061	12	3,8	19,1	3,8	30,7	4,0	30,7	4,0	30,7	3,2	9,3
	3,3	13,0	1,5	0,8089	12	2,7	7,8	2,7	1,3	2,8	23,7	2,8	23,7	2,8	13,4
	0,5	1,3	n.n.	0,4362	12	0,5	1,6	0,5	n.n.	0,2	2,4	0,2	2,4	0,2	2,4
	HC03	2,8	3,7	2,4	1,0532	2	2,4	2,4	2,4	7,3	11,0	7,3	11,0	2,8	6,7
	NO2	0,01	0,04	n.n.	0,0094	12	0,05	n.n.	n.n.	0,0075	21	0,05	n.n.	0,01	0,05
	o-P04	0,04	0,38	n.n.	0,0515	12	0,06	n.n.	0,0102	21	0,09	2,09	n.n.	0,04	0,37
	Ca	0,7	2,5	n.n.	0,2661	12	0,6	5,0	0,2	0,3728	20	0,5	13,0	0,4	1,3
	Mg	n.n.	0,3	n.n.	0,0393	12	0,1	0,5	n.n.	0,0566	20	n.n.	0,6	n.n.	0,2
	Na	0,9	2,1	0,1	0,4164	12	0,7	1,6	0,2	0,5643	20	0,4	1,8	0,5	1,8
	K	0,4	1,3	n.n.	0,2654	12	0,2	0,8	n.n.	0,1489	20	0,2	1,6	0,2	0,6
	NH4	1,598	6,182	0,425	0,7267	11	1,102	5,538	0,270	0,7372	21	1,092	9,274	0,978	4,212
	Al	0,02	0,02	0,02	0,0000	1	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1	0,02	0,06	n.n.	0,06
	Fe	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1	0,01	0,01	0,01	0,0000	1	0,05	0,09	0,02	0,05
	Mn	0,01	0,08	n.n.	0,0077	12	n.n.	0,05	n.n.	0,0097	20	n.n.	0,07	n.n.	0,04
	Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1	0,002	0,002	0,002	0,0000	1	0,004	0,009	0,003	0,004
	Cd	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1	0,0003	0,0003	0,0003	0,0000	1	0,0002	0,0007	0,0002	0,0002
	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1	0,01	0,01	0,01	0,0000	1	0,03	0,08	0,06	0,10
	Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1	n.n.	0,02	n.n.	0,01
	TOC	3,0	11,0	1,0	2,7453	12	1,5	4,9	0,6	2,1212	21	1,5	7,3	1,7	11,0
	SPAK254	1,2	5,0	0,2	0,6550	12	1,5	4,2	0,6	0,7794	21	7,1	90,0	2,5	5,2

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KB6,2 in mmol/l)

Tab. 99: Beschaffenheitsdaten des Bestandsniederschlags im Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fichtelgebirge Niederschlag		Lehstenbach Meßfläche: 01		Bestand Fichte		1988		1989		1990		1991		1992									
Hydrof. Jahr: 1988		Hydrof. Jahr: 1988		Hydrof. Jahr: 1988		Hydrof. Jahr: 1988		Hydrof. Jahr: 1989		Hydrof. Jahr: 1990		Hydrof. Jahr: 1991		Hydrof. Jahr: 1992									
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n				
pH VO	3,54	2,54	4,21	17	pH VO	3,61	3,14	4,19	24	pH VO	3,66	3,21	4,11	21	pH VO	3,62	2,61	4,54	24				
pH Lab	3,65	3,22	4,30	17	pH Lab	3,71	3,19	4,25	24	pH Lab	3,74	3,27	4,21	21	pH Lab	3,58	2,51	4,48	24				
LF VO	159	723	38	122,8087	19	156	556	61	75,7188	24	141	482	47	85,6548	21	154	1833	55	133,3730	24			
LF Lab	162	651	37	115,5382	16	140	343	57	69,7282	23	132	450	44	80,5497	21	135	1750	52	121,2188	23			
S04	21,5	108,2	5,2	15,0284	19	S04	19,4	102,0	8,4	9,1501	24	S04	15,6	72,5	4,0	10,0442	21	S04	18,2	345,0	4,1	15,8368	22
NO3	8,3	36,0	3,9	4,7967	19	NO3	7,6	24,5	n.n.	3,6776	24	NO3	8,4	27,8	3,0	3,8198	21	NO3	8,3	137,0	n.n.	6,2584	22
Cl	1,7	5,5	0,7	1,1832	19	Cl	1,8	4,6	n.n.	1,1877	24	Cl	2,5	6,1	1,1	1,5198	21	Cl	1,5	13,7	n.n.	0,9533	22
HCO3	2,2	2,4	1,8	1,3508	2	HCO3	0,6	0,6	0,6	0,0000	1	HCO3	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	0	HCO3	0,02	0,02	0,0000	0	
NO2	n.n.	0,09	n.n.	0,0077	18	NO2	0,04	0,45	n.n.	0,1668	24	NO2	n.n.	0,06	n.n.	0,0090	21	NO2	0,02	1,64	n.n.	0,0470	23
o-P04	0,07	0,57	n.n.	0,0526	18	o-P04	0,06	0,36	n.n.	0,0664	24	o-P04	0,04	0,29	n.n.	0,0421	21	o-P04	0,10	1,75	n.n.	0,1116	23
Ca	2,4	12,0	0,4	1,3875	19	Ca	2,7	15,9	0,8	1,2390	24	Ca	2,3	10,0	0,9	1,3277	20	Ca	2,2	32,0	0,5	1,7103	23
Mg	0,4	1,7	n.n.	0,3300	19	Mg	0,4	1,6	0,2	0,1624	24	Mg	0,4	1,6	0,2	0,1627	20	Mg	0,3	5,8	0,1	0,2350	23
Na	1,6	3,7	0,7	1,4357	19	Na	1,3	2,9	0,7	0,6768	24	Na	1,6	3,8	0,7	1,1140	20	Na	1,0	8,2	0,3	0,7035	23
K	3,0	13,2	0,3	1,8325	19	K	3,0	10,4	1,2	1,3813	24	K	2,9	11,0	0,6	1,7125	20	K	2,8	32,0	0,3	2,0154	23
NH4	1,991	10,046	0,500	1,1112	18	NH4	2,034	9,402	0,876	0,9679	24	NH4	2,018	10,626	0,374	1,2128	21	NH4	2,107	48,944	0,167	1,8036	23
Al	0,05	0,09	0,01	0,0502	2	Al	0,19	0,21	0,14	0,1211	2	Al	0,02	0,02	0,02	0,0000	1	Al	1,44	8,50	0,37	1,3223	3
Fe	0,05	0,07	0,03	0,0223	2	Fe	0,08	0,08	0,08	0,0282	2	Fe	0,03	0,03	0,03	0,0000	1	Fe	0,62	3,20	0,17	0,4358	3
Mn	0,18	0,71	n.n.	0,2464	19	Mn	0,15	0,78	0,05	0,0654	24	Mn	0,10	0,47	0,02	0,0625	20	Mn	0,13	2,00	0,01	0,0912	23
Pb	0,004	0,007	0,001	0,0048	2	Pb	0,007	0,007	0,007	0,0029	2	Pb	0,003	0,003	0,003	0,0000	1	Pb	0,033	0,170	0,013	0,0236	3
Cd	0,0001	0,0002	n.n.	0,0002	2	Cd	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001	2	Cd	0,0002	0,0002	0,0002	0,0000	1	Cd	0,0005	0,0008	0,0003	0,0003	3
Zn	0,02	0,03	0,02	0,0039	2	Zn	0,12	0,16	0,05	0,1207	2	Zn	0,04	0,04	0,04	0,0000	1	Zn	0,23	1,10	0,05	0,1503	3
Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2	Ba	0,01	0,01	0,01	0,0041	2	Ba	0,01	0,01	0,01	0,0000	1	Ba	0,02	0,06	0,01	0,0066	3
TOC	10,7	43,0	2,8	4,9458	18	TOC	12,3	40,5	0,9	14,0959	24	TOC	10,1	50,0	4,4	4,9556	21	TOC	12,5	93,0	1,1	11,6279	22
SPAK254	12,7	33,3	1,8	6,3610	18	SPAK254	12,9	32,2	5,2	7,6068	24	SPAK254	12,5	42,0	5,4	7,1378	21	SPAK254	30,7	200,0	4,2	27,8838	23

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µs/cm, SPAK254 in 1/m, K88,2 in mmol/l)

Auf ein Ereignis im März 1991, das sowohl im Fichtelgebirge als auch im Bayerischen Wald registriert wurde, sei speziell hingewiesen. Dabei ging eine geringe Niederschlagsmenge von wenigen mm mit sehr hohen Konzentrationen und el. Leitfähigkeiten bis über $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ einher.

Erhöhte Aluminium- und Eisenkonzentrationen zeigen, daß auch Spurenmetalle über Interzeptionsvorgänge im Kronenraum angereichert werden. Mangan, das ebenfalls mit mehreren $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ im Bestandsniederschlag zu finden ist, entstammt dagegen hauptsächlich dem bestandsinternen Stoffkreislauf.

Die Stoffdepositionen mit dem Freilandniederschlag erreichen trotz bedeutend geringerer Niederschläge ähnliche Größenordnungen wie im Untersuchungsgebiet Markungsgraben (s. Kap. 4.5.2.2). Bei vergleichbarer Deposition von Sulfat-Schwefel bleiben die Einträge an freier Säure tendenziell unter denen im Bayerischen Wald. Die Freilanddeposition von Sulfat-Schwefel zeigt eine abnehmende Tendenz, die von 1988 auf 1992 ca. 40% ausmacht (Tab. 100). Diesem Trend folgen auch die Depositionen von Protonen und Erdalkalien. Die Stickstoffeinträge liegen in den ersten beiden Jahren bei ca. $17 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ und sinken in den Jahren 1990 bis 1992 auf $12 - 14 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$, was im wesentlichen auf den veränderten Eintrag von Ammonium-Stickstoff zurückzuführen ist.

Tab. 100: Freilanddeposition in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Jahr	$h_N(\text{mm})$	$\text{H}^+\text{v0}$	Cl	$\text{SO}_4\text{-S}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	Ca	Mg	Na	K	$\text{NH}_4\text{-N}$	Mn
1988	930	0,57	5,6	16,0	6,9	0,10	6,3	1,1	8,6	3,8	10,1	0,1
1989	965	0,65	3,8	14,5	6,8	0,10	6,0	1,0	5,2	2,2	10,1	0,1
1990	810	0,38	4,6	10,6	5,1	0,03	5,2	0,9	5,0	1,5	7,0	0,1
1991	821	0,33	1,7	10,9	5,3	0,25	4,4	0,8	3,4	2,0	7,0	0,1
1992	930	0,36	1,6	9,9	6,0	0,11	3,8	0,8	4,6	1,9	7,2	0,1

Die hohe Immissionsbelastung des Fichtelgebirges wirkt sich erheblich auf die mit dem Bestandsniederschlag erfaßte Gebietsdeposition aus (Tab. 101). Dabei erreicht die Summe der de-

ponierten anorganischen Inhaltsstoffe im Jahr 1989 Spitzenwerte von über $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Der Protonen- und Schwefeleintrag beträgt das 3- bis 4-fache der Freilanddeposition. Freie Säure erreicht 1988 mit $2,56 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ das 4,5-fache der Freilanddeposition. Maximale Schwefeldepositionen (bis $70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$) auf Fläche 03 (Altfichte) sind an maximale Protoneneinträge (bis $2,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$) gekoppelt.

Tab. 101: Gebietsdeposition mit dem Bestandsniederschlag in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Jahr	$h_N(\text{mm})$	H^+vO	Cl	SO_4-S	NO_3-N	PO_4-P	Ca	Mg	Na	K	NH_4-N	Mn
1988	693	2,56	12,5	57,6	11,2	0,17	17,4	2,6	11,4	25,0	9,8	1,2
1989	785	2,20	13,7	60,4	12,2	0,18	24,6	3,5	8,6	28,8	11,5	1,6
1990	608	1,46	13,4	37,3	9,9	0,11	15,7	2,3	8,3	19,5	8,7	0,8
1991	629	1,71	9,1	44,5	10,5	0,21	15,8	2,3	5,7	21,2	9,3	0,9
1992	707	1,73	11,9	44,3	11,9	0,23	17,9	2,7	7,6	25,9	9,9	1,3

Die Säureeinträge gehen im Laufe der Untersuchung zurück. 1990 werden in Zusammenhang mit niedrigen Jahresniederschlägen die geringsten Einträge von freier Säure und Sulfat-Schwefel registriert. 1992 ist die Deposition von Protonen auf 68% und die von Sulfat-Schwefel auf 77% des Jahres 1988 zurückgegangen. Stickstoff dagegen unterliegt im Bestandsniederschlag keinem Rückgang. Er wird etwa zur Hälfte als Nitrat-Stickstoff und Ammonium-Stickstoff mit leichtem Übergewicht des Nitrat-Stickstoff deponiert. Die Deposition im Bestand erreicht Spitzenwerte von $27 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ im Jahre 1989 unter Altfichte (Bestand 01) und schwankt während des Meßzeitraums im Gebietsmittel zwischen 18 und $24 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$.

Die Einträge an Spurenmetallen im Untersuchungsgebiet Lehstenbach gibt Tab. 102 wieder. Eisen, Aluminium und Nickel werden im Vergleich der 4 Untersuchungsgebiete in den größten Mengen deponiert. Im Jahr 1992 werden für alle untersuchten Metalle

mit Ausnahme von Zink die geringsten Depositionen registriert, ein weiterer Hinweis auf die Verbesserung der örtlichen Immissions-situation.

Tab. 102: Deposition von Spurenmetallen im Freiland in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Jahr	Fe	Al	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
1989	536	563	168	76	2	2	4
1990	639	474	158	51	1	2	6
1991	409	360	86	46	1	3	4
1992	472	323	178	42	1	2	2

Blei wird 1992 nur mit $42 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ gegenüber von $76 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Jahre 1989 deponiert und zeigt über den gesamten Meßzeitraum rückläufigen Trend.

4.3.2.3 Boden und tiefere Sickerzone

4.3.2.3.1 Standortbeschreibung

Der geologische Untergrund des Untersuchungsgebietes besteht aus sauren Graniten. Bodenbildende Prozesse (Verlehmung, Verbraunung, Podsolierung) haben zur Entwicklung von Braunerden bis Braunerde-Podsolen mit grusig-sandig-lehmigem Substrat geführt. Auf einem Großteil der Flächen fand während der Eiszeiten Solifluktion statt, die sich heute in einer charakteristischen vertikalen Gliederung der Böden in eine lockere Hauptfolge und eine verdichtete Basisfolge widerspiegelt.

In den Jahren 1978 - 1985 wurden auf 15% des Untersuchungsgebietes $2 - 2,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ kohlen-saurer Magnesiakalk in Kombination mit einer Düngergabe von $0,5 - 0,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ Kalimagnesia bzw. $0,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ Hyperphos ausgebracht. Die Bestandsfläche 05 repräsentiert diesen Standortstyp der gekalkten Braunerden bis Podsole. Neben den terrestrischen Böden, die rund $2/3$ der Gebietsfläche bedecken, sind in verebneten Hang-, Mulden- und Tallagen auf 25% der Gebietsfläche Anmoorgleye und auf 10% Moore ausgebildet.

4.3.2.3.2 Sickerwasser

Sickerwasser wird auf 6 Meßflächen untersucht. Unter diesen repräsentiert Fläche 01 einen Altfichten-Standort, Fläche 06 einen Jungfichten-Standort, beide auf Verwitterungsbildungen granitischen Ursprungs. Fläche 02 repräsentiert die in den unteren Gebietsteilen und entlang der Quellbäche verbreiteten Moore.

Der Gesamtlösungsinhalt der Sickerwässer bewegt sich an den terrestrischen Standorten zwischen $1,5$ und $4,0 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ und auf den Naß- und Moorstandorten in Bereichen von $0,4$ bis $1,4 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$.

Meßfläche 01 befindet sich auf einem schwach geneigten Rücken in 770 m ü. NN . Stark schluffiger Verwitterungslehm über feingru-sig-sandiger Granitverwitterung bildet den Untergrund. Die Hauptinhaltsstoffe im Sickerwasser sind Aluminium und Sulfat, die $50 - 80\%$ der Gesamtmineralisation von $1,8 - 3,2 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ ausmachen. Das Sickerwasser ist bis $2,0 \text{ m}$ Tiefe stark sauer mit mittleren pH-Werten von $4,1 - 4,4$ im gesamten Meßprofil (Tab. 103, 104). Die Aluminiumkonzentrationen erreichen im Mittel $6 - 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, Mangan $0,4 - 0,6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Eisen erreicht Jahresmittelwerte von $0,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, zeitweilig bis zu $0,4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, dann verbunden mit pH-Werten unter $4,0$. Entsprechend den sauren Verhältnissen liegen geringe Gehalte austauschbarer Basenkationen ($7 - 9\%$ der Kationenaustauschkapazität) und pH(KCl)-Werte des Bodens von $4,1 - 4,2$ vor (Abb. 28).

Bei generell hohem Niveau erreichen die Sulfatkonzentrationen in 100 cm Tiefe ein maximales Jahresmittel von $67 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Zeitliche Entwicklung und Tiefenverteilung sind das Ergebnis von variierender Deposition und Prozessen der Festlegung und Freisetzung im Untergrund. Die Nitratkonzentration gehen im Untersuchungszeitraum in allen Meßtiefen zurück.

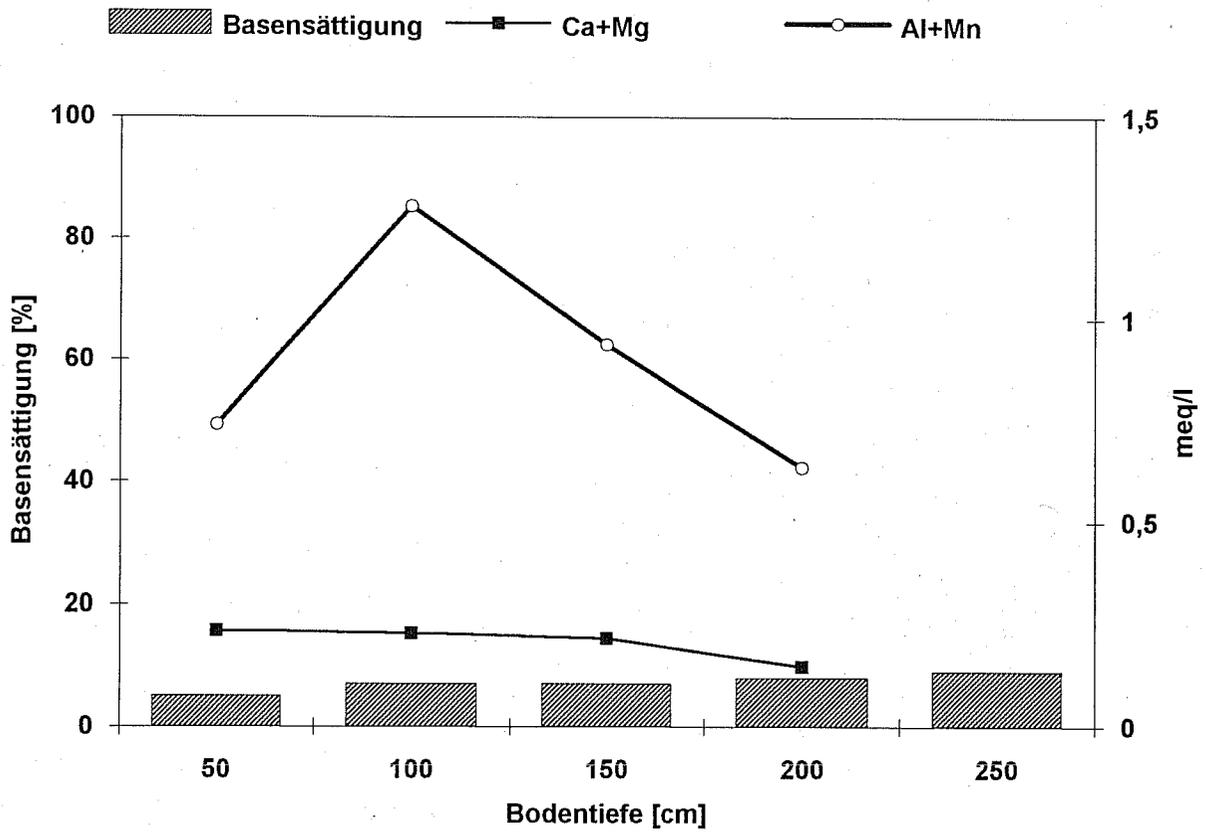


Abb. 28: Tiefenprofile der Summenkonzentrationen von Aluminium und Mangan bzw. Calcium und Magnesium im Vergleich zum %-Anteil an austauschbaren Basenkationen, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01

Tab. 103: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe

Fichtelgebirge Sickerwasser		Lehstenbach Meßfläche: 01		Tiefe: 050cm		TK25: 5837		WMA: Bayreuth Meßstelle: 3011050							
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992							
	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	3,63	3,60	3,70	*****	0	3,96	3,59	4,31	4,35	7	4,18	4,06	4,34	3,1832	11
pH Lab	4,8	6,6	3,0	1,4705	3	4,12	3,60	4,50	4,41	13	4,20	4,00	4,40	0,8985	11
LF VO	205	231	179	26,0000	2	138	141	135	2,1651	4	120	135	109	7,6238	7
LF Lab	205	231	179	26,0000	2	136	157	116	9,4519	11	117	132	104	8,6681	9
SO4	57,2	94,0	32,5	26,5403	3	39,5	43,1	34,4	2,7836	13	36,1	42,0	30,6	3,1832	11
NO3	16,1	18,4	14,1	1,7632	3	11,5	15,8	4,5	3,3735	13	3,0	4,1	2,1	0,8985	11
Cl	4,8	6,6	3,0	1,4705	3	2,4	3,2	1,6	0,5041	12	2,5	3,5	1,9	0,4759	10
HCO3	*****	*****	*****	*****	0	3,1	3,1	3,1	0,0000	1	*****	*****	*****	*****	0
NO2	0,01	0,01	0,01	0,0015	2	n.n.	0,02	n.n.	0,0048	13	n.n.	0,01	n.n.	0,0024	11
o-P04	0,54	0,67	0,41	0,1255	2	0,02	0,12	n.n.	0,0320	13	n.n.	0,03	n.n.	0,0115	11
Ca	5,5	6,2	4,8	0,7000	2	3,8	6,5	2,4	1,5919	13	2,8	6,3	1,1	1,3824	11
Mg	0,7	0,8	0,7	0,0750	2	0,9	1,1	0,7	0,0913	13	0,7	0,8	0,5	0,1044	11
Na	2,1	3,0	1,3	0,7040	3	1,8	2,8	1,2	0,3518	13	2,2	2,6	1,9	0,1924	11
K	12,3	12,3	12,3	0,0000	1	1,9	5,2	1,0	1,2848	12	1,4	3,5	0,6	0,8731	11
NH4	6,505	8,372	4,637	1,8675	2	0,125	0,258	0,002	0,0640	13	0,040	0,265	0,008	0,0738	11
Al	3,70	4,10	3,30	0,4000	2	6,93	8,87	3,30	1,7307	13	7,35	6,50	4,30	0,5933	11
Fe	0,34	0,36	0,31	0,0250	2	0,08	0,35	0,03	0,0851	13	0,06	0,17	0,02	0,0389	11
Mn	0,50	0,51	0,48	0,0150	2	0,48	0,76	0,33	0,1136	13	0,46	0,52	0,27	0,0730	11
Pb	0,005	0,006	0,003	0,0015	2	0,004	0,008	0,001	0,0022	11	0,004	0,009	0,001	0,0032	6
Cd	0,0007	0,0010	0,0003	0,0004	2	0,0016	0,0020	0,0012	0,0003	11	0,0015	0,0023	0,0012	0,0004	6
Cr	*****	*****	*****	*****	0	0,002	0,004	0,001	0,0012	10	*****	*****	*****	*****	0
Zn	0,10	0,15	n.n.	0,0685	3	0,11	0,28	n.n.	0,0712	14	0,06	0,14	n.n.	0,0560	15
Ba	0,05	0,05	0,04	0,0050	2	0,04	0,08	0,03	0,0134	13	0,03	0,04	0,02	0,0077	11
TOC	7,0	7,0	7,0	0,0000	1	12,1	31,0	6,6	8,5177	6	11,3	24,0	6,9	5,4860	7
SPAK254	71,0	102,0	40,0	31,0000	2	26,7	102,0	1,6	25,7810	13	50,4	78,0	27,6	14,2345	11
SPAK254						16,7	26,8	5,4	5,0692	11	50,4	78,0	27,6	14,2345	11
SPAK254											30,8	92,0	13,6	25,6006	9
SPAK254											10,4	31,0	5,7	8,0195	8
SPAK254											30,8	92,0	13,6	25,6006	9

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, K88,2 in mmol/l)

Tab. 104: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01, 200 cm Tiefe

Fichtegebirge Sickerwasser		Lehstenbach Meßfläche: 01		Tiefe: 200cm		WMA: Bayreuth Meßstelle: 3011200		TK25: 5837															
Hydrof. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992															
	MW	MAX	MIN	STD	n	pH VO	MW	MAX	MIN	STD	n	pH VO	MW	MAX	MIN	STD	n						
pH VO	*****	*****	*****	*****	0	0	4,33	4,07	4,46	4,50	10	4,41	4,17	4,53	10	4,41	4,17	4,53					
pH Lab	*****	*****	*****	*****	0	0	4,33	4,05	4,48	4,61	12	4,34	4,06	4,47	10	4,34	4,06	4,47					
LF VO	***	***	***	*****	2	2	126	164	111	90	15	110	130	132	98	105	132	98					
LF Lab	***	***	***	*****	0	0	125	174	113	94	15	106	128	158	94	106	158	94					
S04	*****	*****	*****	*****	5	5	30,2	37,0	26,6	26,4	21	S04	29,4	34,7	26,4	2,0660	17	S04	31,1	65,1	24,1	8,7312	17
NO3	*****	*****	*****	*****	5	5	15,2	22,0	10,1	10,3	21	NO3	10,6	13,7	6,6	2,0347	17	NO3	9,7	22,8	4,7	4,4175	18
Cl	*****	*****	*****	*****	5	5	2,5	4,4	1,8	2,2	21	Cl	2,2	4,3	1,2	0,7484	17	Cl	2,1	6,1	0,2	1,5214	18
HCO3	*****	*****	*****	*****	0	0	0,9	1,8	n.n.	0,9300	2	HCO3	*****	*****	*****	*****	0	HCO3	2,1	4,3	1,2	1,2782	4
NO2	*****	*****	*****	*****	0	0	n.n.	n.n.	n.n.	0,0026	21	NO2	n.n.	0,04	n.n.	0,0082	17	NO2	n.n.	0,03	n.n.	0,0062	16
o-PO4	*****	*****	*****	*****	5	5	n.n.	0,02	n.n.	0,0068	21	o-PO4	n.n.	0,02	n.n.	0,0042	17	o-PO4	0,01	0,13	n.n.	0,0362	16
Ca	*****	*****	*****	*****	5	5	1,9	4,3	1,0	0,7267	20	Ca	1,7	2,7	1,2	0,3967	16	Ca	2,1	9,9	1,2	1,9162	19
Mg	*****	*****	*****	*****	5	5	0,6	0,9	0,5	0,1146	20	Mg	0,5	0,6	0,4	0,0539	17	Mg	0,6	2,5	0,4	0,4451	19
Na	*****	*****	*****	*****	5	5	1,7	2,5	0,9	0,4450	21	Na	1,7	2,5	1,2	0,2826	17	Na	1,8	2,7	1,5	0,2754	19
K	*****	*****	*****	*****	5	5	2,3	6,2	1,0	1,3203	21	K	1,6	3,9	1,1	0,8067	17	K	2,1	7,0	1,0	1,6972	18
NH4	*****	*****	*****	*****	5	5	0,193	1,752	n.n.	0,3698	21	NH4	0,047	0,319	n.n.	0,0851	17	NH4	0,242	2,782	n.n.	0,6794	16
Al	*****	*****	*****	*****	5	5	6,17	7,90	5,20	0,7252	20	Al	5,37	6,30	3,20	0,7217	17	Al	5,39	6,20	4,90	0,3430	18
Fe	*****	*****	*****	*****	5	5	0,04	0,28	n.n.	0,0621	21	Fe	0,01	0,05	n.n.	0,0103	17	Fe	0,04	0,47	n.n.	0,1032	19
Mn	*****	*****	*****	*****	5	5	0,36	0,91	0,25	0,1516	21	Mn	0,27	0,32	0,21	0,0283	17	Mn	0,35	1,34	0,24	0,2463	18
Pb	*****	*****	*****	*****	3	3	n.n.	0,002	n.n.	0,0008	11	Pb	0,001	0,004	n.n.	0,0013	10	Pb	0,001	0,003	n.n.	0,0009	10
Cd	*****	*****	*****	*****	3	3	0,0014	0,0022	0,0007	0,0005	11	Cd	0,0011	0,0016	0,0003	0,0003	11	Cd	0,0012	0,0016	0,0010	0,0002	10
Cr	*****	*****	*****	*****	0	0	*****	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	*****	0
Zn	*****	*****	*****	*****	5	5	0,04	0,09	n.n.	0,0267	21	Zn	0,01	0,05	n.n.	0,0144	17	Zn	0,02	0,32	n.n.	0,0704	19
Ba	*****	*****	*****	*****	5	5	0,11	0,17	0,07	0,0272	21	Ba	0,08	0,12	0,05	0,0205	17	Ba	0,09	0,13	0,05	0,0235	19
TOC	*****	*****	*****	*****	0	0	3,7	10,0	1,7	2,5565	13	TOC	3,4	13,0	0,7	3,3196	10	TOC	2,3	3,5	1,4	0,7241	8
SPAK254	*****	*****	*****	*****	5	5	6,0	26,0	2,2	6,6383	21	SPAK254	11,9	42,0	2,4	9,6311	17	SPAK254	14,1	105,0	2,8	26,1074	16

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µs/cm, SPAK254 in I/m, KBB,2 in mmol/l)

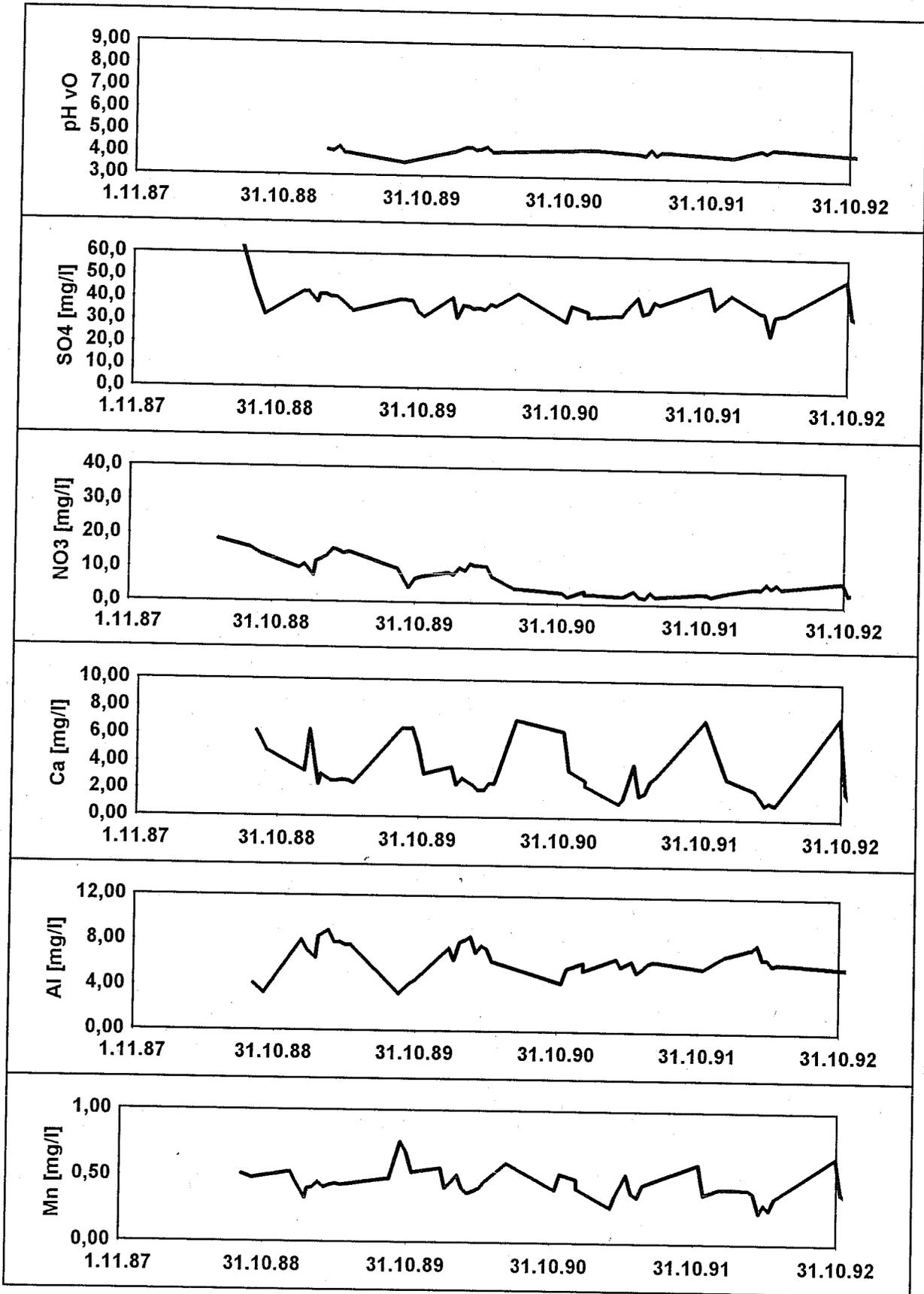


Abb. 29: Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe

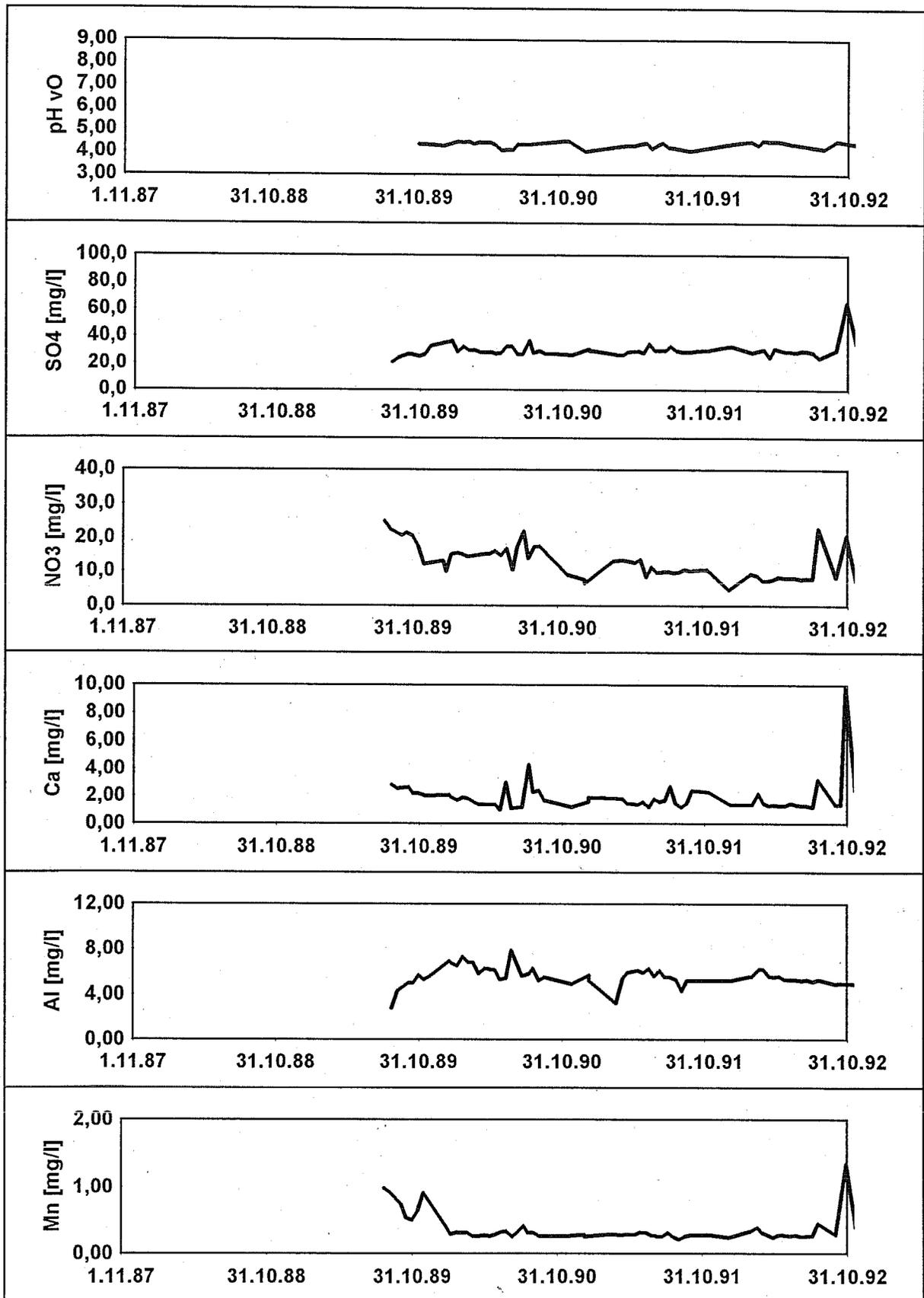


Abb. 30: Ganmlinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 01, 200 cm Tiefe

Die Konzentrations-Ganglinien der 0,5 m - Ebene (Abb. 29) zeigen eine bemerkenswerte Gegenläufigkeit von Calcium- und Aluminiumkonzentrationen. In 2,0 m Tiefe herrschen konstantere hydrochemische Bedingungen vor (Abb. 30).

Meßfläche 02 liegt im tieferen, eingemuldeten Gebietsteil in unmittelbarer Nähe der Hauptentwässerung. Den Untergrund bildet ein ca. 50 cm mächtiger Moorboden über grusig-steiniger Fließerde. Die Saugkerzen erfassen den meist grundwasserfreien Bereich der Moorunterkante sowie die oberste Schicht des Grundwasservorkommens. Der Gesamtlösungsinhalt mit $0,4 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ ist deutlich geringer als auf den terrestrischen Standorten. Im Meßprofil ist ein reduzierendes Milieu ausgebildet, das zu vollständiger Entfernung des Nitrats, in 1 m Tiefe auch zu weitgehender Entfernung des Sulfats aus der Lösungsphase führt. Die pH-Werte steigen daher mit zunehmender Tiefe deutlich über die der moorfreen Standorte an. Hinsichtlich der Metalle ist die Bodenlösung durch hohe Konzentrationen von Eisen (bis $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$), geringe Aluminiumkonzentrationen sowie Mangankonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze gekennzeichnet.

Meßfläche 06 liegt an einem schwachgeneigten, südwest-exponierten Mittelhang in 778 m ü.NN. Den Untergrund bildet schluffreicher Lehm über schluffigem Granitgrus. Im langjährigen Mittel beträgt die Gesamtmineralisierung im Sickerwasser dieses Meßplatzes $1,4 - 1,8 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$. Es weist im gesamten Meßprofil mit pH-Werten von $4,2 - 4,4$ sehr gleichmäßige und zeitkonstante Protonenkonzentrationen auf. Aluminium liegt mit $3 - 6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ deutlich unter dem Konzentrationsniveau der Fläche 01. Entsprechend verhalten sich Mangan und Eisen. Die zugeordneten Kationen-Austauschkapazitäten des Bodens, davon 84 - 94% Aluminium, sind auf beiden Flächen vergleichbar, ebenso die $\text{pH}(\text{KCl})$ -Werte um 4,1. Den geringeren Kationenkonzentrationen entsprechen mittlere Sulfatkonzentrationen von $15 - 34 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ und mittlere Nitratkonzentrationen von $2,9 - 8,8 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Tab. 105: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 02, 50 cm Tiefe

Fichtegebirge Sickerwasser		Lehstenbach Meßfläche: 02		Tiefe: 050cm		TK25: 5837		MWA: Bayreuth Meßstelle: 3021050											
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992											
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n					
pH VO	*****	*****	*****	0	4,84	4,73	5,07	8	4,43	4,38	4,49	2	2	2	4,91	4,91	4,91	1	
pH Lab	*****	*****	*****	0	4,86	4,70	5,10	7	4,59	4,38	6,33	3	3	3	4,84	4,84	4,84	1	
LF VO	***	***	*****	0	27	33	23	3,2071	65	74	55	9,5000	2	2	26	26	0,0000	1	
LF Lab	***	***	*****	0	23	24	21	1,1249	64	75	46	13,0214	3	3	24	24	0,0000	1	
S04	*****	*****	*****	0	2,9	4,3	2,1	0,7651	7,3	17,1	2,1	4,5315	22	22	4,3	4,3	0,0000	1	
NO3	*****	*****	*****	0	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3	3	n.n.	n.n.	0,0000	1	
Cl	*****	*****	*****	0	1,4	1,5	1,2	0,0881	1,7	2,3	1,4	0,2171	21	21	1,1	1,1	0,0000	1	
HCO3	*****	*****	*****	0	3,8	4,9	3,1	0,7230	3,2	4,3	2,4	0,6075	5	5	3,1	3,1	0,0000	1	
NO2	*****	*****	*****	0	0,01	0,02	n.n.	0,0048	n.n.	0,02	n.n.	0,0047	22	22	0,01	0,01	0,0000	1	
o-P04	*****	*****	*****	0	0,20	0,22	0,13	0,0280	0,13	0,31	n.n.	0,0803	22	22	0,14	0,14	0,0000	1	
Ca	*****	*****	*****	0	0,5	0,6	0,4	0,0377	0,9	2,1	0,2	0,5769	21	21	0,9	0,9	0,0000	1	
Mg	*****	*****	*****	0	0,1	0,1	n.n.	0,0093	0,2	0,6	n.n.	0,1782	21	21	0,2	0,2	0,0000	1	
Na	*****	*****	*****	0	2,9	3,0	2,6	0,1409	3,0	4,1	1,7	0,6338	22	22	2,4	2,4	0,0000	1	
K	*****	*****	*****	0	0,5	0,6	0,4	0,0639	0,6	1,0	0,3	0,2021	21	21	0,4	0,4	0,0000	1	
NH4	*****	*****	*****	0	0,362	0,773	0,024	0,2155	0,215	0,580	n.n.	0,1483	22	22	0,017	0,017	0,0000	1	
Al	*****	*****	*****	0	0,38	0,53	0,32	0,0604	0,33	0,41	0,26	0,0498	21	21	0,30	0,30	0,0000	1	
Fe	*****	*****	*****	0	0,28	0,36	0,24	0,0415	0,29	0,49	n.n.	0,1255	22	22	0,24	0,24	0,0000	1	
Mn	*****	*****	*****	0	0,01	0,02	0,01	0,0033	0,01	0,03	n.n.	0,0077	22	22	0,01	0,01	0,0000	1	
Pb	*****	*****	*****	0	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	n.n.	0,001	n.n.	n.n.	0,0000	3	3	0,001	0,001	0,0000	1
Cd	*****	*****	*****	0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	n.n.	0,0002	n.n.	0,0000	12	12	0,0007	0,0007	0,0000	1	
Cr	*****	*****	*****	0	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0	0	*****	*****	*****	0
Zn	*****	*****	*****	0	0,02	0,09	n.n.	0,0283	n.n.	0,02	n.n.	0,0065	22	22	0,03	0,03	0,0000	1	
Ba	*****	*****	*****	0	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	0,02	n.n.	0,0058	22	22	0,01	0,01	0,0000	1	
TOC	*****	*****	*****	0	13,8	16,0	12,0	1,0897	10,0	14,0	1,0	3,0701	22	22	8,2	8,2	0,0000	1	
SPAK254	*****	*****	*****	0	59,1	148,0	2,0	42,1630	46,6	70,0	26,8	12,8581	22	22	46,0	46,0	0,0000	1	

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, K88,2 in mmol/l)

Tab. 107: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 06, 200 cm Tiefe

Fichtelgebirge Sickerwasser		Lehstenbach Meßfläche: 06		Tiefe: 200cm		TK25: 5837 Meßstelle: 3061200		MWA: Bayreuth						
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	****	****	****	1	pH VO	4,26	3,87	4,55	13	pH VO	4,38	4,35	4,46	4
pH Lab	****	****	****	3	pH Lab	4,37	4,21	4,67	16	pH Lab	4,32	4,18	4,69	7
LF VO	***	***	0,0000	1	LF VO	119	136	106	10,0778	LF VO	116	120	112	3,1623
LF Lab	***	***	*****	0	LF Lab	106	123	90	8,8418	LF Lab	119	168	103	18,9060
SO4	****	****	1,9587	6	SO4	26,7	34,4	17,9	3,2001	SO4	33,7	49,6	30,6	4,8844
NO3	****	****	1,4781	6	NO3	6,5	7,7	3,6	1,2484	NO3	6,3	9,1	4,4	1,0680
Cl	****	****	0,6397	6	Cl	4,1	5,2	3,1	0,5104	Cl	4,2	4,7	3,7	0,2437
HCO3	****	****	*****	0	HCO3	****	****	****	*****	HCO3	****	****	****	*****
NO2	****	****	0,0000	6	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0023	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0025
o-P04	****	****	0,0740	6	o-P04	0,15	0,25	n.n.	0,2206	o-P04	0,11	1,32	n.n.	0,3486
Ca	****	****	0,1943	6	Ca	1,1	1,9	0,5	0,3533	Ca	1,6	3,3	0,9	0,8235
Mg	****	****	0,0281	6	Mg	0,5	0,5	0,4	0,0492	Mg	0,6	1,0	0,4	0,1389
Na	****	****	0,2285	6	Na	1,9	2,3	1,3	0,2719	Na	2,0	2,4	1,7	0,1814
K	****	****	1,1471	6	K	1,7	5,9	0,7	1,3969	K	1,4	4,7	0,8	1,0065
NH4	****	****	0,7755	6	NH4	0,858	1,932	0,174	0,4922	NH4	0,496	3,735	n.n.	1,1006
Al	****	****	0,7385	6	Al	3,64	5,05	2,60	1,0266	Al	5,72	6,80	2,90	1,2632
Fe	****	****	0,0112	6	Fe	0,04	0,05	0,02	0,0332	Fe	0,03	0,20	0,01	0,0493
Mn	****	****	0,0492	6	Mn	0,26	0,33	0,20	0,0198	Mn	0,16	0,27	0,10	0,0401
Pb	****	****	0,0000	4	Pb	0,001	0,001	0,0000	0,0006	Pb	0,002	0,011	n.n.	0,0034
Cd	****	****	0,0002	4	Cd	0,0016	0,0018	0,0012	0,0003	Cd	0,0014	0,0019	0,0009	0,0004
Cr	****	****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	*****	Cr	*****	*****	*****	*****
Zn	****	****	0,0462	6	Zn	0,05	0,13	n.n.	0,0217	Zn	0,03	0,11	n.n.	0,0292
Ba	****	****	0,0138	6	Ba	0,10	0,11	0,07	0,0234	Ba	0,06	0,07	0,03	0,0119
TOC	****	****	*****	0	TOC	2,5	5,2	1,8	1,0013	TOC	3,0	4,0	2,2	0,6869
SPAK254	****	****	4,6762	6	SPAK254	5,8	14,8	2,4	16,1671	SPAK254	21,4	100,0	7,0	24,1176

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KBB,2 in mmol/l)

Mit einem Flächenanteil von ca. 35% beeinflussen die Moor- und Feuchtstandorte nicht unerheblich den hydrochemischen Charakter des abfließenden Grundwassers und der Fließgewässer.

4.3.2.3.3 Bodenchemie

Die Braunerden bis Braunerde-Podsole sind tiefgründig stark versauert. Ihre Humusform ist Rohhumus. In Auflage und humosem Oberboden liegen die $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte bei 3,4 - 3,9. Der mineralische Unterboden ist mit Basensättigungen von 4 - 9% und $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werten von 4,2 - 4,6 bis auf eine Tiefe von 2,5 m stark sauer. Die Böden sind nicht in der Lage, saure Niederschläge unschädlich abzupuffern, sondern setzen beim Eintrag von Säuren große Mengen an Aluminiumionen in das Sickerwasser frei.

Die 1985 durchgeführte Oberflächenkalkung bewirkte auf der Bestandsmeßfläche 05 einen Anstieg der pH -Werte und der Basensättigung. Ihre Tiefenwirkung ist jedoch auf die Auflage (Basensättigung 96%) und den Ah-Horizont (Basensättigung 12 - 30%) beschränkt. Der pH -Wert ist sogar nur in der Auflage erhöht ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$: 4,4) und sinkt im Ah-Horizont auf Werte um 3,4 ab. Die über die Kalkung eingetragenen Basenkationen sind zum Großteil in der Auflage festgelegt erkennbar an hohen Calcium und Magnesium-Gesamtvorräten aus dem Königswasseraufschluß. Auswaschungsverluste werden daher als gering eingeschätzt. Die geringe Tiefenwirkung der Kalkung läßt sich an der Austauschbelegung (s. Abb. 31) erkennen: bereits ab 7 cm Tiefe steigt die Aluminiumsättigung auf Werte zwischen 80 und 90% an.

Die Anmoorgleye und Moore weisen in den organischen Horizonten saure $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte von 3,4 - 4,0 auf, die im AaGo- bzw. AaGr-Horizont auf 4,3 - 4,8 ansteigen (Tab. 108c und 108d). In der organischen Substanz werden Schwefel, Stickstoff und Aluminium

größtenteils immobilisiert, so daß saure Niederschläge hier nicht zu einer Freisetzung von Aluminiumionen ins Sickerwasser führen. Zudem sind rein organische Horizonte arm an Aluminium, was sich aus den Gesamtverräten ersehen läßt.

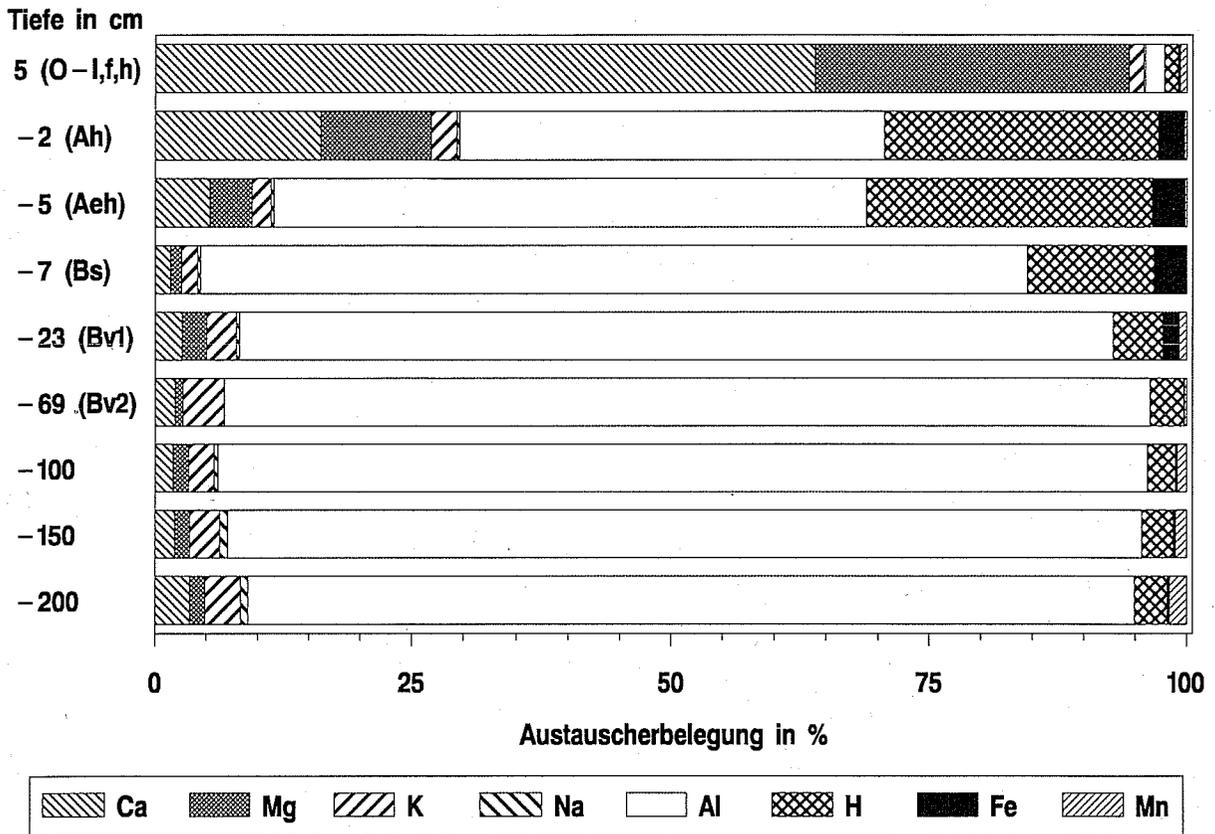


Abb. 31: Tiefenprofil der Austauscherbelegung im Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßfläche 05 (gekalkte Braunerde)

Tab. 108a: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fichtengebiet		Lehstenbach		Mittel (n=3): 50% Anteil an Gebietsfläche		Boden: ungekalkt, terrestrisch					
Bodentyp: podsolierte Braunerde bis Braunerde-Podsol		Humusform: Rohhumus									
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_p g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)
0-1, f	10-5		29	0,12	44,20	1,72	26	141	3,79	2,86	2,90
Oh	5-0		36	0,25	31,08	1,21	26	78	3,43	2,57	2,66
A(e)h	0-3	su - gruIU	17	0,69	7,81	0,33	24	47	3,38	2,70	2,78
Ahe	-9	sIU - gruIU	30	0,99	4,82	0,14	34	56	3,59	2,90	2,98
B(h)s	-17	IU - su	32	0,83	5,33	0,19	28	108	3,74	3,19	3,16
Bv1	-38	sIU - IuGru	30	0,72	4,34	0,14	31	116	4,28	3,96	3,87
Bv2	-100 ⁺	gruIU - IGru	27	1,40	0,54	0,03	n.b.	55	4,36	4,19	4,04

Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %										AK _e mmol IÄ/kg	BS %
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn				
0-1, f	27	5	6	1	16	43	2	1			204	39
Oh	17	3	2	0	28	48	2	0			235	22
A(e)h	3	2	2	0	59	31	4	0			109	7
Ahe	3	0	1	0	72	20	3	0			93	5
B(h)s	3	1	1	0	80	11	4	0			115	5
Bv1	3	1	1	0	91	3	1	0			48	5
Bv2	3	1	3	0	90	3	0	0			38	6

Fichtelgebirge	Leistenbach	Mittel (n=3); 50% Anteil an Gebiets- fläche	Boden: ungekalkt, terrestrisch
Bodentyp: podsollierte Braunerde bis Braunerde-Podsol		Humusform: Rohhumus	Fortsetzung

Horizont	Elementgesamtvorrate in kg/ha										
	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-1,f	30	66	19	35	4	191	184	4	0,9	3	706
0h	40	81	39	72	5	634	486	5	1,2	4	979
A(e)h	48	44	121	219	19	1.944	1.404	8	1,0	4	575
Ahe	98	119	259	469	41	4.133	3.183	20	1,8	8	599
B(h)s	214	94	474	658	48	7.486	8.810	65	2,4	13	815
Bv1	573	214	1.623	1.935	121	27.260	19.468	301	7,3	48	1.313
Bv2	2.265	1.823	20.162	18.227	775	179.019	130.577	2.176	64,3	352	1.885
Summe	3.268	2.441	22.697	21.615	1.013	220.667	164.112	2.579	78,9	432	6.872

Tab. 108b: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fichtelgebirge		Lehstenbach				(n=1); 15% Anteil an Gebietsfläche				Boden: gekalkt, terrestrisch	
Bodentyp: Braunerde						Humusform: rothumusartiger Moder					
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_p g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)
0-1, f, h	9-0		33	0,22	34,41	1,45	24	109	4,36	3,72	3,96
Ah	0-3	IU	23	0,97	7,06	0,32	22	64	3,45	2,63	2,88
Aeh	-6	IU	15	0,65	5,15	0,29	17	56	3,40	2,54	2,85
Bs	-8	I'U	15	0,79	2,76	0,17	17	45	3,65	3,04	3,21
Bv1	-37	gru'U	21	0,60	2,85	0,10	28	51	4,11	3,58	3,68
Bv2	-100*	suGru	29	0,65	0,41	0,03	n.b.	25	4,27	4,26	4,06

Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der A _{K_e} in %										A _{K_e} mmol IÄ/kg	BS %
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn				
0-1, f, h	64	30	1	0	2	1	0	1	403	96		
Ah	16	11	3	0	41	27	3	0	118	30		
Aeh	5	4	2	0	57	28	3	0	102	12		
Bs	1	1	2	0	80	12	3	0	95	4		
Bv1	3	2	3	0	85	5	2	1	83	8		
Bv2	2	1	4	0	90	3	0	0	55	7		

Horizont	Elementgesamtverräte in kg/ha										
	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-1, f, h	67	1.214	385	118	15	1.399	807	25	2,6	8	1.924
Ah	75	124	235	317	20	3.173	2.671	29	1,5	7	717
Aeh	53	69	151	237	18	2.013	1.739	18	1,2	6	481
Bs	39	33	120	204	13	1.752	1.952	17	0,8	4	223
Bv1	456	483	2.193	2.734	170	32.277	25.889	556	11,5	108	1.375
Bv2	839	665	8.068	9.456	369	88.340	60.002	983	28,9	156	872
Summe	1.529	2.588	11.152	13.066	605	128.954	93.060	1.628	46,5	289	5.592

Tab. 108c: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fichtelgebirge		Lehstenbach		n=1: 25% Anteil an Gebietsfläche		Boden: Ammoorgleye					
Bodentyp: Ammoorgley											
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_p g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)
0-1,f,h	1-0		31	0,13	39,56	1,71	23	137	3,63	2,87	2,98
Aa	0-37	ufgru	53	0,34	18,21	0,87	21	126	3,99	3,53	3,50
AaGo	37-57	uggrugX	32	1,32	1,68	0,08	22	54	4,83	3,95	3,88
Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %											
Horizont	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn	AK _e mmol IÄ/kg	BS %	
0-1,f,h	25	5	4	1	20	41	3	0	235	36	
Aa	8	3	1	1	67	18	2	0	147	12	
AaGo	14	6	2	0	71	6	1	0	53	22	
Elementgesamtinventare in kg/ha											
Horizont	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-1,f,h	7	17	6	10	1	62	60	1	0,2	0	153
Aa	404	303	877	1.107	95	13.916	4.800	26	5,7	28	5.144
AaGo	366	770	2.912	3.430	210	30.158	13.261	161	9,5	64	1.436
Summe	777	1.090	3.795	4.547	306	44.136	18.121	188	15,4	92	6.733

Tab. 108d: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fichtelgebirge		Lehstenbach					n=1: 10% Anteil an Gebietsfläche			Boden: Moor	
Bodentyp: Übergangsmoor											
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_p g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)
0-1, f	53-50		29	0,10	44,54	1,52	29	102	3,51	2,78	2,77
Oh	50-43		40	0,15	43,34	1,65	26	80	3,36	2,66	2,64
Hü	43-0	ufgru	41	0,14	37,68	1,29	29	27	3,67	2,94	2,94
AaGr	0-18 ⁺	uggrugX	32	1,02	1,84	0,06	29	39	4,30	3,59	3,45

Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %										AK _e		BS %
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn	mmol IA/kg				
0-1, f	25	5	4	1	19	44	2	0	211		34		
Oh	20	4	2	1	28	43	2	0	242		26		
Hü	32	5	1	1	29	30	1	0	220		33		
AaGr	9	2	2	1	75	11	1	0	35		13		

Horizont	Elementgesamtinventar in kg/ha										
	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-1, f	13	39	8	12	2	60	77	1	0,4	1	324
Oh	36	95	25	40	6	337	271	2	1,0	3	1.040
Hü	154	651	165	255	44	2.554	777	8	2,7	11	4.582
AaGr	135	299	889	1.750	136	10.749	5.283	79	5,5	27	749
Summe	338	1.084	1.087	2.057	188	13.700	6.408	90	9,6	42	6.695

Tab. 109: Bodenchemische Kenndaten der tieferen Sickerzone, Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fichte Igebirge		Lehstenbach											
		Mittel aus den Bohrungen (n=3)											
Tiefe cm	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	AK _e mmol IA/kg	BS %	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %							Mn	
					Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe		
	4,30	4,10	38	5	2	1	2	0	0	91	3	0	1
150	4,43	4,10	24	6	3	1	2	1	1	89	4	0	1
200	4,55	4,13	19	8	3	1	3	1	1	86	4	0	2
250	4,65	4,22	15	8	4	1	3	0	0	86	4	0	2

4.3.2.3.4 Bodenphysik

Die schluffig-lehmigen Sande und sandig-grusigen Lehme des Untersuchungsgebietes weisen ein Gesamtporenvolumen von 73,5% (A-Horizont), 61,8% (B-Horizont) und 43,2% (C-Horizont) auf. Die Luftkapazität nimmt vom A- bis zum C-Horizont ab. Die relativ hohen Anteile an Fein- und Mittelporen in den A- und B-Horizonten werden auf erhöhte Gehalte an organischen Stoffen und Ton zurückgeführt. Etwas geringer ausgeprägt als im Untersuchungsgebiet Markungsgraben (s. Kap. 4.5.2.3.4) sinkt die Luftkapazität mit der Tiefe bei steigender Lagerungsdichte stark ab. Dadurch ist mit entsprechend hohen Anteilen von oberflächennahem Abfluß zu rechnen. In autochthonen Verwitterungsböden wurden gegenüber den geschichteten Mineralböden höhere Gesamtporenvolumina, höhere Feldkapazitäten im A-Horizont und höhere Luftkapazitäten im B- und C-Horizont festgestellt.

In den Böden des Untersuchungsgebietes Lehstenbach liegt eine hohe gesättigte Wasserleitfähigkeit von $k_f = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ vor. Die Variabilität der k_f -Werte ist gering, was auf relativ homogene Untergrundverhältnisse hinweist.

Tab. 110: Durchlässigkeitsbeiwerte k_f [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$] in Böden des Untersuchungsgebietes Lehstenbach

	Profil FIG 1	Profil FIG 3	Profil FIG 5	Profil FIG 6	Granitgrus
C-Horizont	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$

Tab. 111: Bodenphysikalische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Lehstenbach (7 Profile)

Horizont und Statistik	Anzahl der Proben n	Struktur				Porenverteilung				hydrologische Parameter		
		Feldfeuchte W_g [Vol.-%]	Volumen Trocken-substanz SV [Vol.-%]	Lage-rungs-dichte d_B [$g \cdot cm^{-3}$]	Gesamt-poren-volumen PV [Vol.-%]	weite Grobporen sqPV [Vol.-%]	enge Grobporen fgPV [Vol.-%]	Mittel-poren mpV [Vol.-%]	Feinporen fpV [Vol.-%]	Luftkapazität [Vol.-%]	Feldkapazität [Vol.-%]	nutzbare Feldkapazität nFK [Vol.-%]
A	28											
MW		36,7	26,5	0,69	73,5	31,4	5,7	15,2	21,27	31,4	42,1	20,8
MAX		73,6	37,4	0,97	91,1	54,0	8,9	30,2	36,21	54,0	67,5	37,6
MIN		18,9	8,9	0,22	62,6	18,7	2,5	0,4	12,43	18,7	24,0	3,9
STD		16,3	9,7	0,25	9,7	8,4	1,6	8,4	5,87	8,4	11,6	9,1
B	23											
MW		28,9	38,2	1,01	61,8	27,9	4,5	5,4	23,90	27,9	33,8	9,9
MAX		66,3	49,1	1,30	73,4	38,8	7,9	10,6	46,49	38,8	59,2	17,7
MIN		15,1	26,6	0,71	50,9	14,0	2,5	0,9	16,00	14,0	22,1	3,7
STD		14,5	7,2	0,19	7,2	6,9	1,6	3,1	8,74	6,9	9,9	4,9
C	27											
MW		16,9	56,8	1,50	43,2	23,5	3,4	5,3	10,95	23,5	19,7	8,8
MAX		32,6	67,5	1,79	51,7	36,5	8,3	18,1	19,04	36,5	26,9	22,3
MIN		8,0	48,3	1,28	32,5	8,4	1,5	0,2	4,29	8,4	9,7	3,6
STD		7,0	5,6	0,15	5,6	8,9	1,6	4,7	4,33	8,9	5,2	4,9

4.3.2.4 Grundwasser und Quellen

Das Grundwasser wird an sechs Beschaffenheitsmeßstellen und sechs Quellen beobachtet. Vier der Quellen wurden nur über einen Teil des Meßzeitraums beprobt. Zwei Grundwassermeßstellen (02 und 04) liegen im Nahbereich von Bachläufen und erfassen oberflächennahes moorbeeinflußtes Wasser. Die Flurabstände liegen hier bei 1 - 2 m. Sonst schwanken die Flurabstände zwischen 2 - 8 m, an der Meßstelle 05 zwischen 10 - 16 m.

Die Beschaffenheit des Grundwassers (Tab. 112) an den vier moorfreen Meßstellen variiert deutlich. Sie wird von der Länge der Fließwege bzw. der damit verbundenen Kontaktzeit Gestein - Sickerwasser beeinflusst.

Man kann drei Versauerungstypen unterscheiden:

- periodisch massiv versauert (Meßstellen 01 und 03),
- ganzjährig deutlich versauert (Meßstelle 06)
- schwach versauert (Meßstelle 05).

Die Wässer des ersten Typs weisen starke saisonale Schwankungen bei pH-Wert, Aluminium, Mangan und Sulfat auf. Ursache hierfür sind vermutlich Klüfte, die während der starken Grundwasserneubildung im Frühjahr dem Grundwasser rasch saures Sickerwasser zuführen.

Dieser Prozeß führt zu Belastungen des Grundwassers mit maximal $4,4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ Aluminium bei minimalen pH-Werten bis pH 4,0 an der Meßstelle 01 (Abb. 32). Im Mittel trägt Aluminium an dieser Meßstelle mit etwa 13% zur Kationensumme bei.

Tab. 112: Beschaffenheitsdaten des Grundwassers, Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Fichtegebirge Grundwasser		Lehstenbach (4 Meßstellen)		TK25: 5837		WWA: Bayreuth													
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992											
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH v0	4,63	4,02	5,46	18	pH v0	5,11	4,68	5,80	28	pH v0	5,14	4,76	5,66	24	pH v0	5,04	4,38	5,81	28
pH Lab	5,20	4,60	6,20	19	pH Lab	5,26	4,60	5,90	28	pH Lab	5,27	4,83	5,80	22	pH Lab	5,36	4,96	5,80	25
LF v0	70	118	54	16,6570	LF v0	67	107	52	13,1562	LF v0	69	95	55	11,1576	LF v0	67	101	52	10,6284
LF Lab	69	117	46	21,3610	LF Lab	64	102	46	12,8992	LF Lab	68	94	53	11,1919	LF Lab	66	84	50	9,0226
O2	10,0	13,8	6,2	1,9392	O2	10,2	12,5	6,5	1,7246	O2	9,7	11,9	6,7	1,4748	O2	10,7	12,9	6,2	1,8951
Temp v0	6,0	9,0	4,9	0,8095	Temp v0	6,1	7,0	5,3	0,3409	Temp v0	6,1	6,6	5,3	0,3174	Temp v0	5,9	6,5	4,9	0,3300
S04	15,7	32,3	8,2	6,7847	S04	15,5	28,0	6,6	6,2356	S04	13,9	24,3	5,4	4,5612	S04	13,4	18,1	5,8	3,7809
N03	6,2	14,8	2,3	3,2833	N03	6,2	13,2	2,6	2,8103	N03	6,7	11,8	2,9	2,8576	N03	6,7	11,3	2,6	2,8929
C1	3,0	5,4	1,7	0,9708	C1	2,7	3,7	1,8	0,6876	C1	2,8	3,7	1,4	0,7516	C1	2,9	4,3	1,5	0,9084
HCO3	6,4	14,0	2,4	0,0459	HCO3	6,2	9,8	3,1	0,0338	HCO3	5,9	9,2	3,7	0,0298	HCO3	6,3	9,8	3,7	0,0334
N02	n.n.	0,01	n.n.	0,0028	N02	n.n.	0,01	n.n.	0,0037	N02	n.n.	0,01	n.n.	0,0040	N02	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
o-P04	0,03	0,14	n.n.	0,0337	o-P04	0,02	0,11	n.n.	0,0336	o-P04	0,05	0,29	n.n.	0,0792	o-P04	0,04	0,14	n.n.	0,0408
Ca	3,7	4,9	2,4	0,9096	Ca	3,9	5,2	2,3	0,9686	Ca	4,1	5,7	2,3	1,1066	Ca	4,1	5,5	2,3	1,0326
Mg	1,1	1,5	0,8	0,1925	Mg	1,1	1,5	0,8	0,1605	Mg	1,2	1,6	0,8	0,2357	Mg	1,1	1,3	0,9	0,1167
Na	4,4	5,8	2,7	0,8353	Na	4,5	5,5	2,8	0,7514	Na	4,3	5,6	2,7	0,7044	Na	4,4	5,2	3,0	0,7606
K	1,3	1,9	0,8	0,3446	K	1,3	1,7	0,8	0,2952	K	1,4	1,9	0,8	0,2871	K	1,4	1,9	0,9	0,2777
NH4	0,055	0,170	n.n.	0,0452	NH4	0,023	0,073	n.n.	0,0214	NH4	0,020	0,071	n.n.	0,0204	NH4	0,008	0,030	n.n.	0,0092
Al	0,80	4,42	0,04	1,0706	Al	0,50	2,60	0,03	0,6160	Al	0,41	1,90	n.n.	0,4145	Al	0,31	1,10	n.n.	0,2396
Fe	0,01	0,06	n.n.	0,0154	Fe	n.n.	0,02	n.n.	0,0057	Fe	n.n.	0,03	n.n.	0,0071	Fe	0,02	0,06	n.n.	0,0135
Mn	0,12	0,29	n.n.	0,0850	Mn	0,09	0,27	n.n.	0,0690	Mn	0,09	0,27	0,01	0,0689	Mn	0,07	0,16	n.n.	0,0535
Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0005	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0003	Pb	0,001	0,029	n.n.	0,0054
Cd	0,0004	0,001	n.n.	0,0003	Cd	0,0007	0,0020	0,0002	0,0005	Cd	0,0004	0,0009	0,0001	0,0002	Cd	0,0003	0,0013	n.n.	0,0003
Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0003	Cr	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Cr	*****	*****	*****	*****
Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
Zn	0,03	0,10	n.n.	0,0254	Zn	0,02	0,04	n.n.	0,0085	Zn	0,02	0,04	n.n.	0,0111	Zn	0,03	0,08	n.n.	0,0217
Ba	0,08	0,15	n.n.	0,0372	Ba	0,07	0,13	0,01	0,0319	Ba	0,06	0,14	n.n.	0,0388	Ba	0,03	0,10	n.n.	0,0269
TOC	1,6	3,5	0,5	0,7969	TOC	1,3	3,3	0,5	0,7137	TOC	0,9	3,0	0,4	0,5090	TOC	1,0	2,9	0,4	0,5307
SPAK254	1,0	2,4	0,4	0,5374	SPAK254	1,2	13,6	0,2	2,4890	SPAK254	0,7	1,2	0,2	0,3081	SPAK254	2,0	4,0	n.n.	1,1873
Si02	12,0	17,0	8,0	2,9694	Si02	12,5	19,0	8,2	3,1056	Si02	13,0	24,0	6,5	3,9576	Si02	13,0	20,0	7,7	3,6184
KBB,2	0,6	0,9	0,3	0,1417	KBB,2	0,6	0,8	0,4	0,0878	KBB,2	0,7	0,9	0,5	0,1092	KBB,2	0,6	1,1	0,4	0,1407

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KBB,2 in mmol/l)

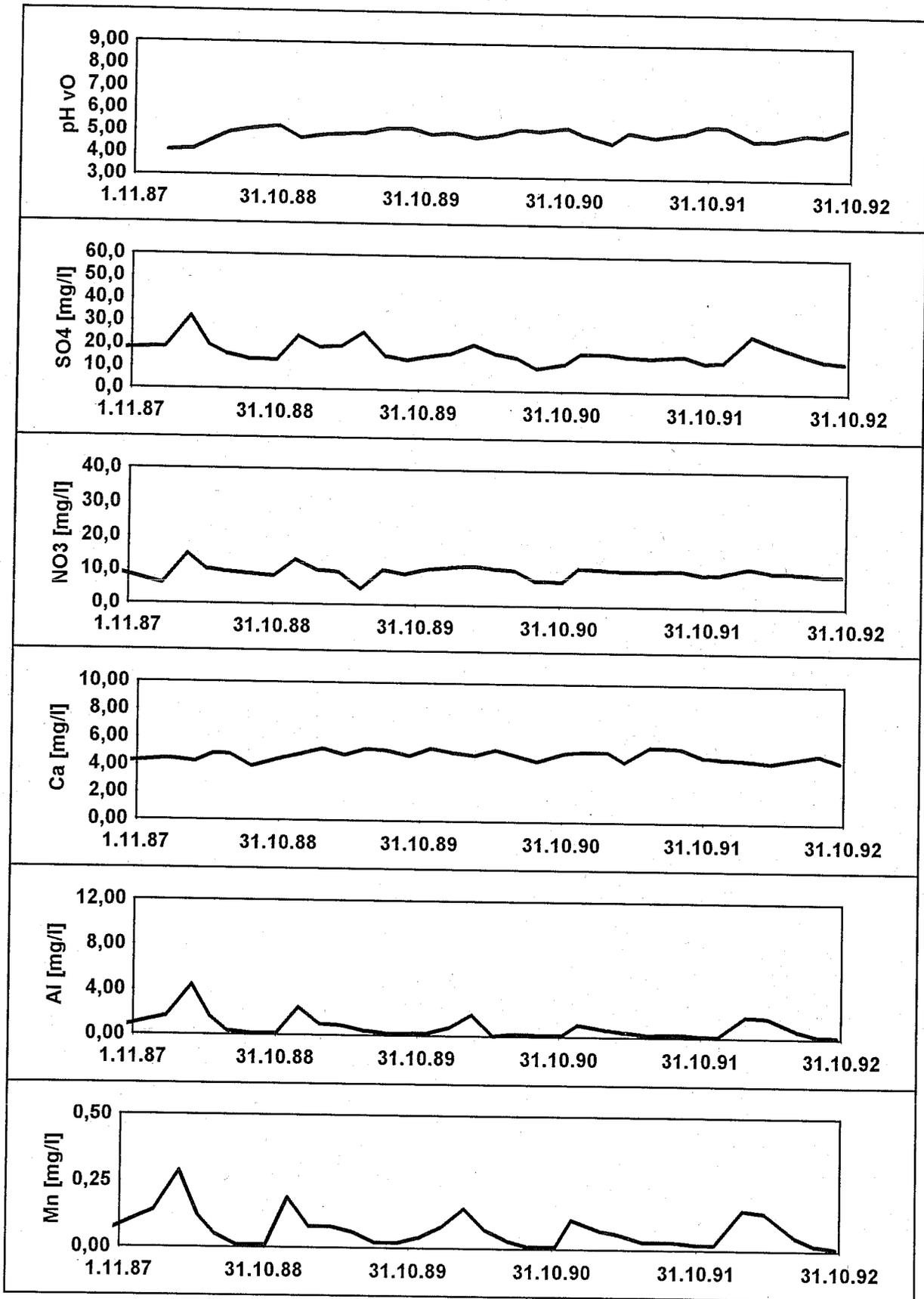


Abb. 32: Ganglinien ausgewählter Parameter im Grundwasser, Untersuchungsgebiet Lehstenbach, Meßstelle 01

Neben Aluminium zeichnet Mangan deutlich die Verlagerung von saurem Sickerwasser in das Grundwasser (Versauerungsschübe) nach und erreicht im Jahresmittel Konzentrationen von 0,05 bis 0,12 mg·l⁻¹. Die Calciumgehalte sind an allen Meßstellen relativ konstant und erreichen maximal 6 mg·l⁻¹. An der Meßstelle 05 findet sich ein besser gepuffertes Grundwasser, dessen pH-Werte selten unter pH 5,0 absinken. Ursache dafür ist hier wahrscheinlich der größere Flurabstand. Ganzjährig versauert ist das Grundwasser an Meßstelle 06 mit mittleren pH-Werten zwischen 4,5 und 5,0 und konstanten Aluminiumgehalten um 0,3 mg·l⁻¹.

Südlich des Einzugsgebietes Lehstenbach liegen Quellen, die zur Wasserversorgung genutzt werden. Die Qualität des dort gewonnenen Rohwassers ist in Tab. 113 dargestellt. Da die Quellen im Kontakt zu metamorphen Randgesteinen auftreten, ist mit etwas günstigeren Puffereigenschaften des Untergrundes zu rechnen. Der Mineralisierungsgrad gegenüber dem Grundwasser des Einzugsgebietes ist mit mittleren elektrischen Leitfähigkeiten über 100 µS·cm⁻¹ deutlich höher. Neben höheren Erdalkaligehalten treten auch Natriumkonzentrationen bis über 30 mg·l⁻¹ auf. In Verbindung mit den ebenfalls erhöhten Chloridkonzentrationen kann auf eine Beeinflussung durch winterliche Streuung der in der Nähe befindlichen Straße geschlossen werden. Der Grad der Versauerung (mittlere pH-Werte um pH 5,5) ist geringer als im Einzugsgebiet Lehstenbach. Allerdings sind auch hier saisonal auftretende Versauerungsschübe mit Überschreitungen des Grenzwertes für Aluminium und Mangan möglich. Niedrige Nitratkonzentrationen stehen hohen Sulfatkonzentrationen gegenüber.

Die Beschaffenheit der Quellwässer in höheren Lagen des Untersuchungsgebietes ist beispielhaft am stark versauerten Schläppnerbrunnen aufgezeigt. Ganzjährig liegen hier die pH-Werte unter 5,0, im Extrem wird der Wert von 3,9 erreicht (Tab. 114). Entsprechend hoch sind die Gehalte von Aluminium, Mangan, Sulfat und Nitrat. Auch Spurenmetalle sind nachzuweisen, darunter Cadmium ganzjährig mit Spitzenkonzentrationen von 2 µg·l⁻¹.

Tab. 113: Beschaffenheitsdaten des Rohwassers der zugeordneten Wasserversorgung (Lehstenbach)

Fichte/gebirge Rohwasser		Lehstenbach		Wasserversorgung		Wasserversorgung			
		Meßpunkt: 51				Meßstelle: 3513000			
						TK25: 5837			
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992	
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	5,51	5,50	5,53	2	pH VO	5,35	4,85	5,64	13
pH Lab	*****	*****	*****	0	pH Lab	*****	*****	*****	0
LF VO	105	100	100	4,5000	LF VO	130	213	49	53,3808
LF Lab	***	***	***	*****	LF Lab	***	***	***	*****
O2	8,9	10,8	7,0	1,9000	O2	10,4	11,9	7,8	1,0725
Temp VO	6,6	6,8	6,3	0,2500	Temp VO	6,6	7,8	5,2	0,8475
SO4	19,9	20,4	19,3	0,5500	SO4	17,4	21,7	10,3	2,7846
NO3	2,2	2,2	2,1	0,0500	NO3	3,8	8,3	1,7	1,8941
Cl	9,9	11,0	8,8	1,1000	Cl	25,1	46,0	3,3	16,6836
HCO3	2,7	3,1	2,4	0,0050	HCO3	2,7	5,5	1,2	0,0160
NO2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0053
o-P04	0,02	0,04	n.n.	0,0170	o-P04	0,04	0,17	n.n.	0,0473
Ca	6,5	7,0	6,0	0,5000	Ca	7,0	9,0	3,5	1,5769
Mg	1,9	2,1	1,7	0,2000	Mg	1,9	2,8	1,0	0,4411
Na	6,6	7,0	6,2	0,4000	Na	15,9	28,0	3,8	9,8754
K	1,5	1,5	1,4	0,0500	K	1,7	2,0	1,2	0,2707
NH4	0,007	0,013	n.n.	0,0065	NH4	0,115	1,161	n.n.	0,3167
Al	0,10	0,13	0,06	0,0350	Al	0,17	0,58	0,10	0,1262
Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0050	Fe	0,01	0,05	n.n.	0,0138
Mn	0,03	0,03	0,02	0,0050	Mn	0,03	0,09	n.n.	0,0197
Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
Cd	0,0003	0,0003	0,0002	0,0001	Cd	0,0002	0,0005	0,0001	0,0001
Cr	*****	*****	*****	*****	Cr	*****	*****	*****	*****
Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Zn	n.n.	0,03	n.n.	0,0089
Ba	*****	*****	*****	*****	Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
TOC	1,3	1,9	0,6	0,6500	TOC	0,7	1,6	0,3	0,3399
SPAK254	0,3	0,4	0,1	0,1500	SPAK254	1,1	4,0	0,4	0,8828
S102	13,5	14,0	13,0	0,5000	S102	12,6	14,0	11,0	0,9538
KBB,2	0,3	0,3	0,2	0,0500	KBB,2	0,4	0,6	0,3	0,1111
TOC	0,6	0,7	0,4	0,1178	TOC	0,6	0,7	0,4	0,1178
SPAK254	1,9	5,0	0,6	1,4686	SPAK254	1,9	5,0	0,6	1,4686
S102	12,0	14,0	9,3	1,4250	S102	12,0	14,0	9,3	1,4250
KBB,2	0,4	0,4	0,3	0,0452	KBB,2	0,4	0,4	0,3	0,0452

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KBB,2 in mmol/l)

Tab. 114: Beschaffenheitsdaten der Quelle Schlöppnerbrunnen

Fichtelgebirge Quelle Wasser		Lehstenbach Meßpunkt: 32		Schlöppnerbrunnen		TK25: 5837 Meßstelle: 3323600		HWA: Bayreuth						
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH v0	4,28	4,06	4,76	13	pH v0	4,24	3,90	4,40	26	pH v0	4,32	4,16	4,43	20
pH Lab	4,29	3,80	4,60	21	pH Lab	4,34	4,20	4,55	26	pH Lab	4,28	4,00	4,55	20
LF v0	130	148	122	6,2274 14	LF v0	132	152	124	6,5828 26	LF v0	129	139	124	3,7613 20
LF Lab	128	158	103	13,7184 19	LF Lab	129	146	112	6,4766 26	LF Lab	128	143	120	5,6338 20
O2	9,3	10,7	8,0	0,7991 14	O2	10,1	12,2	8,4	0,9271 26	O2	10,2	11,0	9,3	0,3762 19
Temp v0	6,5	8,5	4,2	1,3737 14	Temp v0	5,8	8,9	4,2	1,1251 26	Temp v0	6,1	8,7	3,4	1,2722 20
S04	32,1	34,8	25,4	2,0011 20	S04	29,0	36,4	19,8	3,8578 26	S04	30,0	37,1	27,8	1,9847 20
NO3	16,5	19,0	2,4	3,2852 21	NO3	17,9	24,4	15,5	1,7536 25	NO3	17,4	20,3	14,1	1,1764 20
Cl	3,0	4,0	2,3	0,3539 21	Cl	3,0	4,6	1,8	0,4822 26	Cl	2,7	3,3	2,5	0,2037 20
HCO3	2,1	3,1	1,2	0,5830 9	HCO3	1,6	2,4	1,2	0,4880 10	HCO3	3,3	4,9	1,2	1,5238 5
NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0057 14	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0039 26	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 19
o-P04	n.n.	0,02	n.n.	0,0052 21	o-P04	n.n.	0,02	n.n.	0,0060 26	o-P04	n.n.	0,11	n.n.	0,0248 19
Ca	5,8	6,8	5,1	0,4403 20	Ca	6,3	9,4	4,9	0,7576 26	Ca	6,1	7,3	4,3	0,7610 20
Mg	1,8	2,1	1,6	0,1128 20	Mg	1,9	2,1	1,5	0,1455 26	Mg	1,9	2,2	1,4	0,2193 20
Na	3,2	4,0	2,3	0,4365 20	Na	3,1	5,0	2,6	0,4344 26	Na	3,1	3,8	2,6	0,2676 19
K	1,6	2,1	0,4	0,3125 21	K	1,6	1,9	0,7	0,2192 26	K	1,7	2,0	1,3	0,1408 19
NH4	0,043	0,129	0,015	0,0310 21	NH4	0,034	0,148	n.n.	0,0347 26	NH4	0,030	0,075	n.n.	0,0208 20
Al	3,49	4,50	3,00	0,3756 20	Al	3,67	5,16	2,64	0,6096 26	Al	3,40	4,60	2,10	0,6008 20
Fe	0,01	0,03	n.n.	0,0079 19	Fe	0,01	0,10	n.n.	0,0192 26	Fe	0,01	0,03	n.n.	0,0071 20
Mn	0,35	0,40	0,32	0,0231 19	Mn	0,36	0,41	0,32	0,0234 25	Mn	0,35	0,42	0,25	0,0422 20
Pb	n.n.	0,003	n.n.	0,0008 20	Pb	n.n.	0,004	n.n.	0,0010 25	Pb	0,001	0,007	n.n.	0,0016 20
Cd	0,0010	0,0016	0,0002	0,0005 13	Cd	0,0012	0,0020	0,0001	0,0004 25	Cd	0,0010	0,0013	0,0002	0,0003 20
Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0004 13	Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0002 17	Cr	*****	*****	*****	*****
Zn	0,01	0,04	n.n.	0,0109 20	Zn	0,02	0,08	n.n.	0,0169 26	Zn	0,02	0,07	0,01	0,0132 20
Ba	0,15	0,18	0,13	0,0118 20	Ba	0,15	0,18	0,12	0,0119 26	Ba	0,17	0,60	0,11	0,0999 20
TOC	2,6	9,4	0,9	1,8610 20	TOC	2,5	9,6	1,3	1,6182 25	TOC	1,8	2,7	1,1	0,3450 19
SPAK254	3,3	13,2	1,8	2,3540 21	SPAK254	3,1	7,4	2,0	1,2616 26	SPAK254	6,7	13,6	2,6	2,3092 20
S102	10,5	11,0	10,0	0,4007 12	S102	10,8	12,0	9,9	0,5206 26	S102	10,7	12,0	8,5	0,9796 19

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, K88,2 in mmol/l)

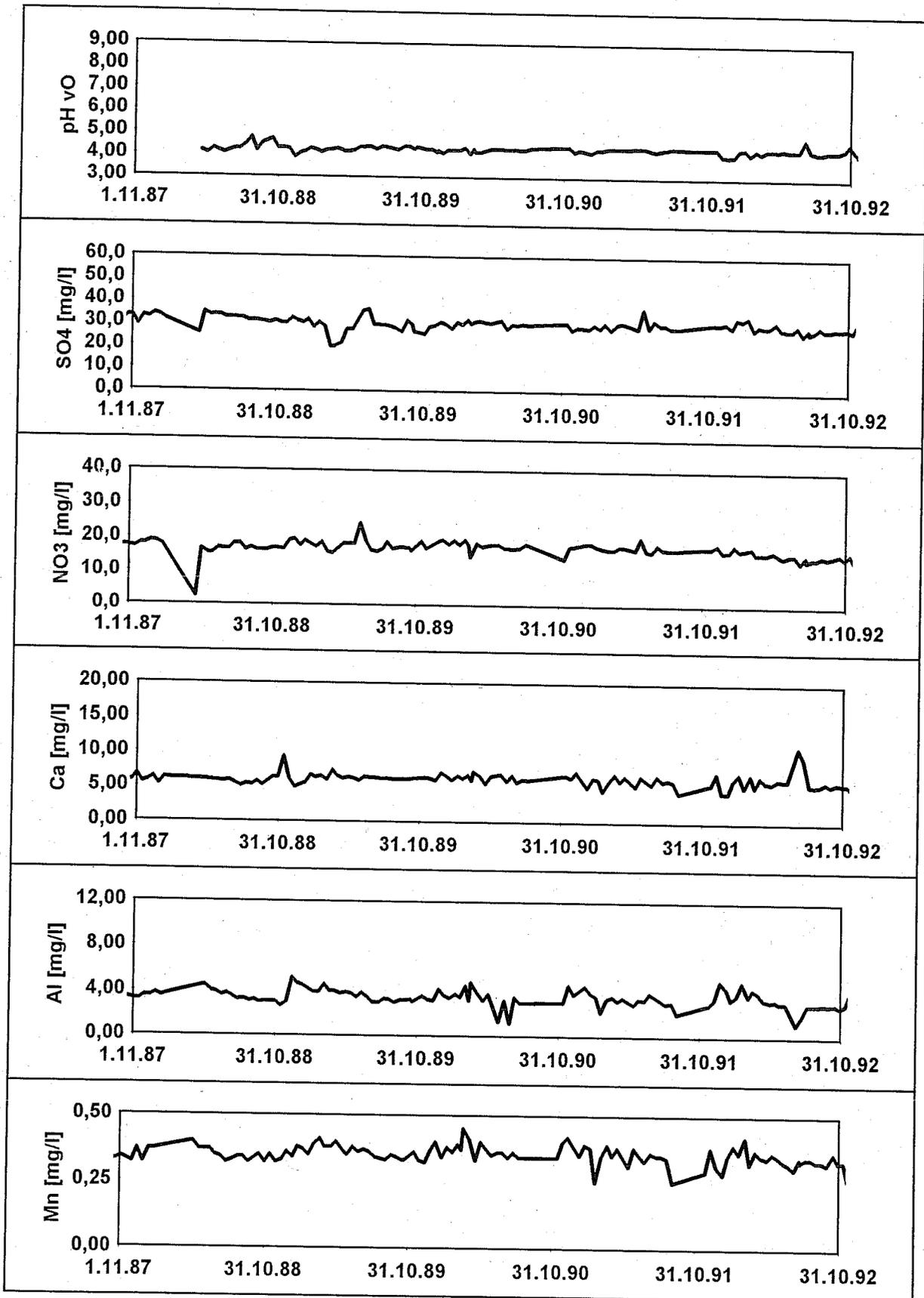


Abb. 33: Ganglinien ausgewählter Parameter der Quelle Schlößnerbrunnen, Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Im Sommer 1992 führte die gezielte Kalkung des Einzugsgebiets der Quelle Schlöppnerbrunnen zu einer kurzfristigen leichten Veränderung der Quellchemie (Abb. 33). Verbunden mit einer pH-Erhöhung auf pH 4,80 verringerte sich die Aluminiumkonzentration auf $1,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Möglicherweise durch direkte Kontamination der Quelle stieg der Calciumgehalt bis auf $11 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ an. Die langfristige Wirkung der Kalkung wird weiter untersucht.

4.3.2.5 Oberirdische Gewässer

4.3.2.5.1 Gewässerchemie und Stoffaustrag

Der Abfluß am Pegel Lehstenbach ist von den Trockenjahren 1990 und 1991 deutlich beeinflusst. Im Vergleich zu den beiden Vorjahren verminderte sich der Abfluß um 10 - 20%. Die durchschnittlichen Niederschläge des Jahres 1992 bewirkten keine Erhöhung des Jahresabflusses, was auf einen großen Bodenspeicher hinweist, der sich wieder füllen mußte. Der Einfluß der Moorflächen im Einzugsgebiet Lehstenbach trägt dabei zum Wasser-rückhalt bei. Die 1991 und 1992 relativ hohen Niedrigabflüsse sprechen für einen gut gefüllten Basisspeicher, der auch in niederschlagsarmen Zeiten ein Trockenfallen der Meßstelle verhindert.

Tab. 115: Hauptzahlen des Abflusses [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$] und Jahresabflußhöhe h_A [mm] am Pegel Lehstenbach

Jahr	NQ	MQ	HQ	HSP	h_A
1988	12,7	68,5	475,3	-	516
1989	12,3	53,5	501,0	800 (4.12.)	403
1990	13,3	44,6	390,1	702 (1.3.)	337
1991	15,6	42,6	433,7	644 (18.11.)	320
1992	14,1	42,6	327,3	586 (20.12.)	321

Der größte Teil des Jahresabflusses erfolgt im Winterhalbjahr, das von Perioden mit Schneeschmelze dominiert wird. Ähnlich wie im Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser führte eine hohe Schneerücklage in Kombination mit hohen Niederschlägen im März

1988 zu einem über den gesamten April abfließenden Hochwasser. Die schneearmen Winter der folgenden Jahre hatten weniger ausgeprägte Frühjahrsabflüsse zur Folge. Im Juni 1991 reagierte der Abfluß auf starke Sommergewitter, die im Kontrast zu dem sonst sehr niederschlagsarmen Sommer standen.

Die Gewässerbeschaffenheit am Pegel Lehstenbach ist geprägt von eng an den Abfluß gekoppelten Schwankungen der Versauerungsintensität (Abb. 34). Von Schneeschmelzen oder Sommergewittern ausgelöste Hochwässer sind durch Wasser aus den sauren Deckschichten geprägt. Bei solchen Ereignissen werden pH-Werte zwischen 3,5 und 4,0 und Aluminiumkonzentrationen bis über $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ gemessen. Beim Rückgang auf Trockenwetterabfluß und zunehmenden Grundwasseranteil steigt der pH-Wert über 6,0. Dominierendes Anion ist Sulfat mit Spitzenwerten von 30 bis $35 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Die Nitratkonzentrationen liegen in den oberirdischen Gewässern zwischen $0,5$ und $12 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

An einigen stark moorbeeinflussten Gewässerabschnitten wird durch Reduktionsvorgänge eine Verminderung der Sulfat- und Nitratkonzentrationen beobachtet. Die Gewässer, die von Westen dem Lehstenbach zufließen sind von der Winterstreuung der unterhalb des Großen Waldsteins verlaufenden Straße beeinflusst. Daher werden an einigen Meßpunkten Chloridkonzentrationen bis über $40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ gemessen.

Grundlage für die Stoffaustragsberechnung sind die Beziehungen zwischen den chemischen Parametern und der Abflußhöhe, die am Pegel Lehstenbach straffer als am Pegel Metzenbach ausfallen. Die beste Korrelation ($r = -0,9$) zum Abfluß zeigt der Parameter pH-Wert. Aufgrund der starken Versauerung werden am Lehstenbach im Gebietsvergleich die höchsten Stoffausträge von freier Säure, Aluminium, Mangan und Sulfat beobachtet (Tab. 117). Der Nitrataustrag beträgt $4 - 7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$. Aufgrund der Straßenstreuung bewegen sich die Austräge für Natrium und Chlorid auf sehr hohem Niveau. Die niedrigsten Austräge wurden 1990, die höchsten

Tab. 116: Beschaffenheitsdaten des oberirdischen Abflusses am Pegel Lehstenbach

Fichtegebirge Oberird. Gewässer		Lehstenbach Messpunkt: 41		Lehstenbach Pegel		WMA: Bayreuth Messstelle: 3414000		TK25: 5837						
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	4,42	3,65	6,36	17	4,13	3,55	5,38	29	4,37	3,74	6,02	9,1	5,5366	30
pH Lab	4,45	3,90	6,00	24	4,30	3,70	6,40	29	4,52	3,79	5,96	6,00	26	
LF VO	83	152	31,1616	19	98	188	59	29	85	163	53	57	25,3221	25
LF Lab	82	147	31,5572	21	96	177	60	29	82	153	54	57	27,4015	26
O2	10,6	12,0	9,8	0,6214	16	11,4	13,3	9,1	11,1	12,8	9,5	8,8	1,0188	23
Temp VO	7,3	10,1	2,7	2,3884	17	5,9	11,3	1,6	5,4	10,5	1,2	0,0	3,4586	25
S04	14,9	27,6	9,0	4,7935	25	17,7	34,5	9,6	15,6	32,0	9,1	9,7	6,2938	26
N03	4,8	9,3	3,1	1,7545	25	4,6	7,9	2,0	4,2	7,1	2,2	2,1	1,1270	26
Cl	6,6	9,8	1,2	1,8122	24	6,1	9,1	3,7	6,2	8,7	2,4	4,4	1,3585	26
HCO3	3,9	6,1	1,8	1,3086	17	2,8	4,9	n.n.	4,2	5,5	1,8	0,6	1,5485	9
N02	n.n.	0,03	n.n.	0,0065	17	n.n.	0,01	n.n.	n.n.	0,02	n.n.	n.n.	0,0000	26
o-P04	0,03	0,05	n.n.	0,0127	25	0,01	0,04	n.n.	n.n.	0,08	n.n.	0,06	0,0142	26
Ca	3,5	5,7	2,4	0,7263	25	3,9	5,5	3,0	3,9	5,9	2,5	2,6	0,8239	26
Mg	1,0	1,4	0,7	0,1605	25	1,1	1,3	0,8	1,0	1,5	0,7	0,6	0,1880	26
Na	5,8	7,3	4,9	0,7199	24	5,1	6,9	2,6	5,3	6,7	3,5	4,1	0,7537	26
K	1,1	1,9	0,2	0,3123	24	1,2	2,8	0,5	1,1	1,4	0,8	0,6	0,2308	26
NH4	0,055	0,193	0,006	0,0518	25	0,050	0,296	n.n.	0,015	0,167	n.n.	0,124	0,0294	26
Al	0,64	1,67	0,14	0,4651	25	0,96	2,95	n.n.	0,70	2,50	0,08	0,10	0,6786	26
Fe	0,16	0,41	0,05	0,0772	25	0,21	0,55	0,02	0,13	0,50	n.n.	0,03	0,1217	26
Mn	0,09	0,35	0,02	0,0721	25	0,10	0,23	0,04	0,07	0,13	n.n.	0,02	0,0370	26
Pb	0,001	0,003	n.n.	0,0009	25	0,001	0,003	n.n.	n.n.	0,003	n.n.	0,005	0,0013	26
Cd	0,0003	0,0007	n.n.	0,0002	17	0,0005	0,0012	0,0001	0,0003	0,0013	n.n.	0,0009	0,0002	26
Cr	n.n.	0,003	n.n.	0,0008	17	n.n.	0,001	n.n.	*****	*****	*****	*****	*****	0
Zn	0,02	0,06	n.n.	0,0147	25	0,03	0,16	0,01	0,02	0,07	n.n.	0,05	0,0140	26
Ba	0,04	0,10	n.n.	0,0263	25	0,04	0,06	0,02	0,03	0,08	0,01	0,07	0,0157	26
TOC	4,2	9,0	1,3	1,6576	21	6,4	15,0	1,3	4,5	14,0	1,5	1,3	3,0576	25
SPAK254	15,2	30,0	6,6	5,6222	25	18,1	40,0	0,6	13,1	42,0	0,6	4,0	26,6136	25
S102	12,2	15,0	4,4	2,9903	14	12,4	15,0	10,0	13,0	15,0	11,0	5,4	2,3267	25
TOC	6,3	23,1	1,4	4,7068	29	4,4	14,0	1,3	4,4	14,0	1,5	1,3	3,0576	25
SPAK254	21,4	69,0	6,2	15,5737	25	28,6	146,0	4,0	13,1	42,0	0,6	4,0	26,6136	25
S102	12,8	16,0	8,5	1,7009	29	12,5	16,0	5,4	13,0	15,0	11,0	5,4	2,3267	25

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KB8,2 in mmol/l)

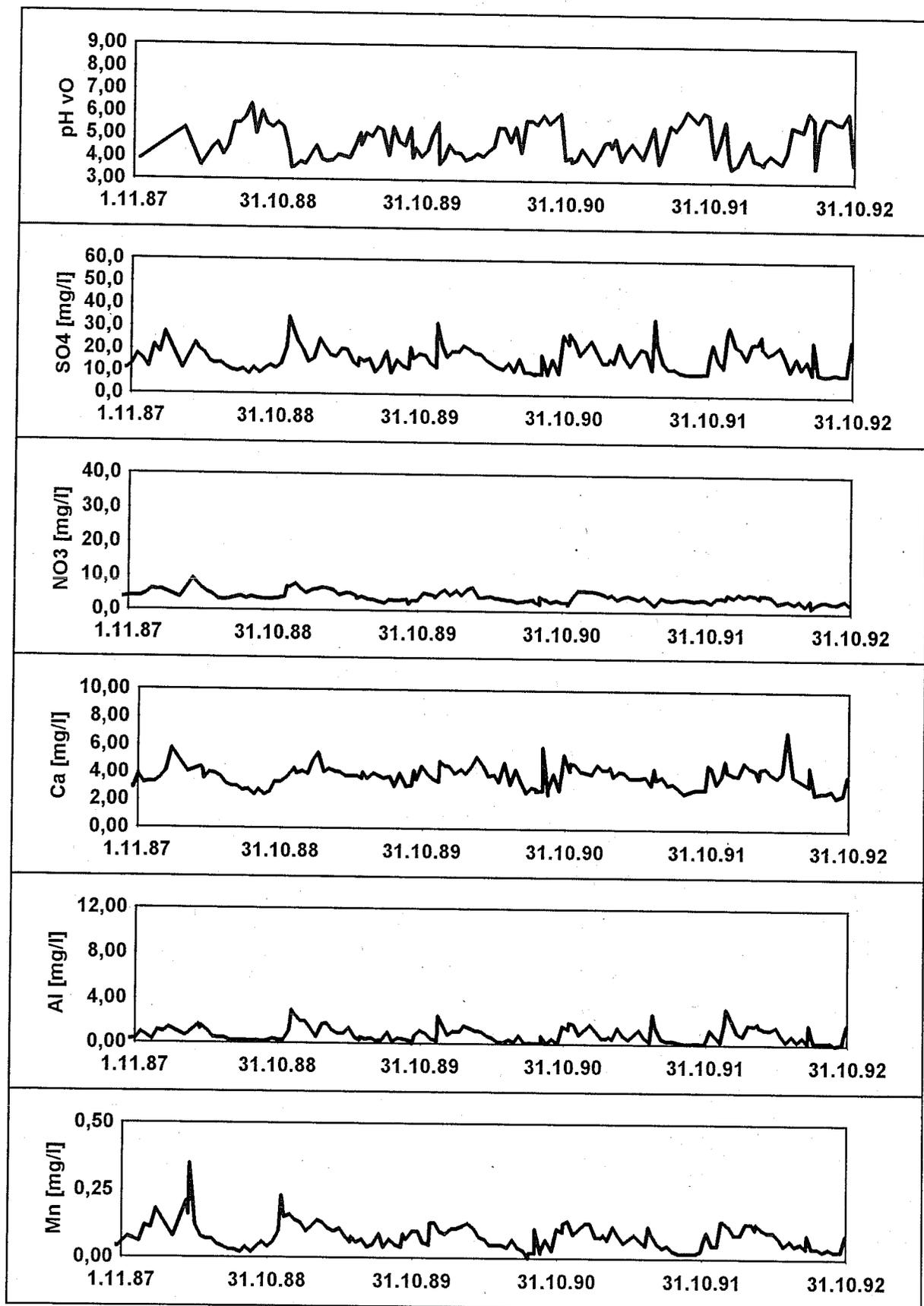


Abb. 34: Ganglinien ausgewählter Parameter am Pegel Lehstenbach

Tab. 117: Stoffaustrag mit dem oberirdischen Abfluß am Pegel Lehstenbach in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($\text{H}^+ \text{vO}$ in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Jahr	$\text{H}^+ \text{vO}$	Cl	$\text{SO}_4\text{-S}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	HCO_3	Ca	Mg	Na	K	$\text{NH}_4\text{-N}$	Mn	Al
1988	2,117	44,3	39,4	6,7	0,8	22,2	5,6	33,4	6,5	0,31	0,75	8,1
1989	0,745	25,2	27,6	4,7	0,6	16,5	4,5	19,0	5,3	0,19	0,48	5,3
1990	0,492	20,8	21,8	3,7	0,9	13,5	3,9	17,0	3,7	0,14	0,36	3,9
1991	0,850	22,7	24,5	4,0	0,7	14,6	4,1	19,1	3,8	0,16	0,41	4,5

Austräge, entsprechend dem hohen Jahresabfluß von 516 mm, im Jahr 1988 registriert. Die größten Schwankungen weist dabei die freie Säure auf, deren Fracht sich 1990 gegenüber 1988 um 75% verminderte.

4.3.2.5.2 Kieselalgen

Im Untersuchungsgebiet Lehstenbach wurden nur 95 Diatomeenarten nachgewiesen. Es treten vorwiegend sehr versauerungstolerante Arten auf, die die starke Versauerung im Einzugsgebiet belegen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Meßpunkten sind verhältnismäßig gering (Tab. 118).

Tab. 118: Gewässerversauerung aufgrund des Diatomeen-Toleranzstufen-Systems, Untersuchungsgebiet Lehstenbach

Meßpunkt	TS_{pH}	TS_{Al}	TS_{SO_4}
Lehstenbach Pegel	1,0	1,9	1,8
Ruttnergraben	1,0	1,3	1,3
B2-hoch	1,0	1,2	1,2
Zufluß Höhe B1	1,0	2,0	2,0
Schlöppnerbrunnen	2,0	1,0	1,0
Bergkopf-Quelle 1	1,0	1,5	1,1

An keinem der 12 untersuchten Meßpunkte ergaben sich für die drei Parameter pH-Wert, Aluminium und Sulfat Toleranzstufen oberhalb von 2,0. Der ganzjährig stark versauerte Schlöppnerbrunnen weist erwartungsgemäß die niedrigsten Toleranzstufen bezüglich Aluminium und Sulfat auf. Das Auftreten der pH-sensitiven Art *Achnanthes helvetica* führt hier zur Einstufung in die pH-Toleranzstufe 2,0.

4.4 Region Oberpfälzer Wald

4.4.1 Situation der Wasserversorgungen Region Oberpfälzer Wald

Die geogenen Lösungsinhalte der versauerungsempfindlichen Grundwässer in der Region Oberpfälzer Wald werden von Graniten und Gneisen geprägt. Die Summe der Erdalkalitionen von $0,43 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ entspricht einer Härte von 2°dH , was nach dem Waschmittelgesetz dem Härtebereich 1 zuzuordnen ist. Der Anteil an überschüssigem Kohlendioxid (maximal $75 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) führt zu einem über die Region gemittelten Calcitlösevermögen von $49,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Weitere Auskünfte über die Roh- und Reinwasserbeschaffenheit in der Region geben die Gebietsmittelwerte (Tab. 119).

Die Häufigkeitsverteilung der pH-Werte, deren Datenbasis 202 Rohwasser- und 130 Reinwasseranalysen bilden, zeigt, daß 91,6% der Rohwässer den unteren Grenzwert von 6,5 nicht erreichen und nach der Aufbereitung noch 8,5% der Reinwasseranalysen unter diesem Grenzwert liegen. Der Gebietsmittelwert für den Parameter Delta-pH von 0,98 pH-Einheiten verdeutlicht die mangelnde Entsäuerungsleistung der Aufbereitungsanlagen.

Die Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser zeigen bezüglich des EG-Richtwertes bei 6,9% der Rohwasseranalysen Aluminiumwerte $>0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ und bei 8,9% Manganwerte $>0,02 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Grenzwertüberschreitungen findet man bei 0,5% bzw. 6,4% der Rohwasseranalysen (Abb. 35). Bei den Reinwässern liegen 0,8% der Aluminiumwerte über $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Der Grenzwert wird nicht erreicht. Beim Mangan überschreiten 3,2% der Analysen den Richt- und 0,8% den Grenzwert.

In der Region wurden 4 Anlagen intensiv beprobt. Die Mittelwerte, sowie der im jeweiligen hydrologischen Jahr gemessene Minimal- bzw. Maximalwert sind in den Tab. 120 - 127 wiedergegeben. Aus dem Vergleich von Roh- und Reinwasserqualität einer Anlage läßt sich die Effektivität der Aufbereitung ableiten.

Die Abbildung 36 zeigt Konzentrationsganglinien für die Parameter pH-Wert, Aluminium und Mangan im Roh- und Reinwasser einer ausgesuchten Wasserversorgung. Auffällig ist die gleichartige Dynamik der Aluminium- und Manganionenkonzentration im Rohwasser. Besonders bemerkenswert sind aber die beachtlichen pH-Wertschwankungen im Reinwasser. Da beim Rohwasser weniger starke Schwankungen auftreten, sind die Ursachen wohl in der Betriebsweise der Entsäuerungsanlage zu suchen. Dazu zählen z.B. unregelmäßige Spülung des Filtermaterials, ungenügendes Auffüllen von Filtermaterial oder fehlende Rohwasserzulaufbegrenzung. Auch hier wird der Zusammenhang zwischen Entsäuerungs- und Eliminierungsleistung der Aufbereitungsanlage deutlich.

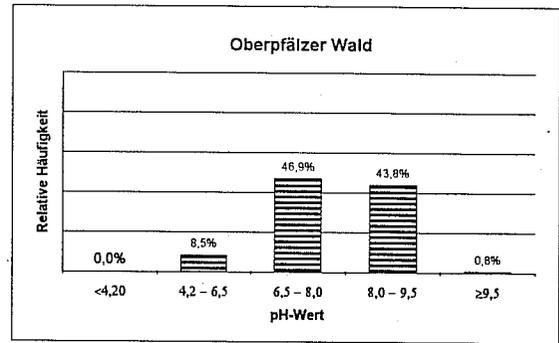
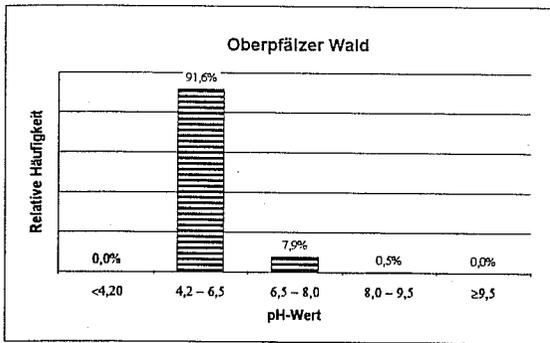
Tab. 119: Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers,
Region Oberpfälzer Wald

Region: Oberpfälzer Wald									
Landkreise: Amberg-Sulzbach, Cham, Neustadt an der Waldnaab, Schwandorf									
Rohwasser					Reinwasser				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,85	5,15	7,70	63	pH-Wert	7,01	5,90	9,51	41
Delta-pH	-2,41	0,13	-3,66	61	Delta-pH	-0,98	-0,08	-2,87	33
pHc	8,18	7,44	9,42	61	pHc	8,26	7,59	9,28	33
Temp.	7,9	1,0	13,3	63	Temp.	8,3	4,3	14,2	41
LF	105	21	525	63	LF	152	3	339	41
O2	9,9	0,4	13,0	63	O2	10,6	6,4	12,3	41
°dH	2,0	0,3	16,3	63	°dH	4,1	0,4	10,1	41
Calcitlösek.	49,2	-6,7	143,4	61	Calcitlösek.	14,0	-1,7	48,6	33
KS4,3	0,34	0,04	3,45	63	KS4,3	1,05	0,14	2,23	41
KB8,2	0,51	0,12	1,71	61	KB8,2	0,12	0,00	0,65	39
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	KS8,2	0,00	0,00	0,00	19
SiO2	16,8	1,0	39,0	63	SiO2	17,8	6,5	34,0	41
SPAK254	1,2	0,2	5,2	63	SPAK254	1,2	0,2	7,0	41
TOC	0,6	0,2	5,1	63	TOC	0,7	0,2	6,5	41
Kationen					Kationen				
Ca	9,6	1,4	81,0	63	Ca	21,8	1,7	68,0	41
Mg	3,7	0,5	22,1	63	Mg	4,9	0,6	21,5	41
Na	5,6	1,4	51,0	63	Na	5,5	1,9	51,0	41
K	1,5	n.n.	4,6	63	K	1,5	0,6	4,5	41
Fe	0,19	n.n.	5,30	63	Fe	0,01	n.n.	0,26	41
Mn	0,02	n.n.	0,64	63	Mn	0,003	n.n.	0,13	41
Al	0,02	n.n.	0,25	63	Al	0,01	n.n.	0,06	41
Cd	0,0001	n.n.	0,0013	63	Cd	0,0001	n.n.	0,0004	41
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	63	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	41
Cu	0,003	n.n.	0,050	63	Cu	0,002	n.n.	0,021	41
NH4	0,08	n.n.	3,00	63	NH4	0,12	n.n.	6,70	41
Anionen					Anionen				
Cl	8,7	0,7	72,0	63	Cl	8,2	0,9	30,0	41
F	0,1	n.n.	1,1	63	F	0,1	n.n.	1,5	41
SO4	10,6	1,1	46,8	63	SO4	9,7	1,1	49,2	41
NO3	11,6	0,1	53,2	63	NO3	10,7	0,1	46,5	41
NO2	0,06	n.n.	2,00	63	NO2	0,04	n.n.	2,60	41
PO4	0,06	n.n.	0,89	63	PO4	0,06	n.n.	0,38	41

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

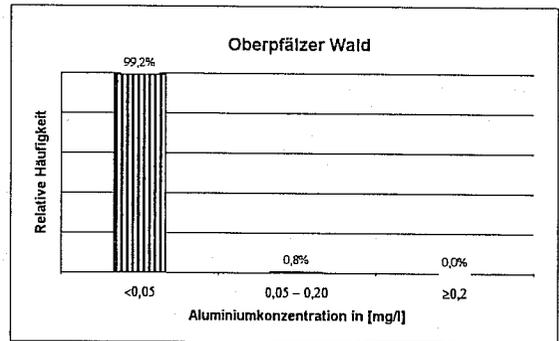
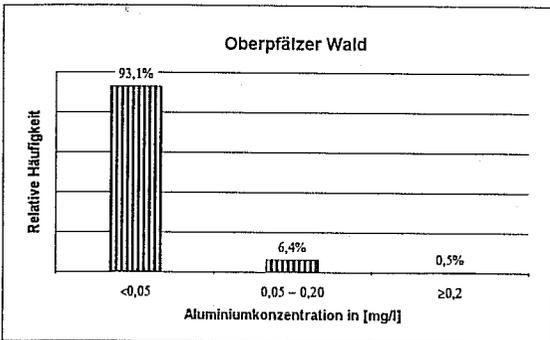
Rohwasser

Reinwasser



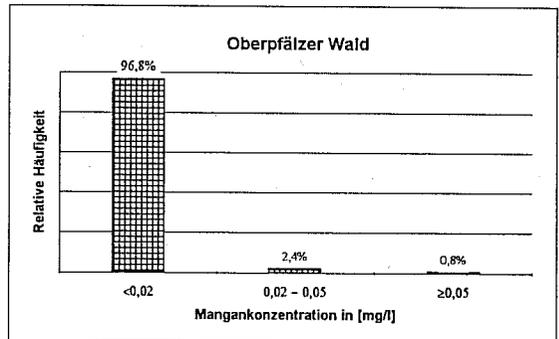
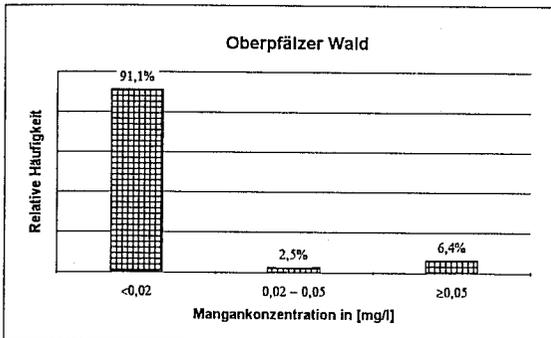
a)

b)



c)

d)



e)

f)

Abb. 35: Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Oberpfälzer Wald im hydrologischen Jahr 1989. Die Klassengrenzen für den pH-Wert orientieren sich nach folgenden Kriterien: pH 4,2 Definierter Beginn des Aluminium-Puffers, pH 6,5 und 9,5 Grenzwerte der TrinkwV, pH 8,0 Obere Grenze, für die in der TrinkwV eine Entsäuerung bis zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gefordert ist, d.h. $pH = pH_c$. (Bei der Verwendung von Faserzementwerkstoffen muß auch im Bereich von pH 8,0 - 9,5 der pH-Wert des Reinwassers gleich dem pH-Wert der Calcitsättigung entsprechen.) Für Aluminium und Mangan orientieren sich die Klassen an EG-Richtwerten und Grenzwerten der TrinkwV.

Tab. 120: Beschaffenheitsdaten der Probenahmeestelle 1041 der Wasserversorgung 104

Kennnummer: 1041 Rohwasserdaten		Region: Oberpfälzer Wald Landkreis: Amberg-Weilburg														
		1989			1990			1991			1992					
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,69	5,29	6,03	5	5,74	5,50	6,07	12	5,45	5,35	5,74	6	5,65	5,65	5,65	1
Delta-pH	-2,74	-2,31	-3,54	4	-2,73	-2,30	-3,26	12	-2,98	-2,73	-3,21	6	-2,77	-2,77	-2,77	1
pHc-Wert	8,44	8,22	8,84	4	8,47	8,20	8,76	12	8,44	8,17	8,63	6	8,43	8,43	8,43	1
Temp.	8,5	6,4	10,6	5	7,8	5,2	12,1	12	7,3	4,7	10,7	6	7,8	7,8	7,8	1
LF	117	107	125	5	124	113	135	12	128	117	139	6	110	110	110	1
O2	10,9	10,4	11,5	5	11,3	10,4	12,2	11	11,2	10,8	11,7	6	11,7	11,7	11,7	1
°dH	2,3	2,0	2,8	5	2,4	2,1	2,7	12	2,5	2,1	2,9	6	2,0	2,0	2,0	1
Calcitiöse.	41,4	24,3	52,6	4	40,8	28,2	53,4	12	43,4	33,1	57,2	6	40,7	40,7	40,7	1
KS4.3	0,13	0,05	0,21	5	0,13	0,05	0,25	12	0,10	0,06	0,17	6	0,22	0,22	0,22	1
KB8.2	0,41	0,23	0,53	4	0,40	0,27	0,54	12	0,43	0,32	0,58	6	0,40	0,40	0,40	1
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	18,0	15,0	20,0	5	17,6	15,0	20,0	12	16,7	14,0	19,0	5	21,0	21,0	21,0	1
SPAK254	1,5	0,6	2,6	5	1,5	0,4	4,8	12	3,9	1,8	8,6	6	3,4	3,4	3,4	1
TOC	1,0	0,6	1,4	5	1,0	0,6	1,7	12	1,1	0,7	1,5	6	1,2	1,2	1,2	1
Ca	11,1	10,0	13,7	5	11,7	10,0	13,0	12	12,1	10,4	14,0	6	9,7	9,7	9,7	1
Mg	3,2	2,7	3,9	5	3,4	3,0	3,7	12	3,4	3,0	4,1	6	3,0	3,0	3,0	1
Na	6,7	6,2	7,2	5	7,2	6,3	8,5	12	7,6	6,5	8,5	6	6,6	6,6	6,6	1
K	1,9	1,9	2,0	5	2,0	1,5	2,4	12	2,1	1,9	2,4	6	1,8	1,8	1,8	1
Fe	0,02	0,01	0,04	5	0,01	0,01	0,03	12	0,15	0,01	0,71	6	0,23	0,23	0,23	1
Mn	0,02	0,01	0,04	5	0,02	0,01	0,05	12	0,03	0,01	0,05	6	0,01	0,01	0,01	1
Al	0,11	0,04	0,25	5	0,10	n.n.	0,18	12	0,20	0,09	0,52	6	0,08	0,08	0,08	1
Cd	0,0001	n.n.	0,0001	5	0,0002	n.n.	0,0011	12	0,0001	0,0001	0,0002	6	n.n.	n.n.	n.n.	1
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,02	6	0,01	0,01	0,01	1
Cu	0,001	n.n.	0,003	5	0,001	n.n.	0,003	12	0,001	n.n.	0,004	6	0,001	0,001	0,001	1
NH4	0,03	n.n.	0,09	5	0,09	n.n.	0,77	12	0,04	n.n.	0,08	6	0,06	0,06	0,06	1
Cl	6,1	5,3	8,0	5	7,7	4,4	12,0	12	8,9	5,3	12,0	6	4,9	4,9	4,9	1
F	0,2	n.n.	0,2	5	0,2	0,2	0,2	12	0,2	0,2	0,2	6	0,2	0,2	0,2	1
SO4	37,7	31,4	46,8	5	39,2	32,6	45,1	12	41,2	37,3	50,8	6	31,1	31,1	31,1	1
NO3	1,4	0,8	1,9	5	1,4	0,4	2,3	12	1,6	0,8	2,5	6	1,0	1,0	1,0	1
NO2	0,01	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,02	6	n.n.	n.n.	n.n.	1
PO4	0,17	0,09	0,23	5	0,21	0,06	0,48	12	0,12	0,08	0,23	6	0,25	0,25	0,25	1

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 121: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1049 der Wasserversorgung 104

Hydrologisches Jahr:	Region: Oberpfälzer Wald Landkreis: Amberg-Weizsach															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	7,77	7,61	7,95	5	7,25	6,58	8,03	12	6,57	6,08	7,69	6	6,32	6,32	6,32	1
Delta-pH	-0,75	-0,59	-0,91	2	-1,44	-0,43	-1,94	9	-1,96	-0,82	-2,30	6	-2,27	-2,27	-2,27	1
pHc-Wert	8,37	8,22	8,52	2	8,46	8,27	8,71	9	8,53	8,31	8,70	6	8,60	8,60	8,60	1
Temp.	8,5	6,4	11,0	5	7,5	4,7	12,2	12	7,0	4,5	10,8	6	7,4	7,4	7,4	1
LF	184	164	192	5	168	156	184	12	155	141	182	6	129	129	129	1
O2	11,0	10,4	11,6	5	11,3	10,6	11,9	11	11,1	10,3	11,8	6	11,5	11,5	11,5	1
°dH	5,2	4,6	6,2	5	4,3	3,9	5,4	12	3,5	3,1	4,5	6	2,8	2,8	2,8	1
Calcitiosek.	2,2	2,2	2,2	2	15,9	1,6	31,5	9	20,9	3,4	33,5	6	19,4	19,4	19,4	1
KS4.3	1,02	0,78	1,23	5	0,71	0,39	1,16	12	0,46	0,32	0,88	6	0,48	0,48	0,48	1
KB8.2	0,01	0,00	0,02	3	0,12	0,00	0,31	11	0,20	0,02	0,33	6	0,18	0,18	0,18	1
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	18,6	15,0	21,0	5	18,0	15,0	22,0	12	16,9	14,0	19,0	6	21,0	21,0	21,0	1
SPAK254nm	1,6	0,6	3,0	5	2,2	0,4	5,4	12	3,4	2,0	5,2	6	2,6	2,6	2,6	1
TOC	0,9	0,6	1,4	5	1,2	0,8	2,0	12	1,1	0,8	1,5	6	1,0	1,0	1,0	1
Ca	31,2	28,1	34,0	5	25,3	22,0	33,0	12	19,5	17,0	27,0	6	15,0	15,0	15,0	1
Mg	3,9	2,8	6,4	5	3,4	3,0	3,9	12	3,4	3,0	4,0	6	3,0	3,0	3,0	1
Na	6,6	6,3	7,2	5	7,1	6,2	8,5	12	7,6	6,4	8,5	6	6,5	6,5	6,6	1
K	2,0	1,9	2,0	5	2,0	1,4	2,4	12	2,0	1,8	2,2	6	1,8	1,8	1,8	1
Fe	0,03	0,01	0,07	5	n.n.	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,02	6	n.n.	n.n.	n.n.	1
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	0,01	0,02	12	0,01	n.n.	0,03	6	0,01	0,01	0,01	1
Al	0,02	n.n.	0,05	5	0,03	n.n.	0,06	12	0,10	n.n.	0,26	6	n.n.	n.n.	n.n.	1
Cd	0,0001	0,0001	0,0002	5	0,0001	n.n.	0,0001	12	0,0001	n.n.	0,0001	6	n.n.	n.n.	n.n.	1
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	n.n.	1
Cu	0,001	0,001	0,003	5	0,001	n.n.	0,001	12	0,001	n.n.	0,001	6	0,001	0,001	0,001	1
NH4	n.n.	n.n.	0,01	5	0,07	n.n.	0,52	12	0,02	n.n.	0,09	6	0,02	0,02	0,02	1
Cl	6,1	5,3	8,0	5	7,7	4,6	13,0	12	8,9	5,3	12,0	6	4,8	4,8	4,8	1
F	0,1	n.n.	0,2	5	0,2	n.n.	0,3	12	0,2	0,2	0,3	6	0,2	0,2	0,2	1
SO4	37,8	31,6	46,9	5	39,5	34,0	44,5	12	41,3	37,0	49,1	6	31,4	31,4	31,4	1
NO3	1,4	0,7	1,8	5	1,3	0,4	2,3	11	1,6	1,0	2,7	6	1,5	1,5	1,5	1
NO2	0,02	n.n.	0,06	5	0,02	n.n.	0,07	12	0,01	n.n.	0,03	6	n.n.	n.n.	n.n.	1
PO4	0,12	0,05	0,20	5	0,15	0,03	0,61	12	0,09	0,03	0,19	6	0,28	0,28	0,28	1

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 122: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1091 der Wasserversorgung 109

Kennnummer: 1091 Rohwasserdaten		Region: Oberpfälzer Wald Landkreis: Amberg-Weizsach														
		1989			1990			1991			1992					
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	6,25	6,00	6,63	4	6,52	6,30	6,71	12	6,22	6,16	6,29	6	6,20	6,11	6,29	4
Delta-pH	-2,36	-2,05	-2,64	4	-2,03	-1,86	-2,47	12	-2,24	-2,11	-2,33	6	-2,16	-2,06	-2,32	4
pHc-Wert	8,61	8,43	8,73	4	8,56	8,32	8,77	12	8,46	8,35	8,53	6	8,36	8,26	8,52	4
Temp.	10,8	7,6	13,2	4	9,5	4,9	14,7	12	8,6	4,2	14,0	6	12,5	9,5	14,6	4
LF	73	71	74	4	76	75	78	12	75	74	78	6	75	73	77	4
O2	9,8	9,4	10,2	4	10,7	8,9	11,5	11	10,4	9,9	11,4	6	11,3	9,1	12,4	4
°dH	1,2	0,9	1,4	4	1,4	1,2	1,5	12	1,4	1,2	1,5	6	1,2	1,1	1,2	4
Calcititelsek.	25,9	22,1	34,9	4	28,2	22,9	37,4	12	34,3	28,3	42,5	6	76,1	70,1	79,3	4
KS4.3	0,47	0,40	0,52	4	0,36	0,36	0,38	12	0,46	0,40	0,51	6	0,52	0,50	0,53	4
KB8.2	0,24	0,20	0,34	4	0,82	0,73	0,91	12	0,33	0,27	0,42	6	0,35	0,27	0,40	4
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	28,0	27,0	29,0	4	27,8	25,0	29,0	12	28,7	26,0	31,0	6	34,0	33,0	35,0	4
SPAK254	0,8	0,4	1,6	4	1,0	0,4	2,0	12	2,8	1,2	6,2	6	0,8	0,4	1,4	4
TOC	0,6	0,5	0,7	4	0,6	0,4	0,8	12	0,7	0,4	1,3	6	0,4	0,2	0,6	4
Ca	5,4	3,3	6,4	4	6,5	5,9	7,2	12	6,6	5,7	7,2	6	6,3	6,3	6,3	4
Mg	2,0	1,9	2,2	4	2,0	1,8	2,2	12	2,0	1,7	2,3	6	1,9	1,7	2,0	4
Na	7,3	6,8	7,5	4	7,4	6,8	8,5	12	7,3	7,1	8,5	6	7,4	7,3	7,5	4
K	0,6	0,5	0,6	4	0,7	0,1	1,2	12	0,6	0,5	0,6	6	0,6	0,5	0,7	4
Fe	0,23	0,02	0,87	4	0,01	n.n.	0,01	12	0,02	n.n.	0,01	6	0,02	0,01	0,02	4
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	3
Al	0,07	0,01	0,13	4	0,02	n.n.	0,06	12	0,08	n.n.	0,36	6	0,05	n.n.	0,07	4
Cd	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	0,0003	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	4
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,01	n.n.	0,01	12	0,01	n.n.	0,01	6	0,01	0,01	0,01	4
Cu	0,004	0,002	0,006	4	0,002	0,001	0,003	12	0,002	0,002	0,003	6	0,003	n.n.	0,001	4
NH4	0,01	n.n.	0,01	4	0,08	n.n.	0,58	12	0,02	n.n.	0,07	6	0,04	0,02	0,05	2
Cl	2,2	2,2	2,3	4	5,3	5,0	6,1	12	5,1	4,9	5,1	6	2,1	1,9	2,3	4
F	1,1	1,0	1,2	4	1,1	0,9	1,3	12	1,0	0,9	1,0	6	1,1	1,0	1,2	4
SO4	8,9	6,6	12,6	4	5,8	5,5	6,5	12	5,9	5,6	6,3	6	7,6	6,7	8,6	4
NO3	0,3	0,2	0,3	4	5,3	4,9	5,5	12	5,1	4,5	5,8	6	0,4	0,2	0,9	4
NO2	n.n.	n.n.	0,01	4	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	3
PO4	0,39	0,31	0,45	4	0,39	0,24	0,49	12	0,35	0,28	0,43	6	0,43	0,34	0,47	4

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 123: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1099 der Wasserversorgung 109

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl	
	Mittel	Max	Min	Max	Anzahl		Mittel	Max	Min	Max	Anzahl		Mittel	Max	Min	Max	Anzahl		Mittel	Max	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert	7,55	8,08	6,14	8,08	4		8,11	7,86	8,28	12		7,89	7,63	8,01	6		9,60	7,66	10,58	4				
Delta-pH	-1,15	-1,79	-0,51	-1,79	2		-0,39	-0,12	-0,59	10		-0,67	-0,52	-0,84	4		-0,84	-0,84	-0,84	1				
pHc-Wert	8,19	8,45	7,94	8,45	2		8,49	8,31	8,74	10		8,50	8,47	8,55	4		8,50	8,50	8,50	1				
Temp.	10,5	13,5	6,8	13,5	4		9,1	4,7	13,6	12		8,3	4,2	13,5	6		12,2	9,8	13,9	4				
LF	110	124	71	124	4		122	116	124	12		124	120	126	6		115	15	164	4				
O2	9,9	11,3	7,3	11,3	4		11,2	9,2	12,7	11		10,8	10,2	12,3	6		10,8	9,3	12,1	4				
°dH	2,7	3,5	1,0	3,5	4		3,2	2,9	3,4	12		3,2	2,8	3,6	6		4,2	2,8	5,1	4				
Calcitfösek.	38,8	70,3	7,3	70,3	2		2,8	-5,5	11,6	10		3,6	2,5	5,5	4		4,6	4,6	4,6	1				
KS4.3	0,93	1,14	0,53	1,14	4		1,05	0,80	1,16	12		1,05	0,92	1,11	6		1,50	1,07	1,70	4				
KB8.2	0,20	0,74	0,00	0,74	4		0,04	0,00	0,11	8		0,01	0,00	0,04	6		0,03	0,03	0,03	1				
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0		0,05	0,01	0,08	4		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2	28,5	29,0	27,0	29,0	4		27,6	24,0	30,0	12		28,3	25,0	31,0	6		30,3	24,0	37,0	4				
SPAK254	0,6	0,8	0,4	0,8	4		0,8	0,2	2,0	12		2,2	0,6	3,2	6		0,8	0,4	1,2	4				
TOC	0,7	0,9	0,5	0,9	4		0,8	0,4	1,7	12		0,8	0,4	1,1	6		0,4	0,2	0,8	4				
Ca	15,8	21,0	3,5	21,0	4		19,8	18,0	21,0	12		19,3	17,0	22,0	6		11,7	8,2	17,0	4				
Mg	2,1	2,3	1,9	2,3	4		2,1	1,9	2,2	12		2,0	1,8	2,2	6		11,2	1,9	17,0	4				
Na	7,2	7,6	6,8	7,6	4		7,1	6,4	8,5	12		7,3	7,0	8,5	6		7,5	7,3	7,6	4				
K	0,6	0,6	0,5	0,6	4		0,5	n.n.	0,7	12		0,6	0,5	0,7	6		0,6	0,5	0,7	4				
Fe	0,03	0,04	0,01	0,04	4		0,01	n.n.	0,05	12		0,01	n.n.	0,02	6		0,01	0,01	0,02	4				
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4		n.n.	n.n.	0,01	12		n.n.	n.n.	n.n.	6		n.n.	n.n.	n.n.	4				
Al	0,02	0,05	n.n.	0,05	4		0,02	n.n.	0,05	12		0,10	n.n.	0,34	6		0,01	n.n.	0,05	4				
Cd	0,0002	0,0005	n.n.	0,0005	4		n.n.	n.n.	0,0003	12		n.n.	n.n.	n.n.	6		n.n.	n.n.	n.n.	4				
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4		0,01	n.n.	0,02	12		n.n.	n.n.	0,01	6		n.n.	n.n.	n.n.	4				
Cu	0,003	0,004	0,001	0,004	4		0,001	0,001	0,002	12		0,002	0,001	0,004	6		0,001	0,001	0,001	4				
NH4	n.n.	0,01	n.n.	0,01	4		0,10	n.n.	0,71	12		0,01	n.n.	0,03	6		0,03	n.n.	0,07	2				
Cl	2,2	2,3	2,0	2,3	4		2,3	2,1	2,9	12		2,2	2,0	2,4	6		2,3	2,1	2,6	4				
F	1,2	1,5	1,0	1,5	4		1,1	0,8	1,4	12		1,1	0,9	1,2	6		0,9	0,7	1,2	4				
SO4	9,1	13,0	6,5	13,0	4		10,3	6,2	21,7	12		11,6	7,9	15,9	6		7,6	6,9	8,5	4				
NO3	0,3	0,3	0,2	0,3	4		0,3	0,2	0,5	11		0,3	0,2	0,5	6		0,4	0,2	0,9	4				
NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,01	4		n.n.	n.n.	0,01	6		n.n.	n.n.	n.n.	6		n.n.	n.n.	n.n.	4				
PO4	0,38	0,46	0,31	0,46	4		0,47	0,25	1,20	12		0,36	0,27	0,47	6		0,41	0,36	0,51	4				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 124: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1111 der Wasserversorgung 111

Kennummer: 1111 Rohwasserdaten		Region: Oberpfälzer Wald Landkreis: Schwandorf														
		Hydrologisches Jahr: 1989			1990			1991			1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,76	5,43	6,05	4	5,93	5,75	6,07	12	5,70	5,52	5,85	6	5,50	5,24	5,65	4
Delta-pH	-2,28	-1,97	-2,69	4	-2,01	-1,88	-2,23	12	-2,22	-2,04	-2,42	6	-2,45	-2,35	-2,65	4
pHc-Wert	8,05	7,93	8,21	4	7,94	7,88	7,99	12	7,92	7,88	8,02	6	7,94	7,89	8,01	4
Temp.	9,2	8,3	9,9	4	9,3	7,9	11,6	12	8,6	7,6	10,0	6	10,0	8,9	11,5	4
LF	75	74	77	4	76	75	78	12	75	74	75	6	75	74	77	4
O2	8,5	7,9	9,1	4	8,5	7,5	11,0	11	8,3	7,4	10,1	6	8,7	7,5	9,7	4
°dH	1,3	1,2	1,5	4	1,2	1,2	1,3	12	1,2	1,1	1,4	6	1,2	1,1	1,2	4
Calcitlösek.	67,1	53,5	79,6	4	77,4	70,0	85,5	12	80,6	71,2	86,3	6	76,1	70,1	79,3	4
KS4.3	0,36	0,36	0,36	4	0,36	0,36	0,38	12	0,36	0,34	0,36	6	0,36	0,35	0,37	4
KB8.2	0,70	0,54	0,84	4	0,82	0,73	0,91	12	0,85	0,74	0,92	6	0,80	0,73	0,84	4
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	31,5	31,0	32,0	4	30,8	29,0	32,0	12	32,1	27,0	35,0	6	34,0	33,0	35,0	4
SPAK254	0,8	0,2	2,0	4	0,7	0,2	2,4	12	2,4	0,4	7,4	6	0,8	0,4	1,4	4
TOC	0,5	0,4	0,7	4	0,6	0,3	1,2	12	0,6	0,3	0,8	6	0,4	0,2	0,6	4
Ca	6,3	6,1	6,6	4	6,3	6,0	6,6	12	6,3	5,5	7,3	6	6,1	5,9	6,2	4
Mg	1,9	1,5	2,9	4	1,5	1,4	1,6	12	1,5	1,3	1,7	6	1,4	1,3	1,5	4
Na	7,5	7,3	7,8	4	7,4	6,8	8,5	12	7,6	7,2	8,5	6	7,4	7,3	7,6	4
K	0,7	0,6	0,7	4	0,7	0,1	1,2	12	0,7	0,6	0,7	6	0,7	0,7	0,7	4
Fe	0,01	n.n.	0,01	4	0,00	n.n.	0,01	12	0,00	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,01	4
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,00	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	4
Al	0,02	n.n.	0,04	4	0,02	n.n.	0,06	12	0,08	n.n.	0,36	6	0,01	n.n.	0,05	4
Cd	0,0001	n.n.	0,0001	4	0,0000	n.n.	0,0002	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	4
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	4
Cu	0,001	n.n.	0,001	4	0,001	n.n.	0,003	12	0,001	n.n.	0,001	6	0,000	n.n.	0,001	4
NH4	0,02	n.n.	0,04	4	0,08	n.n.	0,58	12	0,01	n.n.	0,05	6	0,01	n.n.	0,02	3
Cl	5,3	4,9	5,7	4	5,3	5,0	6,1	12	5,1	4,9	5,1	6	4,7	3,9	5,1	4
F	1,1	1,0	1,1	4	1,1	0,9	1,3	12	1,0	0,9	1,0	6	1,0	0,9	1,1	3
SO4	5,8	5,7	5,9	4	5,8	5,5	6,5	12	5,9	5,6	6,3	6	5,9	5,7	5,9	4
NO3	5,2	5,0	5,4	4	5,3	4,9	5,5	12	5,1	4,5	5,8	6	5,7	4,5	6,7	4
NO2	0,01	n.n.	0,02	4	0,00	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	0,00	n.n.	0,01	4
PO4	0,30	0,26	0,32	4	0,35	0,24	0,54	12	0,28	0,20	0,34	6	0,34	0,27	0,39	4

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 125: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 1119 der Wasserversorgung 111

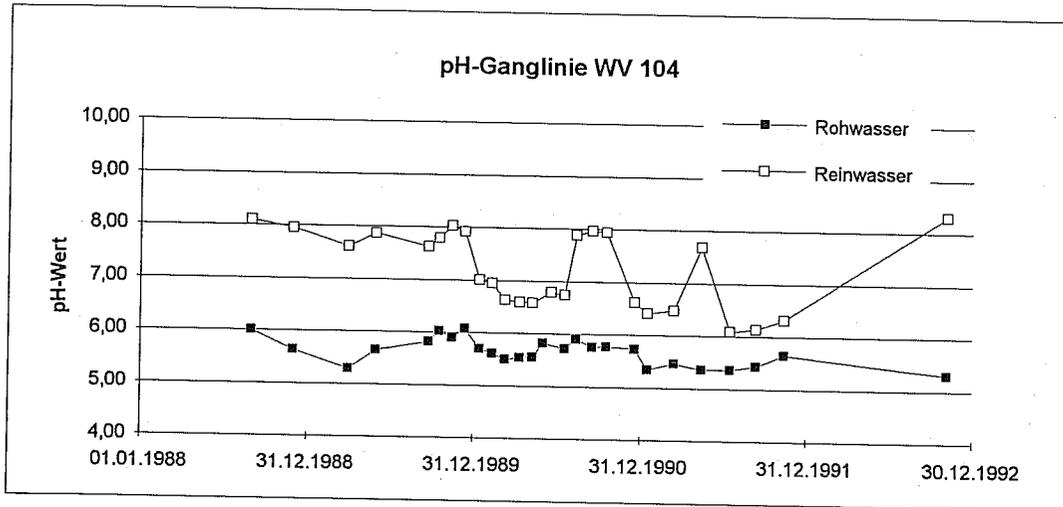
Hydrologisches Jahr:	1989			1990			1991			1992		
	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max
	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Region: Oberpfälzer Wald Landkreis: Schwandorf	Kennnummer: 1119 Reinwasserdaten											
	pH-Wert	6,66	6,39	6,92	6,67	6,43	7,11	6,20	5,98	6,40	6,13	5,86
Delta-pH	-1,40	-1,14	-1,62	-1,35	-0,73	-1,66	-1,88	-1,70	-2,09	-2,02	-1,79	-2,27
pHc-Wert	8,06	8,01	8,10	8,02	7,84	8,13	8,08	8,05	8,12	8,15	8,12	8,18
Temp.	9,2	8,0	10,0	9,2	7,4	11,6	9,2	7,3	10,0	10,3	8,6	12,6
LF	141	136	143	132	117	187	102	95	109	107	93	113
O2	9,9	9,7	10,2	9,7	8,4	11,0	9,6	9,1	10,2	10,0	9,3	10,4
°dH	3,8	3,6	4,1	3,5	2,7	6,1	2,1	1,8	2,5	2,3	1,7	2,7
Calcitlösek.	26,6	23,6	31,6	35,8	21,0	46,7	49,9	44,7	52,3	41,2	36,5	50,8
KS4,3	1,18	1,11	1,21	1,07	0,87	1,85	0,69	0,61	0,77	0,75	0,58	0,83
KB8,2	0,28	0,25	0,34	0,38	0,27	0,50	0,52	0,46	0,54	0,42	0,37	0,52
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
SiO2	31,5	31,0	32,0	30,8	29,0	32,0	32,1	27,0	34,0	34,0	33,0	35,0
SPAK254	2,7	0,4	4,8	1,2	0,2	2,8	2,7	0,6	7,8	1,5	0,4	3,2
TOC	0,6	0,5	0,7	0,7	0,3	1,7	0,6	0,3	0,9	0,4	0,3	0,6
Ca	24,5	23,0	26,8	22,5	17,0	41,0	13,0	10,7	15,0	12,0	10,0	13,0
Mg	1,6	1,5	1,8	1,6	1,4	1,7	1,5	1,3	1,8	2,9	1,5	3,7
Na	7,4	7,2	7,8	7,4	6,9	8,5	7,5	7,2	8,5	7,4	7,3	7,6
K	0,7	0,7	0,7	0,6	0,1	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
Fe	0,01	n.n.	0,01	n.n.	n.n.	0,01	0,01	n.n.	0,02	n.n.	n.n.	0,01
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Al	0,01	n.n.	0,04	0,01	n.n.	0,04	0,03	n.n.	0,07	n.n.	n.n.	n.n.
Cd	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0003	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	0,01	n.n.	0,02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Cu	0,001	n.n.	0,001	0,001	n.n.	0,003	n.n.	n.n.	0,001	n.n.	n.n.	0,001
NH4	0,03	0,01	0,05	0,11	n.n.	0,94	0,01	n.n.	0,03	n.n.	n.n.	n.n.
Cl	5,4	5,1	5,9	5,3	4,8	6,1	5,1	5,0	5,2	5,0	4,8	5,1
F	1,1	0,9	1,1	1,0	0,2	1,2	1,0	0,9	1,2	0,9	0,9	1,0
SO4	5,7	5,6	5,7	6,4	5,1	14,0	6,4	5,6	9,0	5,8	5,6	5,9
NO3	4,2	3,5	5,4	5,2	4,1	5,6	5,4	4,9	5,9	5,6	4,9	6,3
NO2	0,06	n.n.	0,17	0,01	n.n.	0,03	0,01	n.n.	0,03	0,01	n.n.	0,02
PO4	0,18	0,07	0,31	0,31	0,17	0,48	0,32	0,26	0,38	0,30	0,15	0,39

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

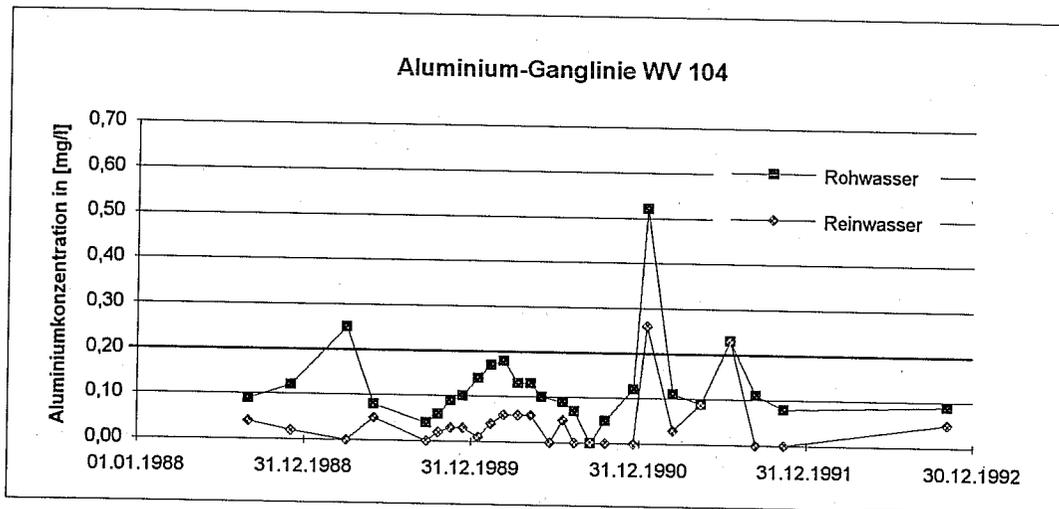
Tab. 127: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 8149 der Wasserversorgung 814

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl	
	Mittel	Max	Min	Max	Anzahl		Mittel	Max	Min	Max	Anzahl		Mittel	Max	Min	Max	Anzahl		Mittel	Max	Min	Max	Anzahl	
	<p style="text-align: center;">Region: Oberpfälzer Wald Landkreis: Neustadt a.d. Waldn.</p>																							
	<p style="text-align: center;">Kennnummer: 8149 Reinwasserdaten</p>																							
pH-Wert	6,50	6,40	6,60	2		6,55	6,00	6,80	8		6,58	6,50	6,70	6		6,65	6,60	6,70	4					
Delta-pH	-2,74	-2,61	-2,87	2		-2,57	-2,39	-3,02	8		-2,68	-2,57	-2,84	6		-2,59	-2,58	-2,59	4					
pHc-Wert	9,24	9,21	9,28	2		9,13	9,03	9,26	8		9,27	9,13	9,44	6		9,24	9,19	9,28	4					
Temp.	7,4	6,5	8,2	2		9,0	7,0	10,3	8		7,3	5,9	10,0	6		6,6	5,6	7,8	4					
LF	80	78	82	2		73	65	90	8		74	69	78	6		84	76	89	4					
O2	11,4	11,3	11,5	2		11,0	10,6	11,8	8		11,2	10,8	12,0	6		12,1	11,4	13,0	4					
°dH	1,3	1,2	1,4	2		1,2	1,0	1,6	8		1,2	1,1	1,3	6		1,2	1,1	1,3	4					
Calcitlösek.	14,1	13,6	14,6	2		15,9	12,2	19,1	8		13,6	10,3	17,3	6		13,9	12,9	14,6	4					
KS4.3	0,15	0,14	0,15	2		0,17	0,10	0,22	8		0,16	0,15	0,18	6		0,18	0,16	0,19	4					
KB8.2	0,12	0,11	0,12	2		0,13	0,09	0,17	8		0,11	0,07	0,15	6		0,11	0,10	0,12	4					
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0					
SiO2	16,0	15,0	17,0	2		15,6	14,0	17,0	8		15,1	13,0	18,0	6		16,5	15,0	18,0	4					
SPAK254	2,5	2,0	3,0	2		1,0	0,2	2,2	8		3,5	0,6	8,0	6		1,4	0,6	2,6	4					
TOC	0,7	0,5	0,8	2		0,5	0,3	1,1	8		0,8	0,3	1,3	6		0,7	0,4	1,1	4					
Ca	5,6	5,3	5,8	2		5,2	3,9	6,7	8		5,1	4,6	5,4	6		5,1	4,4	5,5	4					
Mg	2,4	2,2	2,5	2		2,3	1,8	3,0	8		2,1	2,0	2,2	6		2,1	1,9	2,2	4					
Na	6,1	6,1	22,0	2		5,5	5,3	28,0	8		5,9	5,5	32,0	6		5,8	5,2	27,0	4					
K	1,4	1,4	1,4	2		1,4	1,3	1,5	8		1,5	1,4	1,7	6		1,5	1,3	1,5	4					
Fe	0,01	0,01	0,01	2		0,01	n.n.	0,02	8		0,01	n.n.	0,03	6		0,01	n.n.	0,01	4					
Mn	0,01	n.n.	0,01	2		n.n.	n.n.	0,01	8		n.n.	n.n.	0,02	6		n.n.	n.n.	n.n.	4					
Al	0,03	n.n.	0,06	2		0,01	n.n.	0,09	8		0,03	n.n.	0,12	6		n.n.	n.n.	n.n.	4					
Cd	0,0001	n.n.	0,0001	2		0,0001	n.n.	0,0006	8		0,0001	n.n.	0,0002	6		n.n.	n.n.	n.n.	4					
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	2		n.n.	n.n.	0,01	8		n.n.	n.n.	n.n.	6		n.n.	n.n.	n.n.	4					
Cu	0,002	n.n.	0,003	2		0,001	0,001	0,001	8		0,002	n.n.	0,004	6		n.n.	n.n.	n.n.	4					
NH4	0,03	0,02	0,03	2		0,01	n.n.	0,02	8		0,03	n.n.	0,14	6		0,01	n.n.	0,05	4					
Cl	8,0	7,8	8,2	2		7,2	5,3	9,8	8		7,3	6,7	8,2	6		7,7	6,6	8,3	4					
F	n.n.	n.n.	n.n.	2		n.n.	n.n.	n.n.	8		0,1	n.n.	0,1	6		n.n.	n.n.	n.n.	4					
SO4	11,9	11,2	12,6	2		10,1	8,2	14,5	8		10,3	8,6	11,7	6		10,0	8,2	10,8	4					
NO3	5,8	5,7	5,9	2		6,3	4,5	8,0	8		6,6	5,8	7,7	6		6,7	5,7	7,6	4					
NO2	0,06	0,06	0,07	2		n.n.	n.n.	0,01	8		0,01	n.n.	0,07	6		0,01	n.n.	0,04	4					
PO4	0,04	0,03	0,06	2		0,10	0,04	0,12	8		0,09	0,06	0,13	6		0,09	0,03	0,13	4					

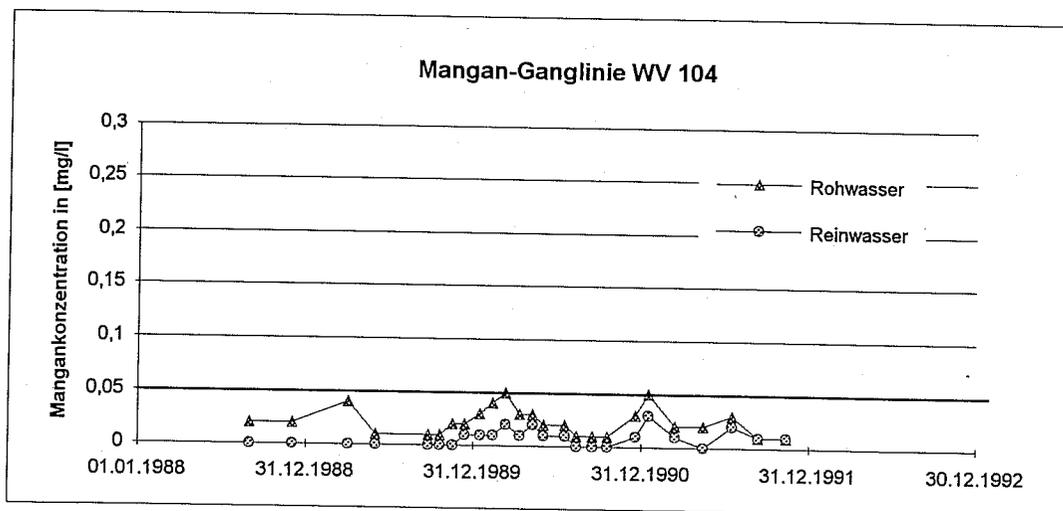
(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)



a)



b)



c)

Abb. 36: Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Oberpfälzer Wald

4.5 Region Bayerischer Wald

4.5.1 Situation der Wasserversorgungen Region Bayerischer Wald

Die Region Bayerischer Wald, deren nördliche Grenze die Cham-Furthener Senke bildet, wird geologisch vom kristallinen Grundgebirge (Granit/Gneis) geprägt. Die oberflächennahen Grundwässer sind mit $0,23 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ gering mineralisiert. Ihre mittlere Härte von $1,3^{\circ}\text{dH}$ entspricht dem Härtebereich 1. Der Anteil an überschüssigem Kohlendioxid, der bis zu $92 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ beträgt, hat ein über die Region gemittelte Calcitlösevermögen von $49,9 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ zur Folge. Im Vergleich zu den anderen Regionen sind die Rohwässer am geringsten mineralisiert und bezüglich des Calcitlösevermögens am aggressivsten.

Die Gebietsmittelwerte in Tab. 128 geben die Roh- und Reinwasserbeschaffenheit der Region wieder. Auch der Minimal- bzw. Maximalwert einzelner Parameter kann daraus entnommen werden.

Die Häufigkeitsverteilung der pH-Werte ($n = 353$) zeigt, daß nahezu alle Rohwasseranalysen (98%) pH-Werte $< 6,5$ aufweisen (Abb. 37a). Auch bei den Reinwasseranalysen ($n = 268$) liegen 6,3% unter diesem Grenzwert. Der Gebietsmittelwert des Parameters Delta-pH macht mit 1,06 pH-Einheiten die mangelhafte Entsäuerungsleistung vieler Aufbereitungsanlagen deutlich.

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilungen für Aluminium und Mangan (Abb. 37c und 37e), so überschreiten bei den Rohwasseranalysen 18,7% bzw. 10,4% den EG-Richtwert ($0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ bzw. $0,02 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Der Grenzwert wird bei Aluminium zu 9,8% und bei Mangan zu 3,6% überschritten. Wegen der mangelnden Entsäuerungsleistung wird im Reinwasser der Aluminiumgrenzwert von $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ bei 4,7% nicht eingehalten. Für Mangan beträgt dieser Wert 1,2%.

Die Beschaffenheitsdaten der neun intensiv beprobten Anlagen sind in den Tab. 129 - 146 dargestellt. Darin sind für vier hydrologische Jahre die Mittelwerte der einzelnen Parameter sowie der im hydrologischen Jahr gemessene Minimal- und Maximalwert aufgeführt.

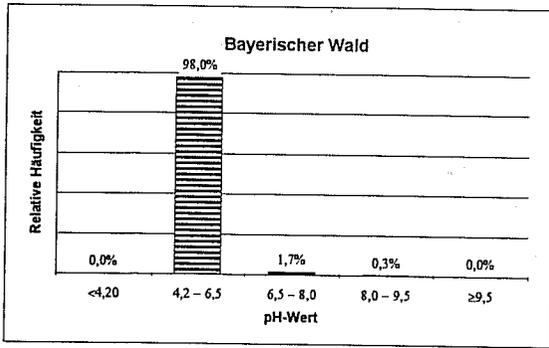
Die Ganglinien der Parameter pH-Wert, Aluminium und Mangan verdeutlichen die saisonalen Schwankungen im Rohwasser, aber auch die Dynamik auf der Reinwasserseite. Beim Vergleich von Roh- und Reinwasserdaten wird deutlich, daß die sprunghafte Verbesserung der Entsäuerungsleistung im Jahr 1989 eine deutlich Abnahme der Aluminiumkonzentration im Reinwasser zur Folge hat. Das Beispiel zeigt, in welchem Umfang die Entsäuerungsleistung und die Effektivität der Aluminiumeliminierung voneinander abhängen.

Tab. 128: Mittlere Beschaffenheit des Roh- und Reinwassers,
Region Bayerischer Wald

Region: Bayerischer Wald									
Landkreise: Deggendorf, Freyung-Grafenau, Passau, Regen, Straubing-Bogen, Regensburg, Cham									
Rohwasser					Reinwasser				
	Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,69	4,29	8,26	105	pH-Wert	7,18	6,01	9,70	80
Delta-pH	-2,55	-0,52	-4,07	104	Delta-pH	-1,06	0,00	-2,63	62
pHc	8,23	7,35	9,39	104	pHc	8,30	7,56	9,40	62
Temp.	7,6	3,3	13,2	105	Temp.	7,6	3,4	13,2	80
LF	69	17	273	105	LF	123	3	337	80
O2	10,9	1,0	15,8	105	O2	11,1	8,0	13,6	80
°dH	1,3	0,2	7,4	105	°dH	3,6	0,6	10,9	80
Calcitlösek.	49,9	9,9	165,1	104	Calcitlösek.	13,0	1,04	76,9	62
KS4,3	2,63	-0,03	2,63	105	KS4,3	0,95	-0,03	3,09	80
KB8,2	0,51	0,05	2,10	104	KB8,2	0,11	0,00	0,85	69
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	24
SiO2	14,2	2,3	33,0	105	SiO2	14,3	4,8	31,0	80
SPAK254	1,1	0,2	4,6	105	SPAK254	1,1	0,2	4,0	80
TOC	0,7	0,2	4,3	105	TOC	0,7	0,2	9,5	80
Kationen					Kationen				
Ca	6,5	1,0	31,2	105	Ca	23,1	2,3	72,0	80
Mg	1,9	0,3	13,4	105	Mg	1,9	0,4	16,7	80
Na	4,5	1,3	51,0	105	Na	4,5	1,3	51,0	80
K	1,2	0,2	21,0	105	K	1,1	0,1	7,5	80
Fe	0,02	n.n.	0,70	105	Fe	0,01	n.n.	0,57	80
Mn	0,01	n.n.	0,16	105	Mn	0,01	n.n.	0,35	80
Al	0,07	n.n.	1,60	105	Al	0,05	n.n.	0,93	80
Cd	0,0001	n.n.	0,0007	105	Cd	0,0001	n.n.	0,0007	80
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	105	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	80
Cu	0,001	n.n.	0,042	105	Cu	0,001	n.n.	0,008	80
NH4	0,09	n.n.	6,84	105	NH4	0,10	n.n.	6,71	80
Anionen					Anionen				
Cl	6,1	0,4	63,0	105	Cl	5,7	0,1	51,0	80
F	0,04	n.n.	0,5	105	F	0,04	n.n.	0,4	80
SO4	7,3	0,6	44,9	105	SO4	6,8	0,7	42,7	80
NO3	8,1	0,1	38,7	105	NO3	7,7	0,1	34,0	80
NO2	0,02	n.n.	1,05	105	NO2	0,03	n.n.	0,30	80
PO4	0,07	n.n.	4,57	105	PO4	0,18	n.n.	27,30	80

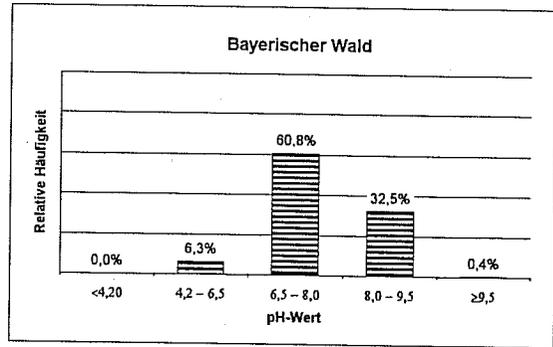
(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Rohwasser

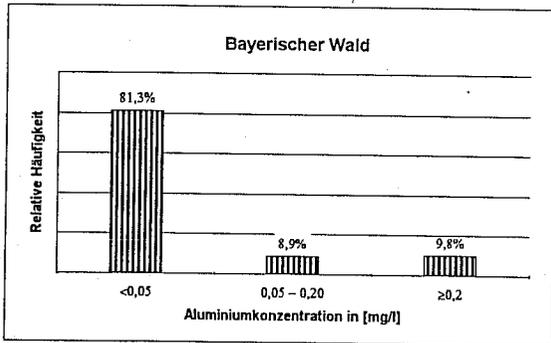


a)

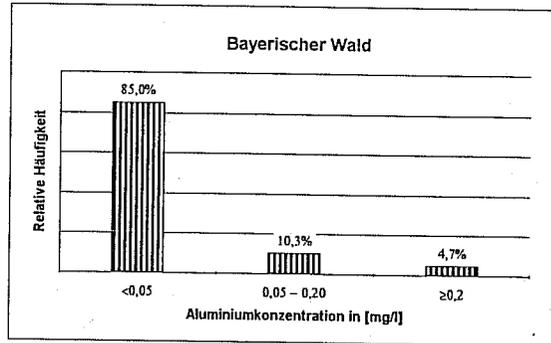
Reinwasser



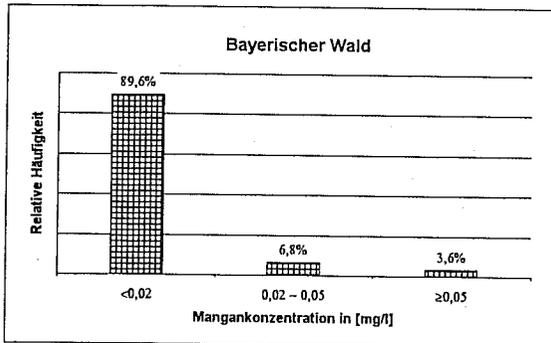
b)



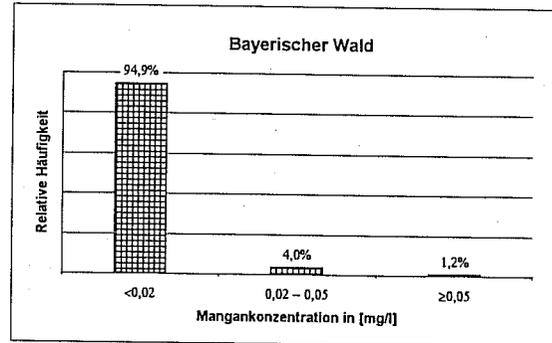
c)



d)



e)



f)

Abb. 37: Häufigkeitsverteilungen für Roh- und Reinwasser in der Region Bayerischer Wald im hydrologischen Jahr 1989. Die Klassengrenzen für den pH-Wert orientieren sich nach folgenden Kriterien: pH 4,2 Definierter Beginn des Aluminium-Puffers, pH 6,5 und 9,5 Grenzwerte der TrinkwV, pH 8,0 Obere Grenze, für die in der TrinkwV eine Entsäuerung bis zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gefordert ist, d.h. $pH = pH_c$. (Bei der Verwendung von Faserzementwerkstoffen muß auch im Bereich von pH 8,0 - 9,5 der pH-Wert des Reinwassers gleich dem pH-Wert der Calcitsättigung entsprechen.) Für Aluminium und Mangan orientieren sich die Klassen an EG-Richtwerten und Grenzwerten der TrinkwV.

Tab. 129: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4091 der Wasserversorgung 409

Hydrologisches Jahr:	Region: Bayerischer Wald Landkreis: Straubing/Bogen															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,83	5,73	5,92	5	5,95	5,32	5,94	10	5,50	5,20	5,87	7	5,50	5,20	5,84	6
Delta-pH	-3,09	-2,97	-3,16	4	-3,22	-2,80	-3,55	9	-3,36	-2,96	-3,71	7	-3,21	-2,54	-3,53	6
pHc-Wert	8,90	8,83	8,94	4	8,87	8,75	8,95	9	8,86	8,83	8,93	7	8,71	8,36	8,91	6
Temp.	7,8	6,6	8,9	5	7,3	5,8	9,0	10	7,4	5,5	9,3	7	7,9	6,2	10,2	6
LF	51	47	54	5	53	49	58	10	50	48	53	7	52	48	55	6
O2	11,6	11,3	12,1	5	12,0	11,4	13,1	10	12,0	11,4	12,6	7	11,9	11,1	12,4	6
°dH	0,8	0,8	0,8	5	0,8	0,7	0,9	10	0,8	0,7	0,9	7	0,7	0,7	0,8	6
Calcitlösek.	27,3	25,8	28,7	4	28,8	26,8	31,5	9	29,1	26,8	31,6	7	35,2	25,9	53,2	6
KS4.3	0,07	0,06	0,08	5	0,07	0,05	0,11	10	0,06	0,05	0,09	7	0,08	0,05	0,10	6
KB8.2	0,26	0,24	0,27	4	0,27	0,25	0,30	9	0,27	0,25	0,30	7	0,34	0,24	0,53	6
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	10,4	9,1	11,0	5	10,1	9,5	11,0	10	10,2	9,4	11,0	7	12,5	8,9	20,0	6
SPAK254	0,5	0,2	0,6	5	0,6	0,2	1,4	10	1,6	0,4	4,6	7	0,9	0,2	3,2	6
TOC	1,4	0,4	2,9	5	0,6	0,2	1,2	10	0,4	n.n.	n.n.	6	0,4	0,2	0,8	6
Ca	3,5	3,3	3,6	5	3,6	3,1	4,1	10	3,4	2,9	4,1	7	3,3	3,0	3,5	6
Mg	1,2	1,2	1,3	5	1,4	1,2	1,5	10	1,2	1,0	1,5	7	1,2	1,0	1,4	6
Na	4,2	3,7	22,0	5	4,1	3,6	28,0	10	4,0	3,7	32,0	7	4,2	4,0	26,0	6
K	0,9	0,7	1,0	5	1,0	0,7	2,0	10	0,9	0,8	0,9	7	0,8	0,7	0,9	6
Fe	n.n.	n.n.	0,01	5	0,02	n.n.	0,17	10	0,01	n.n.	0,06	7	0,01	n.n.	0,05	6
Mn	0,01	0,01	0,02	5	0,02	0,01	0,03	10	0,02	0,01	0,03	7	0,02	n.n.	0,03	6
Al	0,06	0,02	0,11	5	0,10	n.n.	0,18	10	0,09	n.n.	0,17	7	0,07	n.n.	0,16	6
Cd	0,0001	n.n.	0,0001	5	0,0003	0,0001	0,0013	10	0,0002	0,0001	0,0003	7	0,0002	n.n.	0,0010	6
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	10	n.n.	n.n.	0,01	7	0,01	n.n.	0,02	6
Cu	n.n.	n.n.	0,001	5	0,001	n.n.	0,001	10	0,001	n.n.	0,001	7	0,001	n.n.	0,001	6
NH4	0,06	n.n.	0,16	5	0,02	n.n.	0,08	10	0,01	n.n.	0,02	7	0,01	n.n.	0,07	6
Cl	4,5	3,3	5,1	5	4,2	3,2	5,6	10	3,9	3,5	4,4	7	4,1	3,1	4,6	6
F	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,1	10	n.n.	n.n.	0,1	7	n.n.	n.n.	0,1	6
SO4	4,7	4,4	5,2	5	5,4	4,2	6,5	10	5,8	4,3	7,0	7	5,1	3,9	6,8	6
NO3	10,4	9,5	11,5	5	11,0	10,2	11,5	10	10,1	8,5	10,9	7	10,0	8,9	10,6	6
NO2	0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,03	10	0,01	n.n.	0,01	7	0,01	n.n.	0,01	6
PO4	0,03	0,01	0,07	5	0,02	n.n.	0,09	10	0,01	n.n.	0,03	7	0,09	0,02	0,36	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KB8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 130: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4099 der Wasserversorgung 409

Hydrologisches Jahr:	1989			1990			1991			1992		
	Mittel	Min	Max									
	Anzahl											
pH-Wert	7,68	7,00	8,21	7,51	6,80	8,30	7,50	7,10	7,81	7,93	7,20	8,39
Delta-pH	-1,84	-1,84	-1,84	-1,44	-0,89	-2,01	-1,38	-1,01	-1,67	-1,09	-0,72	-1,56
pHc-Wert	8,85	8,85	8,85	8,82	8,74	8,87	8,81	8,74	8,90	8,84	8,70	9,09
Temp.	7,6	6,6	8,8	7,6	6,5	9,4	7,2	5,5	9,4	8,0	6,4	10,3
LF	91	80	98	-93	84	104	97	93	105	97	94	101
O2	11,3	11,2	11,4	11,7	11,2	11,9	11,8	11,2	12,4	11,7	11,0	12,3
°dH	2,2	2,0	2,3	2,2	1,9	2,6	2,3	2,1	2,6	2,3	2,2	2,5
Calcit/ösek.	10,9	10,9	10,9	7,5	3,0	14,8	6,8	4,3	7,9	4,6	-3,3	9,8
KS4.3	0,54	0,45	0,60	0,55	0,39	0,63	0,62	0,58	0,72	0,64	0,59	0,70
KB8.2	0,03	0,00	0,09	0,06	0,01	0,13	0,05	0,02	0,06	0,06	0,01	0,08
KS8.2	n.b.	0,03	0,00	0,06								
SiO2	10,7	9,3	11,8	10,5	9,6	12,0	10,5	9,8	12,0	10,6	8,0	13,0
SPAK254	0,8	0,4	1,6	1,0	0,4	2,0	2,3	0,8	4,0	0,8	0,4	2,2
TOC	0,5	0,3	0,6	0,9	0,3	2,1	0,5	0,3	0,8	0,3	n.n.	0,7
Ca	13,5	11,9	14,7	13,7	11,0	16,0	14,5	13,0	16,0	14,8	14,0	16,0
Mg	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2	1,5	1,2	1,1	1,4	1,2	1,1	1,4
Na	4,2	3,7	22,0	4,2	3,7	28,0	4,0	3,7	32,0	4,3	4,0	26,0
K	0,8	0,7	0,9	0,9	0,7	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	1,0
Fe	n.n.	n.n.	n.n.	0,01	n.n.	0,01	0,01	n.n.	0,01	0,01	n.n.	0,04
Mn	n.n.	n.n.	0,01	0,01	n.n.	0,02	0,01	n.n.	0,01	n.n.	n.n.	0,01
Al	0,04	0,01	0,12	0,09	n.n.	0,36	0,05	n.n.	0,10	0,05	n.n.	0,12
Cd	0,0001	n.n.	0,0002	0,0001	n.n.	0,0003	0,0001	n.n.	0,0001	0,0001	n.n.	0,0003
Zn	n.n.	0,01	0,02	n.n.	0,07							
Cu	0,003	n.n.	0,015	0,001	n.n.	0,001	0,001	n.n.	0,002	0,002	n.n.	0,010
NH4	0,01	n.n.	0,03	0,03	n.n.	0,09	0,02	n.n.	0,11	0,03	n.n.	0,16
Cl	4,3	3,2	5,1	4,1	3,3	5,5	3,9	3,5	4,3	4,4	3,9	4,6
F	n.n.	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	0,1
SO4	4,7	4,5	5,1	5,4	4,3	6,3	5,7	4,4	6,3	5,0	3,9	6,7
NO3	10,3	9,5	11,5	10,8	10,2	11,3	9,9	8,6	10,7	10,3	9,2	11,7
NO2	0,01	n.n.	0,02	0,01	n.n.	0,04	0,01	n.n.	0,05	0,01	n.n.	0,04
PO4	0,02	0,01	0,05	0,01	n.n.	0,04	0,01	n.n.	0,05	0,03	n.n.	0,06

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 131: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4131 der Wasserversorgung 413

Hydrologisches Jahr:	Region: Bayerischer Wald Landkreis: Regen															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,38	5,26	5,46	5	5,25	5,08	5,40	9	4,94	4,67	5,25	6	4,63	4,60	4,70	3
Delta-pH	-3,26	-3,16	-3,35	4	-3,34	-3,17	-3,56	9	-3,55	-3,30	-3,79	6	-3,67	-3,63	-3,76	3
pHc-Wert	8,62	8,54	8,71	4	8,59	8,53	8,76	9	8,49	8,42	8,56	6	8,31	8,23	8,46	3
Temp.	6,5	5,6	7,4	5	6,0	5,0	7,3	9	5,8	4,4	7,4	6	4,8	4,6	5,3	3
LF	45	40	56	5	49	40	61	9	54	49	64	6	56	50	60	3
O2	11,8	10,8	13,1	5	11,2	10,6	12,4	9	11,6	11,1	12,3	6	11,7	11,1	12,2	3
*dH	0,4	0,4	0,5	5	0,5	0,4	0,5	9	0,5	0,4	0,5	6	0,5	0,4	0,5	3
Calcitlösek.	42,1	37,4	45,9	4	44,2	37,4	47,9	9	49,1	46,8	52,6	6	63,0	51,6	69,2	3
KS4.3	0,03	0,03	0,04	5	0,03	0,02	0,04	9	0,06	0,03	0,16	6	0,04	0,02	0,06	3
KB8.2	0,41	0,36	0,45	4	0,43	0,36	0,47	9	0,48	0,46	0,52	6	0,63	0,51	0,70	3
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	6,2	5,1	8,5	5	5,9	5,3	6,3	9	6,5	5,9	7,0	6	6,2	5,9	6,5	3
SPAK254	0,5	0,2	1,2	5	0,4	0,2	0,8	9	0,8	0,2	1,8	6	0,7	0,6	0,8	3
TOC	0,4	0,3	0,5	5	0,7	0,3	1,5	9	0,4	0,2	0,6	5	0,4	0,2	0,6	3
Ca	1,7	1,6	1,9	5	1,9	1,6	2,3	9	2,1	1,8	2,2	6	2,0	1,9	2,1	3
Mg	0,7	0,7	0,8	5	0,8	0,7	1,0	9	0,9	0,7	1,0	6	0,8	0,7	0,9	3
Na	4,9	3,9	22,0	5	5,2	3,9	28,0	9	6,2	5,4	32,0	6	6,2	5,5	26,0	3
K	1,1	0,9	1,6	5	1,0	0,9	1,2	9	1,1	1,0	1,1	6	1,0	1,0	1,1	3
Fe	n.n.	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	0,01	9	0,01	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	3
Mn	0,03	0,02	0,03	5	0,03	0,02	0,04	9	0,03	0,02	0,04	6	0,03	0,02	0,04	3
Al	0,06	0,01	0,14	5	0,09	0,06	0,19	9	0,07	n.n.	0,10	6	0,12	0,05	0,19	3
Cd	0,0002	0,0001	0,0002	5	0,0002	0,0001	0,0004	9	0,0004	0,0001	0,0015	6	0,0001	0,0001	0,0001	3
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	9	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	0,01	0,02	3
Cu	0,001	0,001	0,002	5	0,001	0,001	0,001	9	0,001	0,001	0,001	6	0,002	0,001	0,003	3
NH4	0,07	n.n.	0,29	5	0,02	n.n.	0,10	9	0,04	n.n.	0,21	6	0,01	n.n.	0,01	3
Cl	7,7	6,1	10,4	5	8,9	4,2	13,5	9	10,8	8,9	14,0	6	10,4	9,0	11,3	3
F	n.n.	n.n.	0,1	5	n.n.	n.n.	n.n.	9	n.n.	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	n.n.	3
SO4	2,7	2,1	3,3	5	3,0	2,4	3,8	9	3,0	2,5	3,7	6	3,0	2,5	3,3	3
NO3	5,8	5,6	5,9	5	5,9	5,5	6,4	9	6,3	5,5	8,4	6	5,8	5,7	5,8	3
NO2	0,01	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,02	9	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,01	3
PO4	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,08	9	0,02	n.n.	0,14	6	n.n.	n.n.	n.n.	3

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KB8,2 u. KS8,2 in mmol/l)

Tab. 133: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4171 der Wasserversorgung 417

Hydrologisches Jahr:	Region: Bayerischer Wald Landkreis: Regen															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,13	4,95	5,24	5	5,21	5,12	5,43	10	4,98	4,51	5,30	6	5,42	5,10	5,82	6
Delta-pH	-3,86	-3,64	-4,07	4	-3,68	-3,32	-3,90	10	-3,96	-3,65	-4,35	6	-3,42	-2,87	-3,96	6
pHc-Wert	8,97	8,78	9,07	4	8,90	8,60	9,09	10	8,94	8,83	9,05	6	8,84	8,54	9,06	6
Temp.	6,5	5,4	7,3	5	6,0	4,9	7,2	10	6,1	3,7	8,8	6	6,5	4,6	8,9	6
LF	33	32	35	5	34	32	41	10	32	32	32	6	30	26	32	6
O2	13,8	12,9	15,1	5	14,1	11,9	15,7	10	13,9	11,9	15,5	6	12,6	11,8	14,8	6
°dH	0,5	0,5	0,5	5	0,8	0,5	3,6	10	0,5	0,5	0,6	6	0,7	0,4	1,7	6
Calcitiösek.	28,8	25,1	34,5	4	30,3	18,9	43,1	10	28,8	24,9	33,6	6	30,2	20,4	38,8	6
KS4.3	0,00	-0,01	0,01	5	0,01	0,00	0,02	10	0,03	0,01	0,07	6	0,08	0,02	0,22	6
KB8.2	0,27	0,23	0,33	4	0,29	0,18	0,42	10	0,27	0,23	0,32	6	0,29	0,18	0,38	6
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	5,5	4,8	5,8	5	5,6	5,3	5,8	10	7,2	5,5	10,6	6	7,9	6,9	10,2	6
SPAK254	0,4	0,4	0,6	5	0,5	0,2	1,0	10	1,2	0,2	2,6	6	0,6	0,4	1,2	6
TOC	0,8	0,4	1,4	5	0,8	0,3	1,3	10	0,6	0,3	0,8	5	0,3	n.n.	0,6	6
Ca	2,0	1,9	2,1	5	4,2	1,9	24,0	10	2,3	1,9	3,2	6	4,0	1,7	11,0	6
Mg	0,9	0,9	0,9	5	0,9	0,8	1,1	10	0,9	0,8	0,9	6	0,8	0,7	0,9	6
Na	1,3	1,3	22,0	5	1,5	1,3	28,0	10	1,4	1,1	32,0	6	2,4	1,4	26,0	6
K	0,5	0,5	0,5	5	0,5	0,4	0,7	10	0,6	0,4	1,3	6	0,6	0,4	1,0	6
Fe	0,01	n.n.	0,04	5	0,01	n.n.	0,02	10	0,02	n.n.	0,08	6	0,01	n.n.	0,02	6
Mn	0,03	0,03	0,04	5	0,03	0,02	0,03	10	0,02	0,01	0,03	6	0,02	0,01	0,03	6
Al	0,57	0,47	0,79	5	0,54	0,40	0,63	10	0,38	0,08	0,57	6	0,15	0,07	0,29	6
Cd	0,0002	0,0001	0,0004	5	0,0008	0,0002	0,0027	10	0,0003	0,0001	0,0007	6	0,0001	n.n.	0,0001	6
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	n.n.	0,02	10	0,01	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	6
Cu	0,001	0,001	0,003	5	0,001	0,001	0,003	10	0,001	n.n.	0,001	6	0,001	n.n.	0,001	6
NH4	0,07	0,01	0,10	5	0,07	n.n.	0,23	10	0,03	n.n.	0,07	6	n.n.	n.n.	0,02	5
Cl	1,0	0,8	1,2	5	1,3	0,8	2,3	10	1,2	0,7	1,6	6	1,0	0,9	1,4	6
F	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,1	10	n.n.	n.n.	0,1	6	0,1	n.n.	0,4	5
SO4	3,5	3,4	3,7	5	3,9	3,4	4,1	10	4,5	3,6	5,6	6	4,7	2,7	5,7	6
NO3	9,9	8,9	11,1	5	9,8	9,3	10,2	10	7,5	3,8	10,0	6	6,5	5,3	7,9	6
NO2	0,01	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	0,01	10	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,01	6
PO4	n.n.	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	0,02	10	0,01	n.n.	0,04	6	0,01	n.n.	0,02	5

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 134: Beschaffenheitsdaten der Probenahmeestelle 4179 der Wasserversorgung 417

Hydrologisches Jahr:	Region: Bayerischer Wald Landkreis: Regen															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	6,89	6,65	7,36	5	6,84	6,45	7,00	7	6,67	6,38	7,00	6	6,33	6,00	6,69	6
Delta-pH	-2,08	-1,59	-2,34	4	-2,21	-2,07	-2,45	7	-2,39	-2,04	-2,77	6	-2,60	-2,25	-2,90	6
pHc-Wert	9,03	8,96	9,13	4	9,06	8,90	9,14	7	9,07	8,95	9,28	6	8,93	8,74	9,22	6
Temp.	6,2	4,7	7,2	5	6,4	5,2	7,6	7	5,9	4,0	8,2	6	6,3	4,2	8,8	6
LF	59	53	71	5	56	53	59	7	59	56	62	6	44	38	56	6
O2	13,5	12,2	14,3	5	13,5	11,7	16,0	7	13,7	12,1	15,0	6	13,3	12,2	14,3	6
°dH	1,6	1,4	2,1	5	1,5	1,3	1,6	7	1,5	1,4	1,6	6	1,0	0,8	1,4	6
Calcitfösek.	9,9	6,1	13,1	4	11,0	8,2	15,9	7	10,6	9,2	12,9	6	17,8	10,3	26,7	6
KS4.3	0,33	0,26	0,46	5	0,30	0,26	0,34	7	0,30	0,06	0,38	6	0,38	0,15	1,24	6
KB8.2	0,08	0,04	0,11	4	0,09	0,06	0,14	7	0,09	0,07	0,11	6	0,16	0,07	0,25	6
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	5,7	4,8	6,0	5	5,6	5,2	6,1	7	6,9	5,5	11,4	6	6,7	3,1	10,6	6
SPAK254	0,9	0,2	3,2	5	0,5	0,2	1,0	7	1,2	0,4	2,6	6	1,1	0,4	2,2	6
TOC	0,6	0,4	0,9	5	0,5	0,4	0,8	7	0,4	0,4	0,5	5	0,7	n.n.	2,3	6
Ca	9,8	8,2	13,3	5	9,0	8,1	10,0	7	9,6	9,0	10,0	6	6,1	4,5	8,8	6
Mg	0,9	0,9	0,9	5	0,9	0,8	1,1	7	0,9	0,8	0,9	6	0,8	0,8	0,9	6
Na	1,4	1,3	22,0	5	1,4	1,3	28,0	7	1,3	1,1	32,0	6	1,4	1,3	26,0	6
K	0,5	0,5	0,6	5	0,5	0,4	0,7	7	0,5	0,4	0,5	6	0,5	0,4	0,5	6
Fe	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,01	7	0,01	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,02	6
Mn	0,02	0,02	0,03	5	0,03	0,02	0,03	7	0,02	0,01	0,03	6	0,02	0,01	0,03	6
Al	0,46	0,40	0,53	5	0,48	0,38	0,56	7	0,41	0,27	0,55	6	0,36	0,18	0,46	6
Cd	0,0001	0,0001	0,0002	5	0,0004	0,0001	0,0013	7	0,0002	n.n.	0,0004	6	0,0001	n.n.	0,0001	6
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	n.n.	0,03	7	0,01	n.n.	0,02	6	0,01	n.n.	0,01	6
Cu	0,001	0,001	0,001	5	0,001	0,001	0,003	7	0,001	n.n.	0,003	6	0,001	n.n.	0,001	6
NH4	0,08	n.n.	0,18	5	0,02	n.n.	0,08	7	0,03	n.n.	0,13	6	0,01	n.n.	0,03	5
Cl	0,9	0,8	1,1	5	0,9	0,8	1,1	7	1,6	0,6	5,1	6	1,2	0,9	2,0	6
F	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,1	7	n.n.	n.n.	0,1	6	0,1	n.n.	0,4	5
SO4	3,8	3,5	4,0	5	3,9	3,4	4,2	7	4,3	3,6	5,6	6	4,5	3,0	7,6	6
NO3	9,9	8,9	11,1	5	9,7	9,3	10,2	7	8,1	2,5	9,7	6	7,8	6,3	8,7	6
NO2	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,01	7	0,01	n.n.	0,04	6	0,01	n.n.	0,03	6
PO4	n.n.	n.n.	0,02	5	n.n.	n.n.	0,02	7	0,01	n.n.	0,06	6	0,01	n.n.	0,07	5

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

Tab. 135: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4271 der Wasserversorgung 427

Hydrologisches Jahr:	Region: Bayerischer Wald Landkreis: Regen															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,95	5,85	6,07	5	5,87	5,69	6,00	10	5,57	5,50	5,80	6	5,69	5,40	5,95	6
Delta-pH	-2,37	-2,29	-2,56	4	-2,46	-2,33	-2,63	9	-2,80	-2,60	-2,99	6	-2,56	-2,04	-2,83	6
pHc-Wert	8,35	8,26	8,42	4	8,32	8,12	8,45	9	8,37	8,22	8,49	6	8,26	8,00	8,44	6
Temp.	8,4	6,9	9,7	5	7,1	4,8	9,1	10	7,3	5,3	10,6	6	7,7	5,0	10,6	6
LF	59	41	74	5	67	42	81	10	71	59	77	6	62	46	77	6
O2	10,7	10,2	11,0	5	11,5	10,4	13,0	10	11,5	10,5	12,9	6	11,3	10,4	13,0	6
°dH	1,0	0,6	1,4	5	1,2	0,6	1,5	10	1,2	0,9	1,5	6	1,0	0,7	1,3	6
Calcitiösek.	48,3	45,5	53,8	4	50,6	44,6	64,6	9	48,6	43,8	53,6	6	57,3	41,7	76,1	6
KS4.3	0,19	0,15	0,23	5	0,22	0,14	0,56	10	0,13	0,04	0,19	6	0,15	0,06	0,22	6
KB8.2	0,48	0,45	0,54	4	0,51	0,44	0,66	9	0,48	0,43	0,54	6	0,58	0,41	0,79	6
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	17,2	15,0	19,0	5	15,9	12,0	19,0	10	15,5	13,9	17,0	6	15,9	6,3	21,0	6
SPAK254	1,6	0,4	4,6	5	1,7	0,4	3,4	10	4,0	1,4	8,6	6	1,9	0,4	4,0	6
TOC	1,2	0,5	3,9	5	1,1	0,4	1,7	10	1,1	0,5	1,5	5	0,7	0,2	2,1	6
Ca	5,7	3,6	8,2	5	6,6	3,3	8,1	10	6,9	5,2	8,5	6	5,7	3,8	7,5	6
Mg	0,9	0,6	1,3	5	1,1	0,6	1,4	10	1,2	0,9	1,3	6	1,0	0,7	1,3	6
Na	4,5	4,2	22,0	5	4,6	4,0	28,0	10	4,8	4,5	32,0	6	4,6	4,3	26,0	6
K	1,2	0,7	1,6	5	1,4	0,6	1,8	10	1,5	1,1	1,8	6	1,2	0,8	1,6	6
Fe	0,01	n.n.	0,02	5	0,02	n.n.	0,06	10	0,02	0,01	0,04	6	0,01	n.n.	0,02	6
Mn	n.n.	n.n.	0,01	5	n.n.	n.n.	0,01	10	0,01	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	6
Al	0,11	0,02	0,24	5	0,18	n.n.	0,30	10	0,21	0,11	0,35	6	0,17	0,05	0,37	6
Cd	n.n.	n.n.	0,0001	5	0,0001	n.n.	0,0002	10	n.n.	n.n.	0,0001	6	n.n.	n.n.	0,0001	6
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	10	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,01	6
Cu	0,008	0,005	0,014	5	0,004	0,001	0,007	10	0,005	0,002	0,011	6	0,006	0,002	0,009	6
NH4	0,25	n.n.	1,14	5	0,14	n.n.	0,67	10	0,02	n.n.	0,05	6	0,01	n.n.	0,04	6
Cl	3,2	1,9	5,4	5	3,4	1,6	5,2	10	3,8	3,1	4,6	6	3,4	2,0	5,3	6
F	0,4	0,4	0,4	5	0,5	0,4	0,6	10	0,3	0,1	0,6	6	0,4	0,1	0,6	6
SO4	8,8	5,5	13,1	5	12,0	4,0	16,6	10	13,0	10,2	16,5	6	9,9	3,5	16,0	6
NO3	3,7	1,2	6,1	5	4,9	0,6	7,5	10	6,6	4,5	9,7	6	5,1	2,2	7,5	6
NO2	0,02	n.n.	0,06	5	0,01	n.n.	0,01	10	0,01	n.n.	0,02	6	n.n.	n.n.	0,01	6
PO4	0,08	0,03	0,12	5	0,06	0,02	0,12	9	0,04	0,02	0,09	6	0,07	n.n.	0,18	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in immo/l/l)

Tab. 136: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 4279 der Wasserversorgung 427

Kennnummer: 4279 Reinwasserdaten		Region: Bayerischer Wald Landkreis: Regen														
		1989			1990			1991			1992					
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	7,26	7,14	7,47	5	6,98	6,79	7,20	7	6,48	5,80	6,90	6	7,13	6,20	8,13	6
Delta-pH	-1,10	-1,06	-1,14	4	-1,37	-1,14	-1,53	6	-1,91	-1,46	-2,61	6	-1,42	-0,07	-2,55	6
pHc-Wert	8,32	8,28	8,36	4	8,34	8,27	8,40	6	8,40	8,32	8,53	6	8,55	8,20	9,16	6
Temp.	8,2	6,5	9,7	5	7,8	5,9	9,7	7	7,4	5,3	10,5	6	7,8	4,9	11,0	6
LF	128	122	140	5	114	101	123	7	107	97	118	6	113	81	143	6
O2	10,7	10,1	11,2	5	10,5	8,0	11,8	7	11,4	10,5	12,5	6	11,2	10,2	12,6	6
°dH	3,5	3,3	4,3	5	3,1	2,6	3,5	7	2,6	2,0	3,2	6	2,8	1,6	3,8	6
Calcitösek.	12,8	11,8	13,4	4	18,4	15,6	23,7	6	22,9	17,7	30,7	6	16,9	2,0	40,4	6
KS4.3	1,02	0,94	1,16	5	0,82	0,51	0,96	7	0,66	0,52	0,80	6	0,63	0,19	1,17	6
KB8.2	0,12	0,11	0,13	4	0,18	0,15	0,23	6	0,22	0,17	0,30	6	0,16	0,01	0,40	6
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	17,8	17,0	18,0	5	17,1	14,0	19,0	7	16,3	14,0	18,0	6	18,2	15,0	22,0	6
SPAK254	0,9	0,4	1,6	5	1,3	0,4	2,4	7	2,4	1,2	4,4	6	1,5	0,4	2,8	6
TOC	1,3	0,6	3,3	5	1,0	0,5	2,0	7	0,9	0,5	1,3	5	0,8	0,4	1,9	6
Ca	23,9	22,0	28,8	5	20,7	17,0	23,0	7	17,2	13,0	21,0	6	18,6	9,7	26,0	6
Mg	1,0	0,9	1,1	5	1,0	0,8	1,2	7	1,1	0,9	1,3	6	0,9	0,8	1,1	6
Na	4,5	4,3	22,0	5	4,4	4,2	28,0	7	4,6	4,3	32,0	6	4,6	4,5	26,0	6
K	1,2	1,1	1,3	5	1,2	1,1	1,4	7	1,3	1,2	1,3	6	1,2	1,1	1,3	6
Fe	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,02	7	0,02	n.n.	0,03	6	0,01	n.n.	0,03	6
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	7	n.n.	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	6
Al	0,04	n.n.	0,08	5	0,05	n.n.	0,09	7	0,07	n.n.	0,22	6	0,10	n.n.	0,24	6
Cd	n.n.	n.n.	0,0001	5	0,0001	n.n.	0,0003	7	n.n.	n.n.	0,0001	6	n.n.	n.n.	0,0001	6
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	7	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,01	6
Cu	0,004	0,003	0,005	5	0,005	0,003	0,009	7	0,005	0,002	0,009	6	0,005	0,003	0,009	6
NH4	0,06	n.n.	0,30	5	0,01	n.n.	0,02	7	0,01	n.n.	0,02	6	n.n.	n.n.	0,01	6
Cl	3,1	2,6	3,5	5	2,8	1,7	3,6	7	3,3	3,1	3,8	6	3,3	2,7	4,3	6
F	0,4	0,4	0,4	5	0,4	n.n.	0,5	7	0,4	0,2	0,6	6	0,4	0,1	0,6	6
SO4	8,9	7,5	10,8	5	9,8	6,2	13,9	7	11,8	8,9	15,1	6	9,2	2,6	14,1	6
NO3	3,5	3,3	3,7	5	3,8	3,3	4,5	7	5,3	4,2	6,2	6	5,2	4,7	5,9	6
NO2	0,01	0,01	0,03	5	0,01	n.n.	0,03	7	0,01	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	6
PO4	0,06	0,03	0,07	5	0,04	n.n.	0,10	6	0,04	0,02	0,07	6	0,06	0,02	0,10	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 in mmol/l)

Tab. 137: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6201 der Wasserversorgung 620

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl				
		5,21	4,96	5,32	5	4,98	4,62	5,42	12	4,98	4,62	5,42	12	5,26	5,16	5,41	7	5,14	4,77	5,28	5			
pH-Wert	-2,76	-2,63	-3,05	4	-3,36	-2,96	-3,62	12	-3,36	-2,96	-3,62	12	-3,09	-2,83	-3,49	7	-3,10	-2,73	-3,51	5				
Delta-pH	7,95	7,85	8,01	4	8,35	8,15	8,74	12	8,35	8,15	8,74	12	8,35	8,09	8,69	7	8,24	7,98	8,46	5				
pHc-Wert	7,1	4,6	8,6	5	5,8	3,4	7,9	12	5,8	3,4	7,9	12	5,0	2,9	8,0	7	5,3	3,4	7,1	5				
Temp.	35	30	40	5	36	31	65	12	36	31	65	12	35	32	45	7	37	35	40	5				
LF	10,8	10,1	11,6	5	11,1	10,3	12,0	12	11,1	10,3	12,0	12	11,1	10,3	11,6	7	11,0	10,4	11,6	5				
O2	0,4	0,4	0,5	5	0,5	0,4	0,5	12	0,5	0,4	0,5	12	0,5	0,4	0,5	7	0,5	0,4	0,6	6				
%dH	90,2	82,1	99,7	4	59,0	36,4	69,7	12	59,0	36,4	69,7	12	59,9	41,2	75,1	7	67,7	49,6	91,9	5				
Calcitlösek.	0,02	0,01	0,03	5	0,02	0,01	0,05	12	0,02	0,01	0,05	12	0,03	0,02	0,04	7	0,03	0,01	0,06	6				
KS4.3	0,95	0,85	1,06	4	0,59	0,35	0,71	12	0,60	0,40	0,77	7	0,60	0,40	0,77	7	0,69	0,49	0,96	5				
KB8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
KS8.2	7,3	6,8	8,3	5	7,7	7,1	8,3	12	7,7	7,1	8,3	12	8,1	7,2	9,0	7	7,6	6,8	8,5	6				
SiO2	0,9	0,4	1,8	5	1,0	0,6	2,8	12	1,0	0,6	2,8	12	1,6	0,6	2,4	7	2,0	1,0	6,2	6				
SPAK254	0,7	0,6	0,8	4	1,0	0,6	2,6	12	1,0	0,6	2,6	12	0,7	0,4	1,0	7	0,8	0,3	2,1	6				
TOC	2,3	2,2	2,4	5	2,4	2,0	2,7	12	2,4	2,0	2,7	12	2,4	2,2	2,5	7	2,6	2,3	3,5	6				
Ca	0,5	0,5	0,6	5	0,5	0,5	0,6	12	0,5	0,5	0,6	12	0,5	0,5	0,6	7	0,5	0,5	0,6	6				
Mg	2,1	1,9	22,0	5	2,2	2,0	28,0	12	2,2	2,0	28,0	12	1,8	0,6	32,0	7	2,2	2,1	27,0	6				
Na	1,1	0,6	2,8	5	0,5	n.n.	0,7	12	0,5	n.n.	0,7	12	0,6	0,5	0,7	7	0,6	0,6	0,6	6				
K	0,01	n.n.	0,03	5	0,01	n.n.	0,08	12	0,01	n.n.	0,08	12	n.n.	n.n.	0,01	7	n.n.	n.n.	0,01	6				
Fe	0,08	0,08	0,09	5	0,10	n.n.	0,13	12	0,10	n.n.	0,12	12	0,10	0,07	0,12	7	0,10	0,08	0,13	6				
Mn	0,67	0,60	0,75	5	0,65	0,56	0,93	12	0,65	0,56	0,93	12	0,55	n.n.	0,76	7	0,66	0,51	0,81	6				
Al	0,0002	0,0001	0,0002	5	0,0001	n.n.	0,0002	12	0,0001	n.n.	0,0002	12	0,0002	0,0001	0,0002	7	0,0001	0,0001	0,0002	6				
Cd	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	7	n.n.	n.n.	0,01	6				
Zn	0,001	0,001	0,001	5	0,001	n.n.	0,001	12	0,001	n.n.	0,001	12	0,001	n.n.	0,001	7	0,001	0,001	0,002	6				
Cu	0,04	n.n.	0,09	5	0,22	n.n.	2,19	12	0,22	n.n.	2,19	12	0,02	n.n.	0,11	7	0,03	n.n.	0,16	5				
NH4	1,8	1,0	3,0	5	1,7	1,4	2,9	12	1,7	1,4	2,9	12	1,4	1,3	1,6	7	1,5	1,3	1,8	6				
Cl	0,3	0,2	0,3	5	0,3	0,1	0,3	12	0,3	0,1	0,3	12	0,2	0,1	0,3	7	0,2	0,2	0,3	6				
F	6,2	5,7	6,6	5	6,5	5,3	7,5	12	6,5	5,3	7,5	12	6,8	6,5	7,2	7	6,8	6,0	8,7	6				
SO4	5,1	4,8	5,5	5	5,1	4,2	5,7	12	5,1	4,2	5,7	12	4,8	3,9	5,7	7	5,4	4,6	6,3	6				
NO3	n.n.	n.n.	0,01	5	0,01	n.n.	0,03	12	0,01	n.n.	0,03	12	n.n.	n.n.	0,01	7	n.n.	n.n.	0,02	5				
NO2	0,01	n.n.	0,02	5	0,02	n.n.	0,10	12	0,02	n.n.	0,10	12	n.n.	n.n.	n.n.	7	0,01	n.n.	0,03	5				
PO4																								

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 138: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6209 der Wasserversorgung 620

Hydrologisches Jahr:	1989			1990			1991			1992		
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
	Kennnummer: 6209 Reinwasserdaten Region: Bayerischer Wald Landkreis: Freyung-Grafenau											
pH-Wert	8,07	8,02	8,14	5	7,89	7,43	8,25	12	8,11	7,98	8,24	7
Delta-pH	n.b.	n.b.	n.b.	0	-0,58	-0,42	-0,72	3	n.b.	n.b.	n.b.	0
pHc-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	0	8,32	8,26	8,40	3	n.b.	n.b.	n.b.	0
Temp.	7,3	4,8	8,9	5	5,9	3,3	8,2	12	5,1	3,0	8,2	7
LF	120	110	137	5	116	102	132	12	120	108	141	7
O2	10,8	9,7	11,6	5	11,2	10,5	12,1	12	11,3	10,3	12,6	7
°dH	4,5	3,9	5,0	5	4,3	3,6	4,9	12	4,2	3,7	5,0	7
Calcitiöse.	n.b.	n.b.	n.b.	0	3,1	2,4	4,1	3	n.b.	n.b.	n.b.	0
KS4,3	1,19	1,06	1,32	5	1,16	1,00	1,32	12	1,19	1,08	1,38	7
KB8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,02	0,02	0,03	3	0,00	0,00	0,00	1
KS8,2	0,00	0,00	0,00	2	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,00	0,00	0,00	2
SiO2	7,1	6,8	7,5	5	7,8	6,5	11,0	12	8,1	7,4	9,0	7
SPAK254	1,4	0,4	3,2	5	1,5	1,0	1,8	12	2,7	1,0	8,2	7
TOC	0,6	0,5	1,0	5	0,7	0,4	1,2	12	0,8	0,4	1,2	7
Ca	31,3	27,0	35,0	5	29,9	25,0	34,0	12	29,3	26,0	35,0	7
Mg	0,5	0,5	0,6	5	0,6	0,5	0,6	12	0,6	0,5	0,6	7
Na	2,2	2,0	2,0	5	2,2	2,0	2,8	12	2,1	1,8	3,2	7
K	0,8	0,6	1,1	5	0,6	n.n.	0,8	12	0,6	0,6	0,7	7
Fe	0,01	n.n.	0,03	5	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	7
Mn	n.n.	n.n.	0,01	5	0,02	n.n.	0,05	12	0,02	n.n.	0,04	7
Al	0,11	0,02	0,40	5	0,02	n.n.	0,05	12	0,03	n.n.	0,06	7
Cd	n.n.	n.n.	0,0001	5	n.n.	n.n.	0,0001	12	0,03	n.n.	0,06	7
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	n.n.	7
Cu	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,001	12	n.n.	n.n.	0,01	7
NH4	0,03	n.n.	0,07	5	0,01	n.n.	0,07	12	0,02	n.n.	0,05	7
Cl	1,7	1,3	2,2	5	1,6	1,4	1,9	12	1,4	1,3	1,5	7
F	0,3	0,2	0,3	5	0,3	0,2	0,3	12	0,2	0,1	0,3	7
SO4	6,9	6,2	7,7	5	6,5	5,3	7,7	12	6,8	6,1	7,7	7
NO3	4,8	4,1	5,4	5	4,9	4,4	5,7	12	4,8	3,7	5,7	7
NO2	0,02	n.n.	0,06	5	0,02	n.n.	0,05	12	0,01	n.n.	0,02	7
PO4	0,08	n.n.	0,37	5	0,05	n.n.	0,46	12	0,01	n.n.	0,03	7

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 139: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6281 der Wasserversorgung 628

Kennnummer: 6281 Rohwasserdaten		Region: Bayerischer Wald Landkreis: Freyung-Grafenau											
		Hydrologisches Jahr: 1989			1990			1991			1992		
		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert		5,34	5,12	5,49	5	5,43	4,58	6,40	12	5,37	5,07	5,74	5
Delta-pH		-2,98	-2,67	-3,28	4	-3,11	-2,14	-3,84	11	-3,21	-3,03	-3,61	5
pHc-Wert		8,31	8,10	8,54	4	8,50	8,23	8,64	11	8,58	8,38	8,78	5
Temp.		6,4	4,0	8,6	5	5,2	3,8	7,2	12	5,1	3,1	7,0	5
LF		39	28	46	5	43	25	59	12	40	39	42	5
O2		10,9	10,5	11,4	5	11,1	10,4	11,9	12	11,0	10,4	11,4	5
°dH		0,8	0,7	0,9	5	1,0	0,8	1,8	12	0,7	0,6	0,9	5
Calcitlösek.		60,0	44,7	76,1	4	45,9	27,2	68,2	11	43,9	31,4	56,2	5
KS4.3		0,01	0,00	0,03	5	0,06	-0,01	0,24	11	0,03	0,01	0,05	5
KB8.2		0,61	0,44	0,78	4	0,45	0,26	0,69	12	0,43	0,30	0,56	5
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2		7,0	6,6	7,6	5	7,7	7,0	8,8	12	8,1	6,7	10,0	5
SPAK254		1,0	0,6	1,4	5	1,0	0,6	1,6	12	2,6	0,8	4,4	5
TOC		1,0	0,8	1,1	5	0,9	0,2	1,5	12	1,0	0,5	2,0	5
Ca		4,4	3,7	5,3	5	6,1	4,1	12,0	12	4,1	3,0	4,7	5
Mg		0,7	0,7	0,8	5	0,8	0,7	0,9	12	0,8	0,6	0,9	5
Na		1,9	1,8	22,0	5	2,1	1,9	28,0	12	2,0	1,6	32,0	5
K		0,9	0,6	1,7	5	0,6	n.n.	0,7	12	0,6	0,6	0,7	5
Fe		n.n.	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	5
Mn		0,05	0,04	0,07	5	0,05	n.n.	0,08	12	0,05	0,02	0,08	5
Al		0,97	0,85	1,12	5	0,63	0,16	1,13	12	0,80	0,27	1,40	5
Cd		0,0001	n.n.	0,0002	5	0,0001	n.n.	0,0002	12	0,0001	0,0001	0,0002	5
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	5
Cu		0,001	n.n.	0,001	5	0,001	n.n.	0,002	12	0,001	0,001	0,002	5
NH4		0,01	n.n.	0,03	5	0,03	n.n.	0,12	12	0,01	n.n.	0,03	5
Cl		2,3	0,7	6,7	5	1,1	0,8	1,5	12	1,0	1,0	1,1	5
F		0,1	n.n.	0,1	5	n.n.	n.n.	0,1	12	n.n.	n.n.	0,1	5
SO4		8,8	8,3	9,1	5	7,6	3,5	8,7	12	8,9	8,4	9,3	5
NO3		8,9	8,2	9,6	5	8,1	6,8	8,8	12	6,9	5,8	7,8	5
NO2		n.n.	n.n.	0,02	5	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	5
PO4		0,02	0,01	0,02	5	0,03	n.n.	0,12	12	n.n.	n.n.	0,02	5

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 140: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6289 der Wasserversorgung 628

Kennnummer: 6289 Reinwasserdaten		1989					1990					1991					1992				
		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl		Mittel	Min	Max	Anzahl	
pH-Wert		5,93	5,20	6,72	5	6,97	5,94	8,05	12	6,86	6,68	6,99	6	6,82	6,51	7,17	5				
Delta-pH		-2,62	-2,46	-2,96	4	-1,52	-0,88	-2,32	10	-1,64	-1,47	-1,94	6	-1,75	-1,36	-1,99	5				
pHc-Wert		8,36	8,02	8,71	4	8,48	8,18	8,80	10	8,50	8,44	8,64	6	8,57	8,50	8,67	5				
Temp.		6,5	4,1	8,0	5	5,4	3,8	7,6	12	5,6	3,2	8,5	6	5,2	3,6	6,3	5				
LF		53	41	66	5	82	46	109	12	72	60	82	6	68	62	77	5				
O2		11,2	10,3	12,6	5	11,2	10,5	11,7	12	11,0	10,5	11,3	6	10,9	10,3	11,4	5				
°dH		1,4	0,9	2,3	5	2,8	1,1	4,1	12	2,2	2,0	2,6	6	1,9	1,7	2,1	6				
Calcitibsek.		52,1	19,4	80,2	4	18,1	8,4	34,4	10	24,4	22,0	29,8	6	24,4	16,5	30,1	5				
KS4.3		0,20	0,02	0,50	5	0,72	0,24	1,06	11	0,49	0,38	0,60	6	0,42	0,36	0,55	6				
KB8.2		0,53	0,18	0,83	4	0,19	0,07	0,35	11	0,23	0,21	0,29	6	0,23	0,15	0,29	5				
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2		6,9	6,2	7,4	5	7,6	6,6	8,8	12	8,3	6,8	9,0	6	8,0	6,7	9,1	6				
SPAK254		1,1	0,8	1,6	5	1,8	0,6	4,0	12	3,0	1,0	4,8	6	1,5	1,0	2,4	6				
TOC		0,8	0,7	1,1	5	0,7	0,4	1,3	12	0,7	0,6	1,0	6	1,4	0,3	4,2	6				
Ca		9,2	5,0	15,5	5	18,8	6,9	28,0	12	14,8	13,0	17,0	6	12,5	11,0	14,0	6				
Mg		0,7	0,7	0,8	5	0,8	0,6	0,9	12	0,8	0,7	0,8	6	0,7	0,6	0,8	6				
Na		2,2	1,8	22,0	5	2,1	1,8	28,0	12	2,0	1,8	32,0	6	2,1	1,9	27,0	6				
K		0,6	0,5	0,6	5	0,6	n.n.	0,7	12	0,6	0,6	0,7	6	0,6	0,5	0,6	6				
Fe		0,04	n.n.	0,12	5	n.n.	n.n.	0,01	12	0,01	n.n.	0,01	6	n.n.	n.n.	0,01	6				
Mn		0,03	0,03	0,04	5	0,03	n.n.	0,05	12	0,04	0,01	0,05	6	0,04	0,03	0,05	6				
Al		0,73	0,40	1,00	5	0,10	n.n.	0,20	12	0,14	0,10	0,18	6	0,21	0,11	0,31	6				
Cd		0,0001	0,0001	0,0002	5	0,0001	n.n.	0,0001	12	0,0001	n.n.	0,0001	6	0,0001	n.n.	0,0001	6				
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	5	0,01	n.n.	0,01	12	0,01	n.n.	0,01	6	0,01	0,01	0,01	6				
Cu		0,005	n.n.	0,016	5	n.n.	n.n.	0,001	12	0,001	n.n.	0,003	6	n.n.	n.n.	0,001	6				
NH4		0,01	n.n.	0,05	5	0,04	n.n.	0,25	12	0,33	n.n.	1,87	6	0,16	n.n.	0,60	5				
Cl		0,9	0,7	1,0	5	1,0	0,7	1,7	12	1,1	0,9	1,3	6	2,1	0,8	7,7	6				
F		n.n.	n.n.	0,1	5	n.n.	n.n.	0,1	12	0,1	n.n.	0,2	6	0,3	n.n.	1,8	6				
SO4		8,7	8,6	8,9	5	7,5	3,4	9,8	12	8,3	7,4	9,4	6	7,7	6,7	8,4	6				
NO3		9,0	8,2	9,3	5	7,4	5,9	8,4	12	6,6	5,2	7,9	6	7,3	4,4	9,7	5				
NO2		0,01	n.n.	0,03	5	0,05	0,01	0,29	12	0,01	n.n.	0,03	6	0,12	0,01	0,56	5				
PO4		0,02	n.n.	0,05	5	0,01	n.n.	0,03	12	0,04	n.n.	0,21	6	0,06	n.n.	0,30	5				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 141: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6341 der Wasserversorgung 634

Hydrologisches Jahr:	1989						1990						1991						1992					
	Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl		Mittel		Min	Max	Anzahl	
	Mittel	Max	Min	Anzahl	Mittel		Max	Min	Anzahl	Mittel	Max		Min	Anzahl	Mittel	Max	Min		Anzahl	Mittel	Max	Min	Anzahl	
pH-Wert	5,23	5,57	4,85	5		4,90	5,33	4,60	12		5,29	5,41	5,15	7		5,22	4,98	4,98	5		5,36	5		
Delta-pH	-2,93	-3,29	-2,55	4		-3,49	-3,84	-3,09	12		-3,14	-3,38	-3,00	7		-3,01	-2,65	-2,65	5		-3,30	5		
pHc-Wert	8,12	8,26	7,95	4		8,40	8,57	8,26	12		8,43	8,54	8,33	7		8,23	7,85	7,85	5		8,39	5		
Temp.	6,2	7,3	4,6	5		5,4	6,8	4,1	12		5,1	6,9	3,9	7		5,1	4,1	4,1	5		6,5	5		
LF	34	49	23	5		28	41	24	12		25	26	24	7		30	26	26	5		36	5		
O2	12,4	13,2	11,6	5		12,9	14,3	11,8	12		12,1	12,9	11,4	7		12,2	10,8	10,8	5		15,6	5		
°dH	0,4	0,4	0,3	5		0,4	1,1	0,3	12		0,4	0,4	0,3	7		0,4	0,3	0,3	6		0,4	6		
Calcitlösek.	75,6	91,6	64,5	4		55,2	63,5	40,9	12		53,6	60,9	45,9	7		69,6	56,2	56,2	5		107,4	5		
KS4,3	0,02	0,03	0,01	5		0,02	0,04	0,01	12		0,03	0,04	0,02	7		0,03	0,01	0,01	6		0,06	6		
KB8,2	0,78	0,96	0,65	4		0,55	0,64	0,40	12		0,53	0,61	0,45	7		0,71	0,56	0,56	5		1,15	5		
KS8,2	n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	n.b.	n.b.	0		n.b.	0		
SiO2	6,5	7,1	5,5	5		6,6	7,2	5,9	12		7,0	7,6	6,1	7		7,0	6,1	6,1	6		8,0	6		
SPAK254	0,6	1,0	0,4	5		1,0	2,8	0,4	12		2,0	6,6	0,4	7		0,8	0,4	0,4	6		1,0	6		
TOC	0,6	0,9	0,4	5		0,6	0,8	0,3	12		0,6	0,7	0,5	7		0,8	n.n.	n.n.	6		3,1	6		
Ca	1,9	2,0	1,8	5		2,3	7,1	1,7	12		1,9	2,0	1,8	7		1,9	1,8	1,8	6		2,0	6		
Mg	0,4	0,4	0,4	5		0,4	0,4	0,4	12		0,4	0,4	0,3	7		0,4	0,3	0,3	6		0,4	6		
Na	1,9	22,0	1,7	5		1,8	28,0	1,7	12		1,7	32,0	1,5	7		1,9	1,8	1,8	6		27,0	6		
K	2,1	7,3	0,4	5		0,4	0,5	n.n.	12		0,4	0,5	0,3	7		0,4	0,4	0,4	6		0,5	6		
Fe	n.n.	0,01	n.n.	5		0,01	0,03	n.n.	12		0,01	0,02	n.n.	7		n.n.	n.n.	n.n.	6		0,01	6		
Mn	0,04	0,06	0,03	5		0,05	0,07	n.n.	12		0,05	0,07	0,03	7		0,08	0,04	0,04	6		0,18	6		
Al	0,35	0,54	0,28	5		0,32	0,43	0,25	12		0,31	0,34	0,29	7		0,29	0,24	0,24	6		0,38	6		
Cd	0,0001	0,0001	n.n.	5		0,0001	0,0002	0,0001	12		0,0001	0,0002	0,0001	7		0,0001	0,0001	0,0001	6		0,0001	6		
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5		n.n.	0,01	n.n.	12		n.n.	0,02	n.n.	7		0,01	n.n.	n.n.	6		0,02	6		
Cu	0,001	0,001	n.n.	5		0,001	0,002	n.n.	12		0,001	0,006	n.n.	7		0,002	n.n.	n.n.	6		0,007	6		
NH4	0,08	0,17	n.n.	5		0,10	1,10	n.n.	12		0,32	2,22	n.n.	7		0,23	n.n.	n.n.	5		1,10	5		
Cl	2,3	5,9	1,0	5		1,0	1,3	0,8	12		1,1	2,1	0,8	7		1,2	0,9	0,9	6		1,7	6		
F	n.n.	0,1	n.n.	5		n.n.	n.n.	n.n.	12		n.n.	0,1	n.n.	7		n.n.	n.n.	n.n.	6		0,1	6		
SO4	3,4	3,6	3,1	5		3,8	8,4	2,5	12		4,0	5,2	3,3	7		3,3	2,5	2,5	6		3,7	6		
NO3	6,1	6,5	5,4	5		5,9	6,5	5,3	12		5,8	6,3	5,0	7		6,4	5,4	5,4	6		8,4	6		
NO2	0,01	0,02	n.n.	5		0,01	0,02	n.n.	12		n.n.	0,01	n.n.	7		n.n.	n.n.	n.n.	5		0,01	5		
PO4	0,21	0,68	n.n.	5		0,02	0,08	n.n.	12		n.n.	0,03	n.n.	7		0,01	n.n.	n.n.	5		0,03	5		

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KB8,2 u. KB8,2 in immo/l/l)

Tab. 142: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6349 der Wasserversorgung 634

Kennnummer: 6349 Reinwasserdaten		Region: Bayerischer Wald Landkreis: Freyung-Grafenau										
		1989		1990		1991		1992				
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	7,74	7,28	8,05	5	7,69	7,21	8,08	12	7,82	7,50	8,26	7
Delta-pH	-1,02	-0,90	-1,14	2	-0,88	-0,61	-1,23	8	-0,75	-0,60	-0,88	4
pHc-Wert	8,40	8,38	8,42	2	8,47	8,29	9,04	8	8,39	8,35	8,46	4
Temp.	6,5	4,3	8,1	5	5,6	3,8	7,1	12	5,2	4,0	6,9	7
LF	100	91	113	5	101	88	110	12	104	97	111	7
O2	12,0	10,8	13,2	5	12,2	10,1	13,9	12	12,0	11,4	12,6	7
°dH	3,6	3,2	4,1	5	3,4	0,5	4,3	12	3,7	3,2	4,1	7
Calcitibsek.	10,5	9,1	11,8	2	8,7	5,1	17,4	8	8,0	5,8	11,0	4
KS4.3	0,99	0,90	1,12	5	0,99	0,85	1,12	12	1,07	1,00	1,15	7
KB8.2	0,10	0,08	0,11	2	0,07	0,04	0,17	8	0,06	0,00	0,10	5
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	6,6	5,3	7,6	5	6,6	6,1	7,4	12	6,9	6,4	7,3	7
SPAK254	1,4	1,0	2,4	5	1,4	0,4	2,4	12	2,1	1,0	5,0	7
TOC	0,4	0,3	0,6	5	0,7	0,4	1,6	12	0,6	0,4	1,0	7
Ca	24,8	22,0	29,0	5	23,7	2,3	30,0	12	25,9	22,0	29,0	7
Mg	0,5	0,4	0,7	5	0,5	0,4	0,7	12	0,4	0,4	0,4	7
Na	1,8	1,7	22,0	5	1,8	1,7	28,0	12	1,7	1,5	32,0	7
K	0,5	0,3	1,0	5	0,4	n.n.	0,5	12	0,4	0,3	0,4	7
Fe	0,01	n.n.	0,04	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	7
Mn	0,01	0,01	0,02	5	0,03	n.n.	0,05	12	0,02	n.n.	0,04	7
Al	0,10	0,04	0,20	5	0,07	n.n.	0,23	12	0,05	n.n.	0,12	7
Cd	n.n.	n.n.	0,0001	5	0,0001	n.n.	0,0002	12	0,0001	n.n.	0,0005	7
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	n.n.	7
Cu	0,002	n.n.	0,008	5	n.n.	n.n.	0,001	12	n.n.	n.n.	0,001	7
NH4	0,03	n.n.	0,12	5	0,03	n.n.	0,14	12	n.n.	n.n.	0,02	7
Cl	1,2	1,1	1,4	5	1,0	0,8	1,3	12	1,0	0,8	1,3	7
F	n.n.	n.n.	0,1	5	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	0,1	7
SO4	3,9	3,6	4,2	5	4,2	2,6	8,1	12	3,7	3,3	4,4	7
NO3	5,6	5,2	6,2	5	5,6	4,9	6,4	12	5,7	4,7	6,3	7
NO2	0,04	n.n.	0,08	5	0,03	n.n.	0,08	12	0,01	n.n.	0,03	7
PO4	0,01	n.n.	0,03	5	0,08	n.n.	0,80	12	n.n.	n.n.	n.n.	7

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 143: Beschaffenheitsdaten der Probenahmeestelle 6401 der Wasserversorgung 640

Hydrologisches Jahr:	Region: Bayerischer Wald Landkreis: Freyung-Grafenau																			
	Kennnummer: 6401 Rohwasserdaten				1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	5,28	5,01	5,45	4	5,13	4,90	5,51	12	5,40	5,30	5,48	6	5,43	5,22	5,66	5				
Delta-pH	-2,92	-2,67	-3,15	4	-3,29	-3,05	-3,55	12	-3,02	-2,86	-3,15	6	-2,91	-2,53	-3,49	5				
pHc-Wert	8,20	8,03	8,47	4	8,42	8,21	8,61	12	8,42	8,34	8,58	6	8,36	8,20	8,72	5				
Temp.	5,5	5,0	5,8	4	5,4	3,9	6,4	12	5,5	4,8	6,5	6	5,3	4,9	5,8	5				
LF	31	28	36	4	31	28	35	12	31	29	33	6	48	32	110	5				
O2	10,0	9,7	10,4	4	10,2	9,6	11,3	12	10,1	9,5	10,5	6	10,2	10,0	10,3	5				
°dH	0,5	0,5	0,6	4	0,5	0,5	0,6	12	0,5	0,5	0,6	6	0,5	0,5	0,6	6				
Calcitiöse.	70,1	50,6	84,0	4	53,3	43,0	69,1	12	52,9	44,0	57,1	6	58,5	37,3	69,0	5				
KS4.3	0,04	0,03	0,05	4	0,04	0,02	0,06	12	0,04	0,03	0,04	6	0,04	0,03	0,07	6				
KB8.2	0,72	0,50	0,87	4	0,53	0,42	0,70	12	0,53	0,43	0,57	6	0,59	0,36	0,70	5				
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0				
SiO2	6,4	6,1	6,7	4	6,5	6,1	6,9	12	7,1	6,3	7,7	6	6,8	5,8	7,8	6				
SPAK254	1,4	0,6	2,8	4	1,5	0,6	2,2	12	3,0	1,0	6,2	6	1,4	1,0	2,0	6				
TOC	0,6	0,5	0,7	4	0,7	0,5	1,3	12	0,9	0,5	1,9	6	0,7	0,2	1,9	6				
Ca	2,7	2,5	3,0	4	2,7	2,3	3,2	12	2,7	2,6	2,9	6	2,7	2,5	3,0	6				
Mg	0,6	0,4	0,7	4	0,7	0,6	0,8	12	0,7	0,6	0,7	6	0,6	0,6	0,6	6				
Na	2,0	1,9	22,0	4	2,0	1,8	28,0	12	2,0	1,8	32,0	6	2,0	1,9	27,0	6				
K	0,6	0,5	0,6	4	0,5	n.n.	0,7	12	0,6	0,5	0,7	6	0,6	0,5	0,6	6				
Fe	n.n.	n.n.	n.n.	4	0,01	n.n.	0,03	12	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,04	6				
Mn	0,03	0,03	0,03	4	0,04	n.n.	0,07	12	0,05	0,02	0,06	6	0,05	0,04	0,05	6				
Al	0,20	0,17	0,21	4	0,18	0,16	0,21	12	0,15	0,13	0,19	6	0,17	0,14	0,21	6				
Cd	0,0002	0,0001	0,0002	4	0,0001	n.n.	0,0002	12	0,0001	0,0001	0,0002	6	0,0001	0,0001	0,0001	6				
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	6				
Cu	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	0,001	12	n.n.	n.n.	0,001	6	0,001	n.n.	0,001	6				
NH4	n.n.	n.n.	0,01	4	0,02	n.n.	0,05	12	0,12	n.n.	0,58	6	0,02	n.n.	0,07	6				
Cl	1,1	1,0	1,3	4	1,1	0,9	1,2	12	1,2	1,0	1,4	6	1,4	0,9	2,4	6				
F	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	0,3	12	n.n.	n.n.	0,1	6	n.n.	n.n.	0,1	6				
SO4	5,7	5,4	5,9	4	5,6	5,1	6,2	12	5,9	5,7	6,2	6	5,5	4,8	5,9	6				
NO3	5,0	4,4	6,1	4	4,9	4,0	6,1	12	4,7	4,0	5,3	6	4,8	3,4	6,0	6				
NO2	0,01	n.n.	0,01	4	0,01	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	6	0,01	n.n.	0,04	6				
PO4	0,01	n.n.	0,03	4	0,04	n.n.	0,14	12	n.n.	n.n.	0,02	6	0,02	n.n.	0,06	6				

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in I/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 144: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 6409 der Wasserversorgung 640

Kennnummer: 6409 Reinwasserdaten		Region: Bayerischer Wald Landkreis: Freyung-Grafenau											
		Hydrologisches Jahr: 1989			1990			1991			1992		
		Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert		7,86	7,60	8,03	4	7,88	7,34	8,37	12	8,11	7,99	8,24	6
Delta-pH		-0,53	-0,24	-0,82	2	-0,64	-0,56	-0,78	3	-0,27	-0,27	-0,27	1
pHc-Wert		8,35	8,27	8,42	2	8,29	8,12	8,42	3	8,26	8,26	8,26	1
Temp.		5,6	5,1	6,0	4	5,4	3,7	6,5	12	5,5	4,8	6,5	6
LF		111	104	117	4	107	99	118	12	111	106	116	6
O2		10,1	9,8	10,6	4	10,2	9,6	10,9	12	10,3	9,8	10,5	6
°dH		3,9	3,5	4,3	4	3,9	3,5	4,3	12	4,1	3,8	4,3	6
Calcitfösek.		6,3	6,1	6,4	2	11,3	3,1	26,9	3	8,3	8,3	8,3	1
KS4.3		1,10	1,02	1,19	4	1,07	0,97	1,20	12	1,13	1,10	1,17	6
KB8.2		0,06	0,05	0,06	2	0,11	0,02	0,28	3	0,03	0,00	0,08	3
KS8.2		n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	0,00	0,00	0,00	2
SiO2		6,6	6,4	6,9	4	6,5	5,7	6,8	12	7,5	6,4	8,2	6
SPAK254		1,1	0,2	2,0	4	1,5	0,6	3,4	12	3,0	0,8	7,2	6
TOC		0,8	0,6	1,0	4	0,7	0,4	0,9	12	0,5	0,4	0,8	6
Ca		27,0	24,0	30,0	4	27,2	24,0	30,0	12	28,2	26,0	30,0	6
Mg		0,7	0,6	0,7	4	0,7	0,7	0,8	12	0,7	0,7	0,7	6
Na		2,0	1,9	2,0	4	2,0	1,7	2,0	12	2,0	1,7	3,0	6
K		0,6	0,6	0,6	4	0,5	n.n.	0,7	12	0,6	0,5	0,6	6
Fe		n.n.	n.n.	0,01	4	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	0,01	6
Mn		0,01	n.n.	0,01	4	0,02	n.n.	0,07	12	0,02	n.n.	0,04	6
Al		0,03	n.n.	0,05	4	0,06	n.n.	0,11	12	0,02	n.n.	0,09	6
Cd		0,0001	n.n.	0,0002	4	0,0001	n.n.	0,0001	12	n.n.	n.n.	0,0001	6
Zn		n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	0,01	12	n.n.	n.n.	n.n.	6
Cu		0,001	n.n.	0,002	4	n.n.	n.n.	0,001	12	n.n.	n.n.	0,001	6
NH4		0,02	n.n.	0,07	4	0,03	n.n.	0,10	11	0,01	n.n.	0,07	6
Cl		1,3	1,0	1,5	4	1,1	0,9	1,6	12	1,1	1,0	1,2	6
F		n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	0,1	12	n.n.	n.n.	0,1	6
SO4		5,8	5,5	5,9	4	5,5	3,2	6,1	12	6,1	5,8	6,5	6
NO3		5,0	4,4	6,2	4	4,9	3,8	6,5	12	4,9	4,4	5,3	6
NO2		0,04	0,01	0,11	4	0,04	n.n.	0,12	12	0,01	n.n.	0,03	6
PO4		0,01	n.n.	0,02	4	0,03	n.n.	0,23	12	n.n.	n.n.	0,02	6

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KS8,2 u. KB8,2 in mmol/l)

Tab. 145: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 7101 der Wasserversorgung 710

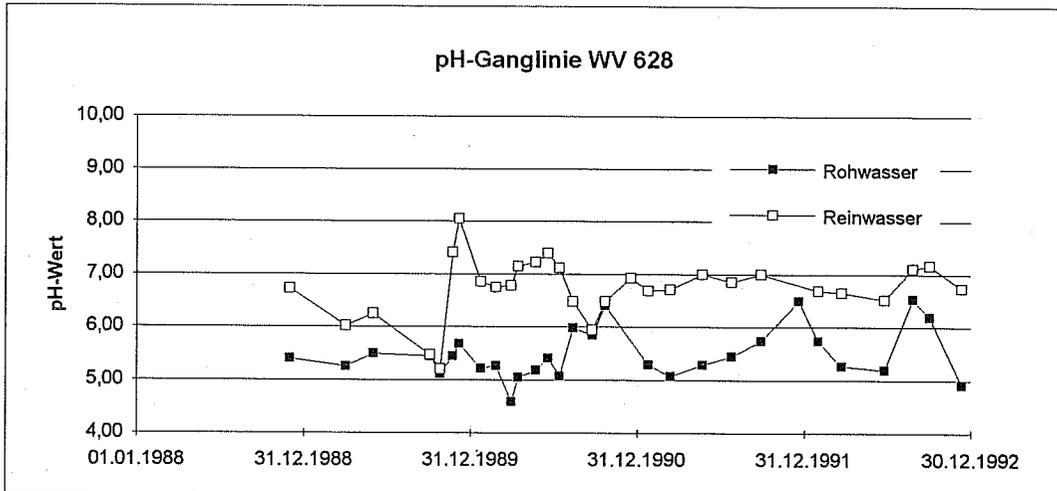
Hydrologisches Jahr:	Region: Bayerischer Wald Landkreis: Cham															
	1989				1990				1991				1992			
	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	4,31	4,29	4,32	3	4,26	3,95	4,45	12	4,12	3,83	4,53	7	3,90	3,78	4,14	4
Delta-pH	-3,69	-3,61	-3,77	2	-3,59	-3,37	-4,09	11	-3,59	-3,12	-3,86	7	n.b.	n.b.	n.b.	0
pHc-Wert	8,00	7,91	8,09	2	7,85	7,70	8,05	11	7,72	7,65	7,80	7	n.b.	n.b.	n.b.	0
Temp.	8,3	7,5	9,4	3	8,2	6,1	10,2	12	7,8	7,1	8,9	7	8,4	7,9	9,1	4
LF	51	51	51	3	51	48	54	12	51	46	53	7	53	52	53	4
O2	10,2	9,6	11,2	3	9,6	8,0	10,7	12	8,5	7,8	9,2	7	8,9	8,1	9,9	4
°dH	0,3	0,3	0,3	3	0,3	0,3	0,4	12	0,3	0,3	0,3	7	0,3	0,3	0,3	2
Calcitiosek.	85,7	78,0	93,3	2	101,9	81,5	118,7	11	119,4	108,9	129,4	7	n.b.	n.b.	n.b.	0
KS4.3	-0,01	-0,03	0,01	3	-0,03	-0,05	-0,01	12	-0,02	0,00	-0,04	7	-0,04	-0,04	-0,04	1
KB8.2	0,89	0,80	0,98	2	1,09	0,84	1,30	11	1,31	1,17	1,44	7	1,29	1,18	1,48	4
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	21,0	21,0	21,0	2	20,8	17,0	23,0	12	18,8	2,4	24,0	7	22,3	19,0	24,0	4
SPAK254	0,8	0,6	1,0	2	0,6	0,4	1,0	12	2,3	1,2	6,0	7	0,9	0,6	1,8	4
TOC	0,6	0,5	0,6	2	0,9	0,6	1,8	12	0,8	0,4	1,4	7	0,5	0,4	0,7	4
Ca	1,2	1,1	1,3	3	1,3	1,1	1,5	12	1,3	1,2	1,5	7	1,2	1,1	1,2	2
Mg	0,6	0,6	0,7	3	0,7	0,6	0,7	12	0,6	0,5	0,7	7	0,6	0,5	0,6	2
Na	3,0	3,0	22,0	3	3,1	2,8	28,0	12	2,9	2,6	32,0	7	2,9	2,8	27,0	2
K	0,9	0,9	1,0	3	0,9	0,4	1,1	12	0,9	0,8	1,0	7	1,0	0,9	1,0	2
Fe	0,03	0,02	0,05	3	0,08	0,02	0,44	12	0,02	0,01	0,07	7	0,02	0,01	0,02	2
Mn	0,03	0,02	0,03	3	0,03	0,02	0,03	12	0,02	0,02	0,02	7	0,02	0,02	0,02	2
Al	0,36	0,33	0,38	3	0,38	0,35	0,41	12	0,35	0,30	0,39	7	0,39	0,38	0,40	2
Cd	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	0,0001	12	0,0001	n.n.	0,0002	7	0,0003	0,0001	0,0005	2
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,02	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,02	7	0,01	0,01	0,01	2
Cu	0,017	0,004	0,042	3	0,024	0,001	0,120	12	0,016	0,001	0,100	7	0,001	0,001	0,001	2
NH4	0,03	n.n.	0,06	2	0,02	n.n.	0,07	12	0,04	n.n.	0,08	6	0,01	n.n.	0,03	4
Cl	4,6	4,3	4,8	3	5,0	4,6	5,5	12	4,8	4,6	5,0	7	4,6	4,3	4,8	4
F	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	0,1	7	n.n.	n.n.	0,1	4
SO4	7,9	7,5	8,1	3	7,7	7,1	8,0	12	7,6	6,7	8,8	7	8,2	7,9	8,3	4
NO3	1,9	1,6	2,1	3	1,9	0,9	2,7	12	1,9	1,8	2,0	7	1,9	1,5	2,3	4
NO2	0,01	n.n.	0,01	2	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	4
PO4	0,01	0,01	0,01	2	0,01	n.n.	0,09	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	0,02	n.n.	0,07	4

(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4.3, KS8.2 u. KB8.2 in mmol/l)

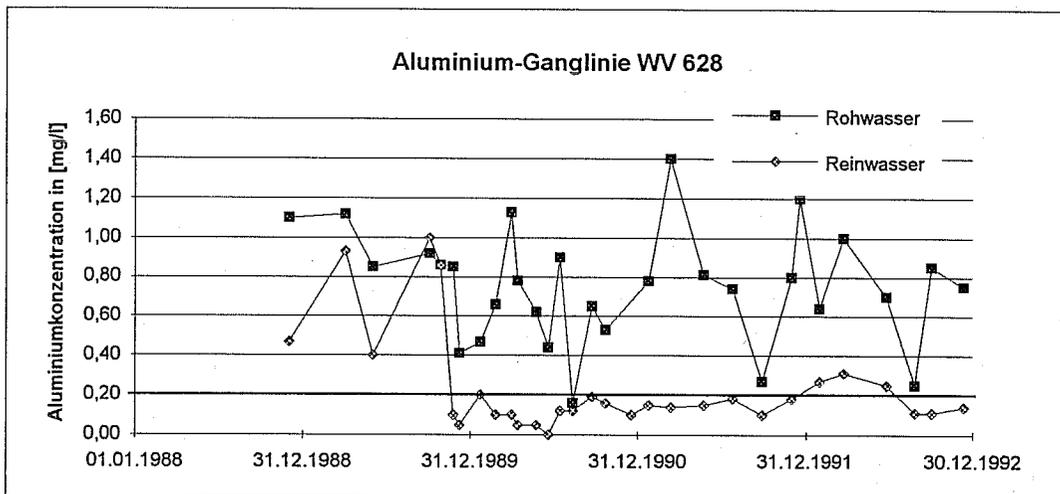
Tab. 146: Beschaffenheitsdaten der Probenahmestelle 7109 der Wasserversorgung 710

Kennnummer: 7109 Reinwasserdaten		Region: Bayerischer Wald Landkreis: Cham										
		1989			1990			1991			1992	
Hydrologisches Jahr:	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl	Mittel	Min	Max	Anzahl
pH-Wert	7,35	7,15	7,62	3	7,20	6,71	7,46	12	7,05	6,87	7,17	7
Delta-pH	-0,58	-0,17	-1,00	2	-0,63	-0,36	-1,23	12	-0,70	-0,54	-0,85	7
pHc-Wert	8,03	7,79	8,27	2	7,84	7,73	7,99	12	7,75	7,70	7,92	7
Temp.	9,1	7,6	11,4	3	8,7	6,0	12,2	12	8,5	6,1	11,5	7
LF	191	176	207	3	189	139	222	12	208	199	216	7
O2	9,9	9,5	10,5	3	9,6	7,9	12,0	12	8,0	7,2	9,1	7
°dH	6,1	5,2	7,0	2	5,9	4,4	6,9	12	6,4	5,3	6,9	7
Calcitibsek.	23,1	13,8	32,5	2	21,8	15,6	32,8	12	22,6	15,6	26,9	7
KS4.3	1,79	1,55	2,07	3	1,74	1,15	2,21	12	2,04	1,94	2,08	7
KB8.2	0,27	0,21	0,32	2	0,28	0,18	0,36	12	0,32	0,20	0,37	7
KS8.2	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	0
SiO2	21,0	21,0	21,0	3	20,7	14,0	23,0	12	18,8	2,3	24,0	7
SPAK254	0,4	0,4	0,4	3	0,6	0,4	1,0	12	2,0	1,6	2,4	7
TOC	0,6	0,6	0,6	2	0,7	0,4	1,0	12	0,8	0,5	1,3	7
Ca	42,6	36,2	49,0	2	41,4	30,0	48,0	12	45,0	37,0	48,0	7
Mg	0,8	0,7	0,8	2	0,8	0,7	0,9	12	0,7	0,7	0,8	7
Na	3,1	3,0	22,0	2	3,0	2,8	28,0	12	2,9	2,6	32,0	7
K	1,0	0,9	1,0	2	0,9	0,3	1,1	12	0,9	0,9	1,0	7
Fe	0,01	0,01	0,01	2	0,01	n.n.	0,05	12	0,01	n.n.	0,02	7
Mn	0,01	n.n.	0,01	2	n.n.	n.n.	0,01	12	0,01	0,01	0,01	7
Al	0,05	0,04	0,05	2	0,04	n.n.	0,11	12	0,03	n.n.	0,12	7
Cd	0,0001	n.n.	0,0001	2	n.n.	n.n.	0,0001	12	n.n.	n.n.	0,0001	7
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,01	n.n.	0,02	12	0,01	n.n.	0,01	7
Cu	0,004	0,003	0,004	2	0,004	0,002	0,005	12	0,004	0,002	0,008	7
NH4	n.n.	n.n.	n.n.	3	0,02	n.n.	0,10	12	0,01	n.n.	0,03	6
Cl	4,6	4,6	4,7	3	5,0	4,6	5,4	12	4,7	4,6	5,0	7
F	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	7
SO4	8,1	8,0	8,2	3	8,1	7,6	8,5	12	8,0	7,3	8,5	7
NO3	1,9	1,8	1,9	3	1,9	1,1	2,7	12	1,9	1,8	2,0	7
NO2	0,01	n.n.	0,02	3	n.n.	n.n.	0,02	12	n.n.	n.n.	0,01	7
PO4	n.n.	n.n.	0,01	3	0,01	n.n.	0,07	12	n.n.	n.n.	0,03	7

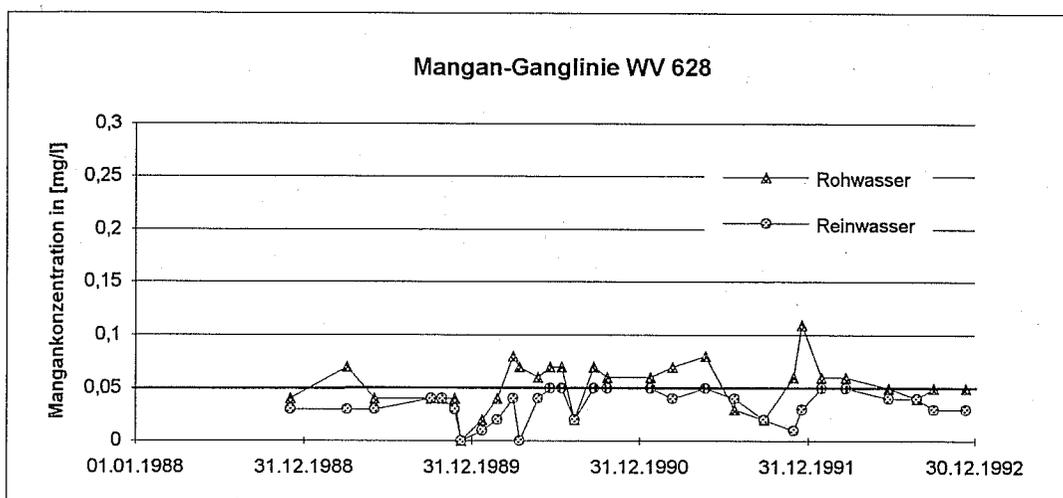
(alle Werte in mg/l, Temp. in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KS4,3, KB8,2 u. KB8,2 in mmol/l)



a)



b)



c)

Abb. 38: Ganglinien ausgewählter Parameter einer Wasserversorgung in der Region Bayerischer Wald

4.5.2 Untersuchungsgebiet Markungsgraben

4.5.2.1 Forstinventur und Waldzustand

Im Einzugsgebiet Markungsgraben herrscht die Baumart Fichte vor, daneben kommt auch die Buche in bedeutenden Anteilen vor (Tab. 147). Diese Baumartenzusammensetzung entspricht im wesentlichen der natürlichen Bestockung, jedoch wurde die Fichte in den Lagen unter 1150 m durch die Forstwirtschaft gefördert. Die Hochlagenbestände 03 und 04 weisen den größten Anteil an geschädigten Einzelbäumen auf (Tab. 148). Auf Fläche 03 war nach Borkenkäferbefall ein Ausfall von ca. 50% der Fichten zu verzeichnen. Aufgrund des Schutzstatus des Gebietes wurde auf eine Borkenkäferbekämpfung und die Räumung der Fläche von abgestorbenen Bäumen verzichtet.

Tab. 147: Forstinventurdaten im Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Bayerischer Wald		Markungsgraben		Forstinventurdaten 1988			
Fläche		01	02	03	04		
Höhenlage (m ü. NN)		970	975	1220	1290		
Alter (Jahre)		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
Flächengröße (ha)		0,1046	0,1344	0,1334	0,1212		
gesamt:	Fi	315; 94	7; 2	427; 100	495; 100		
Baumzahl/ha; %-Anteil	Bu	19; 6	327; 98	0; 0	0; 0		
Kraftklasse 1 und 2:	Fi	315; 94	7; 2	427; 100	495; 100		
Baumzahl/ha; %-Anteil	Bu	19; 6	313; 98	0; 0	0; 0		
Baumhöhe (m)		28,85	26,44	25,47	20,77		
Kronenlänge (m)		13,92	12,18	9,21	10,84		
Höhe des Kronenansatzes (m)		14,93	14,26	16,26	9,91		
Brusthöhendurchmesser (m)		0,369	0,319	0,399	0,364		
Kreisfläche (m ² /ha)		37,204	27,989	61,836	53,073		
Vorrat (Efm. o. R. /ha)		412,09	288,92	597,04	423,23		

Baumarten : Fi = Fichte, Bu=Buche
 Baumhöhe, Kronenlänge und Höhe des Kronenansatzes : arithmetisches Mittel aus 10% der Bäume aller Kraftklassen
 Brusthöhendurchmesser : arithmetisches Mittel der Bäume der Kraftklasse 1 und 2
 Kreisfläche : ermittelt aus allen Bäumen nach BITTERLICH (1952)
 Vorrat : Berechnung für über 60-jährige Bestände nach KRENN (1950), für die jüngeren Bestände über die Derbholzformzahl-Tafel nach FRANZ (1972) in Erntefestmetern ohne Rinde (Efm. o. R.)

Bayerischer Wald		Markungsgraben				Forstinventurdaten 1988		
		Baumartenverteilung in %				Altersgruppenverteilung in %		
		Fi	Ki	Bu	Ei	< 60 Jahre	60-120 Jahre	> 120 Jahre
Gesamtgebiet (110 Stichprobenpunkte)		73	0	27	0	7	73	20

Tab. 148: Waldzustandsdaten im Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Bayerischer Wald		Markungsgraben		Schadstufenverteilung								
Fläche	Jahr	Typ	Schadstufe									
			0		1		2		3		4	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamtgebiet	1988	Luftb.Interp.	*	2	*	68	*	30	*	*	*	*
Gesamtgebiet	1990	Luftb.Interp.	*	1	*	49	*	49	*	1	*	*
01	1988	Luftb.Interp.	6	17	24	69	5	14	*	*	*	*
01	1988	Terr.Anspr.	7	20	25	71	3	9	*	*	*	*
01	1990	Luftb.Interp.	3	10	20	65	8	26	*	*	*	*
01	1990	Terr.Anspr.	2	6	24	77	4	13	1	3	*	*
01	1991	Terr.Anspr.	3	10	22	71	5	16	1	3	*	*
01	1992	Terr.Anspr.	*	*	20	69	9	31	*	*	*	*
02	1988	Luftb.Interp.	5	11	28	62	12	27	*	*	*	*
02	1988	Terr.Anspr.	9	21	26	62	7	17	*	*	*	*
02	1990	Luftb.Interp.	4	9	34	76	7	16	*	*	*	*
02	1990	Terr.Anspr.	9	21	31	72	3	7	*	*	*	*
02	1991	Terr.Anspr.	6	14	34	79	2	5	1	2	*	*
02	1992	Terr.Anspr.	6	14	27	64	9	21	*	*	*	*
03	1988	Terr.Anspr.	*	*	6	22	18	67	3	11	*	*
03	1990	Terr.Anspr.	1	4	3	13	16	67	4	17	*	*
03	1991	Terr.Anspr.	*	*	5	21	11	46	8	33	*	*
03	1992	Terr.Anspr.	1	5	7	33	11	52	2	10	*	*
04	1988	Terr.Anspr.	*	*	31	53	27	46	1	2	*	*
04	1990	Terr.Anspr.	*	*	38	64	19	32	1	2	1	2
04	1991	Terr.Anspr.	*	*	38	64	18	31	1	2	2	3
04	1992	Terr.Anspr.	2	3	34	58	20	34	1	2	2	3

Luftb.Interp.: Luftbildinterpretation

Terr.Anspr.: Terrestrische Schadansprache

4.5.2.2 Deposition

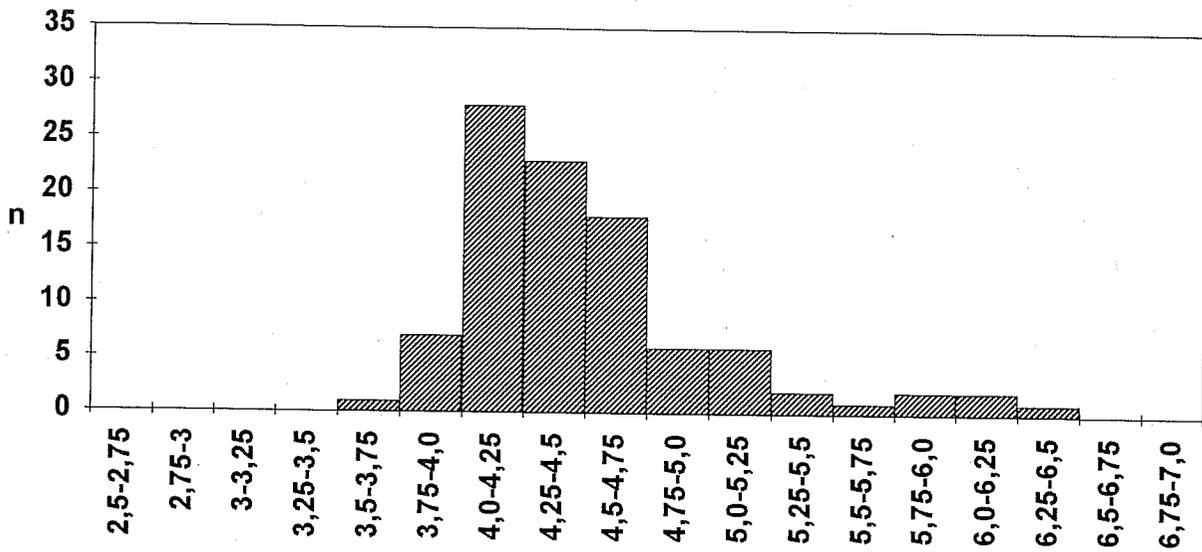
Das Untersuchungsgebiet Markungsgraben ist geprägt von hohen Niederschlägen. Von Westen herangeführte feuchte Luft maritimen Ursprungs regnet an den Bergrücken des Bayerischen Waldes ab. An der DWD-Station Waldhäuser, die ca. 1 km südöstlich vom Untersuchungsgebiet liegt, werden im langjährigen Mittel 1295 mm registriert. Innerhalb des Untersuchungsgebietes tritt aufgrund der starken vertikalen Gliederung des Geländes ein Niederschlagsgradient auf, so daß in den Hochlagen (bis 1300 m ü. NN) die Jahresniederschläge bis zu 1500 mm und mehr erreichen können. Über die zeitliche Entwicklung der Niederschläge informiert Tab. 149.

Tab. 149: Jahresniederschläge in mm im Untersuchungsgebiet Markungsgraben und an der DWD-Station Waldhäuser

Hydrologisches Jahr	Freifläche 12 980 m ü. NN	Waldhäuser (DWD) 945 m ü. NN	% vom 30-jährigen Mittel
1988	-	1671	129
1989	1431	1354	105
1990	1280	1165	90
1991	1300	1069	83
1992	1543	1330	103

Die Freilandniederschläge sind sauer. Die niederschlagsgewichteten mittleren pH-Werte reichen auf der Freifläche 12 von 4,1 - 4,5 (Tab. 150). Das Maximum der pH-Wert-Verteilung liegt im Bereich von 4,0 bis 4,25 (Abb. 39). Im Gebietsvergleich ist die Summe der gelösten Stoffe wegen der hohen Niederschläge am niedrigsten, was an mittleren Leitfähigkeiten bis unter $20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ deutlich wird. Bei Einzelereignisse wurden im Freilandniederschlag elektrische Leitfähigkeiten von unter $10 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ gemessen. Die deutlich höheren Konzentrationen im Bestandsniederschlag eines Altlichtenbestandes der oberen Hanglage gibt Tabelle 151 wieder.

Häufigkeitsverteilung pH-Wert Freifläche 12



Häufigkeitsverteilung pH-Wert Fichte 01

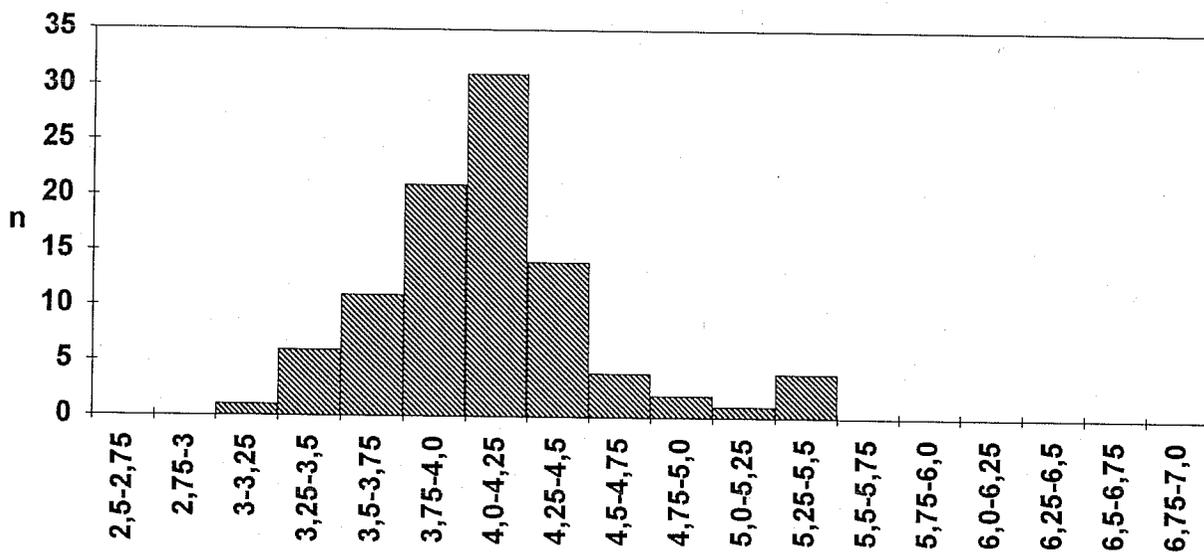


Abb. 39: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Niederschlag im Untersuchungsgebiet Markungsgraben (1989 - 1992)

Dort sinken die mittleren pH-Werte unter 4,0 mit Einzelmessungen bis pH 3,1. Die höchsten mittleren Konzentrationen von Sulfat und Nitrat wurden sowohl im Freiland als auch in den Beständen im Jahr 1989 gemessen.

Tab. 150: Beschaffenheitsdaten des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Bayerischer Wald Niederschlag		Markungsgraben Mebfläche: 12		Freiland		TK25: 7046 Meßstelle: 212310																		
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992																
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n					
pH v0	4,57	3,77	5,95	4	4,27	3,81	6,11	23	4,43	3,86	6,16	22	4,34	3,70	5,02	23	4,37	3,89	6,49	25				
pH Lab	4,74	4,50	4,90	3	4,41	3,90	5,60	24	4,54	4,01	5,88	25	4,47	3,89	5,17	26	4,63	4,17	5,77	24				
LF v0	16	50	9	2,9728	28	81	10	18,8704	19	86	6	15,1745	26	129	11	15,5322	18	51	9	9,5806	26			
LF Lab	15	40	9	3,3644	29	75	11	20,4899	22	88	6	17,6813	24	77	12	13,3125	18	51	9	10,7246	24			
S04	2,0	5,2	1,1	0,4855	3,0	9,3	n.n.	2,1019	2,4	12,9	0,8	2,1103	24	2,4	14,0	1,0	1,6383	2,4	6,4	n.n.	1,1246	27		
NO3	2,2	7,6	1,0	0,4373	2,5	5,5	0,9	1,6352	NO3	2,0	6,1	0,8	1,3251	NO3	2,4	23,8	1,2	1,2671	NO3	2,1	7,7	n.n.	1,3213	27
Cl	0,3	0,9	n.n.	0,3296	0,2	0,8	n.n.	0,2962	Cl	0,2	1,4	n.n.	0,5624	Cl	0,1	1,8	n.n.	0,2015	Cl	n.n.	0,7	n.n.	0,1613	27
HCO3	2,9	3,1	2,4	3,1154	2,4	4,3	1,8	2,5364	HCO3	2,9	4,3	2,4	1,5940	HCO3	2,4	3,7	1,8	1,8470	HCO3	2,4	4,3	1,8	1,8352	12
NO2	0,02	0,02	0,01	0,0092	0,01	0,03	n.n.	0,0108	NO2	n.n.	0,06	n.n.	0,0066	NO2	n.n.	0,06	n.n.	0,0092	NO2	n.n.	0,06	n.n.	0,0075	27
o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	0,09	n.n.	0,0080	o-P04	n.n.	0,21	n.n.	0,0122	o-P04	n.n.	0,19	n.n.	0,0092	o-P04	n.n.	0,02	n.n.	0,0066	27
Ca	0,3	0,9	0,2	0,0511	0,4	2,0	0,1	0,3130	Ca	0,3	2,3	0,1	0,1781	Ca	0,3	3,3	0,1	0,1887	Ca	0,2	0,6	0,1	0,1638	24
Mg	n.n.	0,1	n.n.	0,0180	n.n.	0,2	n.n.	0,0604	Mg	n.n.	0,2	n.n.	0,0708	Mg	n.n.	0,5	n.n.	0,1269	Mg	n.n.	0,2	n.n.	0,0509	26
Na	0,8	1,3	0,4	0,6593	0,4	1,1	0,1	0,3764	Na	0,4	0,9	n.n.	0,3679	Na	0,3	1,4	n.n.	0,1926	Na	0,3	0,7	0,1	0,3007	27
K	0,3	2,2	n.n.	0,3150	0,2	1,1	0,1	0,1389	K	0,1	1,6	n.n.	0,1199	K	0,2	1,2	n.n.	0,1124	K	0,2	0,8	n.n.	0,1329	26
NH4	0,778	2,705	0,283	0,2343	0,916	1,842	0,013	0,7635	NH4	0,664	3,606	0,010	0,5032	NH4	0,748	5,925	0,129	0,4657	NH4	0,696	2,795	0,032	0,4132	27
Al	0,01	0,01	0,01	0,0000	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Al	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Al	0,01	0,05	n.n.	0,0176	Al	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2
Fe	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	0,01	0,01	0,01	0,0070	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0064	Fe	0,02	0,04	0,01	0,0035	Fe	n.n.	0,04	n.n.	0,0109	2
Mn	n.n.	0,04	n.n.	0,0061	n.n.	0,05	n.n.	0,0065	Mn	n.n.	0,05	n.n.	0,0064	Mn	n.n.	0,08	n.n.	0,0051	Mn	n.n.	0,13	n.n.	0,0120	27
Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	0,003	0,004	0,002	0,0035	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0006	Pb	0,003	0,003	0,003	0,0021	Pb	0,002	0,004	0,002	0,0012	2
Cd	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	Cd	n.n.	0,0002	n.n.	0,0001	Cd	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	Cd	n.n.	0,0002	n.n.	0,0001	2
Zn	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	0,03	0,03	0,02	0,0246	Zn	0,02	0,03	0,01	0,0169	Zn	0,02	0,03	0,02	0,0107	Zn	0,01	0,03	0,01	0,0032	2
Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	0,01	n.n.	0,0036	Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Ba	n.n.	0,01	n.n.	0,0027	2
TOC	2,9	6,6	2,3	1,4984	2,1	5,8	1,0	1,6635	TOC	1,2	10,0	0,6	0,7073	TOC	1,5	3,9	0,5	1,0589	TOC	1,7	12,0	0,7	1,2851	27
SPAK254	1,5	4,6	1,0	0,6296	1,8	6,4	0,6	1,1639	SPAK254	1,4	4,2	0,6	0,8116	SPAK254	4,1	38,0	0,8	3,0662	SPAK254	1,7	4,2	1,0	0,9963	22

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KB6,2 in mmol/l)

Die Deposition mit dem Freilandniederschlag gibt Tab. 152 wieder.

Tab. 152: Freilanddeposition in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Jahr	$h_N(\text{mm})$	H^+vO	Cl	S04-S	NO3-N	P04-P	Ca	Mg	Na	K	NH4-N	Mn
1989	1516	0,78	3,3	14,6	8,4	0,09	6,3	1,0	5,8	2,9	10,9	0,1
1990	1378	0,53	2,6	11,2	6,2	0,02	4,2	1,0	5,4	2,0	7,4	0,0
1991	1399	0,59	1,6	10,8	7,3	0,02	4,3	0,7	4,2	2,0	8,3	0,0
1992	1548	0,71	0,8	9,7	7,3	0,01	3,6	0,5	4,6	2,0	8,8	0,1

Die Einträge steigen von der unteren Hanglage zur Hochlage deutlich an. Mit Ausnahme von freier Säure nimmt die Deposition mit dem Niederschlag während der vierjährigen Beobachtungsphase leicht ab. Für Schwefel beträgt der Rückgang von 1989 auf 1992 bei vergleichbaren Jahresniederschlägen ca. 34%. Dagegen bleibt der Stickstoffeintrag abgesehen von einem Maximum (1989: $19,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$) auf einem konstanten Niveau von ca. $15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$.

Die in Tab. 153 angegebenen Gebietsdepositionen werden dominiert von den Einträgen unter der vorherrschenden Baumart Fichte. Sie betragen ein Mehrfaches der Einträge auf den Freiflächen, bei freier Säure und Schwefel mehr als das Doppelte. Weniger ausgeprägt ist der Filtereffekt bei den Stickstoffverbindungen.

Tab. 153: Gebietsdeposition mit dem Bestandsniederschlag (ohne Stammabfluß) in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Jahr	$h_N(\text{mm})$	H^+vO	Cl	S04-S	NO3-N	P04-P	Ca	Mg	Na	K	NH4-N	Mn
1989	1170	1,37	9,0	31,7	12,0	0,09	15,0	2,5	7,8	16,8	10,5	1,1
1990	1049	1,24	10,7	21,2	11,4	0,03	10,9	2,1	8,7	13,5	9,5	0,8
1991	1127	1,28	7,9	26,8	11,4	0,06	12,4	2,2	7,0	16,7	7,7	1,0
1992	1294	1,32	7,7	24,0	11,3	0,12	12,8	2,2	6,8	18,4	9,6	1,0

Die stärkste Anreicherung bis zum 8- bis 10-fachen der Freilanddeposition erfahren Kalium und Mangan, die einer starken Kronenauswaschung unterliegen.

Der Stoffeintrag mit dem Stammabfluß in dem untersuchten Buchenbestand ist deutlich höher als in den Laubbeständen des Untersuchungsgebietes Metzenbach/Birkwasser (Tab. 154).

Tab. 154: Deposition mit dem Stammabfluß (StA) im Bestand 02 (Buche, alt) in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ und Anteil an der Bestandsdeposition in % (1989 - 1992)

	$h_N(\text{mm})$	H^+vO	Cl	$\text{SO}_4\text{-S}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	Ca	Mg	Na	K	$\text{NH}_4\text{-N}$	Mn
StA	132	0,07	0,22	1,6	0,8	0,02	0,7	0,2	0,5	2,2	0,9	0,4
%	9,2	11,6	6,3	12,1	9,1	7,8	8,8	10,7	8,9	15,6	11,3	8,0

Die mit dem Stammabfluß eingetragene Wassermenge beträgt im 4-jährigen Mittel ca. 9% des Bestandsniederschlags (Summe aus Kronentraufe und Stammabfluß). Je nach Substanz trägt der Stammabfluß mit 6 bis 16% zum Stoffeintrag mit der Bestandsdeposition bei.

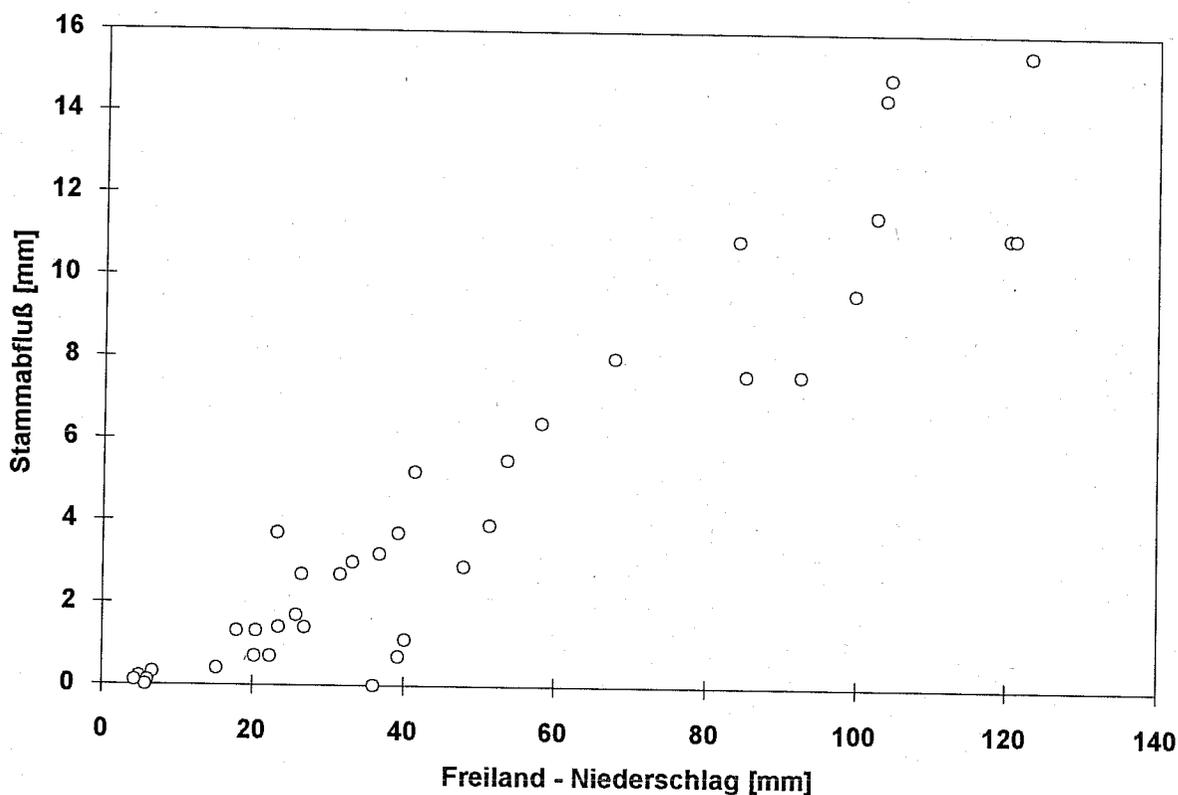


Abb. 40: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Stammabfluß in einem Buchenaltbestand im Untersuchungsgebiet Markungsgraben (1989 - 1992)

Der Zusammenhang zwischen Freilandniederschlag und Stammabfluß im Buchenbestand wird in Abb.40 deutlich. Die straffe Beziehung ($r = 0,94$) zwischen beiden Größen ist unter anderem auf die hohen Niederschläge im Gebiet zurückzuführen.

Im Freiland werden Spurenmetalle in der gleichen Größenordnung deponiert wie in den anderen Untersuchungsgebieten. Die in

Tab. 155: Deposition von Spurenmetallen im Freiland in $g \cdot ha^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Jahr	Fe	Al	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
1989	562	502	206	138	2	17	10
1990	204	121	138	53	1	2	7
1991	242	229	188	62	1	2	10
1992	215	36	142	47	1	3	6

Tab. 155 vorgestellten Daten sind Mittelwerte von mehreren Meßstellen der oberen Hanglage (900 m ü. NN) und der Hochlage (1300 m ü. NN). Tendenziell sind die Depositionen der Spurenmetalle in der Hochlage niedriger als in der Hanglage. Ursache dafür können Nahemissionen sein, die nicht so stark vertikal verfrachtet werden. Der Trend ist im Untersuchungszeitraum rückläufig. Im Jahr 1992 werden trotz der hohen Jahresniederschläge die niedrigsten Stoffeinträge der meisten untersuchten Elemente gemessen. Für den Parameter Blei zeichnet sich eine Verminderung der Depositionen ab. 1992 ist der Bleieintrag gegenüber 1989 um ca. 66% zurückgegangen.

4.5.2.3 Boden und tiefere Sickerzone

4.5.2.3.1 Standortbeschreibung

Die Standortkartierung unterscheidet drei Einheiten im Untersuchungsgebiet Markungsgraben:

- a) Fels- und Blockböden (Gebietsanteil: ca. 25%)
- b) Lehm Böden (Gebietsanteil: ca. 50%)
- c) Naßböden (Gebietsanteil: ca. 25%)

Die Fels- und Blockböden kommen an den steilen Hängen vor. Die Hohlräume zwischen dem Blockschutt sind zumeist mit Humus und mineralischem Feinmaterial gefüllt, teilweise sind Blöcke auch mit Rohhumuspolstern überzogen. Die Blockschüttung ist im allgemeinen zwischen 0,5 - 2,0 m mächtig. Die Versickerung findet in diesem Block- und Humusmosaik rasch und ungehindert statt. Bei den Lehm Böden herrscht der Bodentyp Braunerde vor. Verbreitungsschwerpunkte sind die unteren Tallagen, in denen die Ausbildung der Lockerbraunerden dominiert, sowie die Hochlagen. Ab einer Höhe von 1100 m ü. NN findet sich unter der Lehmschicht verfestigter Schutt, der zwar porenreich ist, aber eine wesentlich geringere Wasserleitfähigkeit besitzt als die darüber liegende Braunerde. Daher kommt es während Zeiten mit hohem Wasserangebot (z.B. im Herbst bei starken Niederschlägen oder während der Schneeschmelze im Frühjahr) zum Wasserstau über dem verfestigtem Schutt und zum Auftreten von Hangzugwasser. Naßböden haben sich entlang der Entwässerungsgräben gebildet. Sie untergliedern sich in mineralische Naßböden (Gleye) und Nieder- und Quellmoore, wobei die Moore von untergeordneter Bedeutung sind.

4.5.2.3.2 Sickerwasser

Von den drei seit 1989 im Untersuchungsgebiet Markungsgraben betriebenen Sickerwassermeßplätzen werden zwei benachbarte Standorte vorgestellt. Auf Meßfläche 01 stockt ein Fichten-Altbestand, auf 02 ein Buchen-Altbestand. Die Fichten im Bereich des Sickerwassermeßplatzes 01 sind seit 1990 infolge Borkenkäferbefall abgestorben. Es wurden Meßtiefen zwischen 0,5 m und 1,5 m erfaßt.

Die Meßfläche 01 befindet sich am südwest-exponierten Mittelhang des Hauptkammes in 970 m ü. NN. Das beprobte Sickerwasser entstammt dem ortstypischen Grundschutt, einer stark verdichteten, mäßig wasserdurchlässigen, sandig-grusigen und schluffreichen Deckschicht. Sie überlagert eine ca. 10 m mächtige Abfolge von feinkornreichen Glazial- und Periglazialbildungen über Gneiszersatz.

Der Gesamtlösungsinhalt des Sickerwassers beträgt im Mittel 1,2 bis 1,5 meq·l⁻¹. Aluminium erreicht ca. 50%, Calcium und Magnesium 20 - 30% der Kationensumme. Die Anionen werden zu ca. 60% von Nitrat und zu ca. 30% von Sulfat bestimmt.

Das Sickerwasser ist mindestens bis zur unteren Meßtiefe 1,5 m stark sauer mit mittleren pH-Werten von 4,1 - 4,4, Aluminiumkonzentrationen von 3 - 6 mg·l⁻¹ und Mangankonzentrationen von 0,3 - 0,6 mg·l⁻¹. Entsprechend hoch ist mit 91% die Aluminiumsättigung des Austauschers im Mineralboden (gemessen in 5 - 30 cm Tiefe, Bv-Horizont) bei pH(KCL)-Werten um 3,7. Für die Tiefe 1,5 m liegen keine Bodendaten vor.

Mittlere Nitratkonzentrationen von 10 - 40 mg·l⁻¹ in 0,5 m Tiefe sind das Ergebnis verstärkter Humusmineralisierung und schwächerer Nitrataufnahme nach Absterben der Borkenkäferbäume. Der nachlassende Wurzelwasserentzug wird durch sinkende Chloridkonzentrationen bestätigt. Die Sulfatkonzentrationen liegen bei 9 - 12 mg·l⁻¹.

Die Konzentrationsganglinien in 0,5 m Tiefe werden von der saisonalen Dynamik des Nitrats bestimmt (Abb. 41). Sie ist mit Einsetzen des Käferschadens im Jahr 1990 besonders ausgeprägt. Die Anreicherung der Lösung mit Nitrat bedingt eine äquivalente Kationenfreisetzung (vor allem von Aluminium). In 1,5 m Tiefe treten die saisonalen Konzentrationsschwankungen in abgeschwächter Form auf. Die Sulfat-Konzentrationen sind im 3-jährigen Beobachtungszeitraum relativ konstant bei ähnlichem Konzentrationsniveau in beiden Meßtiefen.

Die Sickerwassermeßstelle im Buchenbestand 02 liegt in vergleichbarer Höhenlage mit ähnlichen Standortbedingungen. Dennoch unterscheidet sich die Bodenlösung deutlich von der in den Fichtenbeständen.

Tab. 156: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe

Bayerischer Wald Sickerwasser		Markungsgraben Meßfläche: 01		Tiefe: 050cm		WMA: Passau Meßstelle: 2011050		TKZ5: 7046						
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	*****	*****	*****	4	pH VO	4,16	3,76	4,58	24	pH VO	4,39	3,85	4,83	18
pH Lab	*****	*****	*****	6	pH Lab	4,42	4,15	4,57	22	pH Lab	4,43	4,17	4,59	12
LF VO	***	***	*****	3	LF VO	80	108	58	3	LF VO	82	143	56	20,9773
LF Lab	***	***	*****	6	LF Lab	84	112	63	21	LF Lab	92	185	69	29,6369
S04	*****	*****	*****	6	S04	8,8	13,4	6,3	6	S04	12,1	15,7	8,8	1,6438
NO3	*****	*****	*****	6	NO3	21,8	38,0	11,0	23	NO3	38,3	59,0	9,8	15,0999
Cl	*****	*****	*****	6	Cl	2,4	4,4	1,5	23	Cl	1,6	2,7	1,0	0,4914
HCO3	*****	*****	*****	1	HCO3	2,2	2,4	1,8	5	HCO3	*****	*****	*****	*****
NO2	*****	*****	*****	6	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	6	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	*****
o-P04	*****	*****	*****	6	o-P04	n.n.	0,08	n.n.	6	o-P04	0,02	0,17	n.n.	0,0000
Ca	*****	*****	*****	6	Ca	3,1	5,1	1,8	23	Ca	3,2	4,2	2,1	0,5963
Mg	*****	*****	*****	6	Mg	0,9	1,7	0,4	24	Mg	1,4	2,3	1,0	0,3936
Na	*****	*****	*****	6	Na	0,9	1,6	0,1	24	Na	0,8	1,5	0,6	0,2576
K	*****	*****	*****	6	K	1,2	3,1	0,2	24	K	1,6	2,8	0,3	0,8515
NH4	*****	*****	*****	6	NH4	0,115	0,721	n.n.	24	NH4	0,059	0,283	n.n.	0,0783
Al	*****	*****	*****	6	Al	2,95	4,40	1,80	24	Al	5,55	9,20	2,50	1,9338
Fe	*****	*****	*****	6	Fe	0,02	0,06	n.n.	24	Fe	0,03	0,07	n.n.	0,0190
Mn	*****	*****	*****	6	Mn	0,53	0,80	0,38	24	Mn	0,62	0,81	0,42	0,1190
Pb	*****	*****	*****	3	Pb	0,001	0,002	n.n.	10	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0005
Cd	*****	*****	*****	3	Cd	0,0010	0,0011	0,0009	10	Cd	0,0009	0,0017	0,0006	0,0004
Cr	*****	*****	*****	6	Cr	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	*****
Zn	*****	*****	*****	6	Zn	0,06	0,15	n.n.	6	Zn	0,06	0,24	n.n.	0,0627
Ba	*****	*****	*****	6	Ba	0,08	0,10	0,07	6	Ba	0,05	0,17	n.n.	0,0627
TOC	*****	*****	*****	0	TOC	4,5	6,3	3,2	6	TOC	5,8	6,6	4,2	1,1314
SPAK254	*****	*****	*****	6	SPAK254	8,3	18,0	4,0	24	SPAK254	14,2	24,4	9,8	4,4684

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, K88,2 in mmol/l)

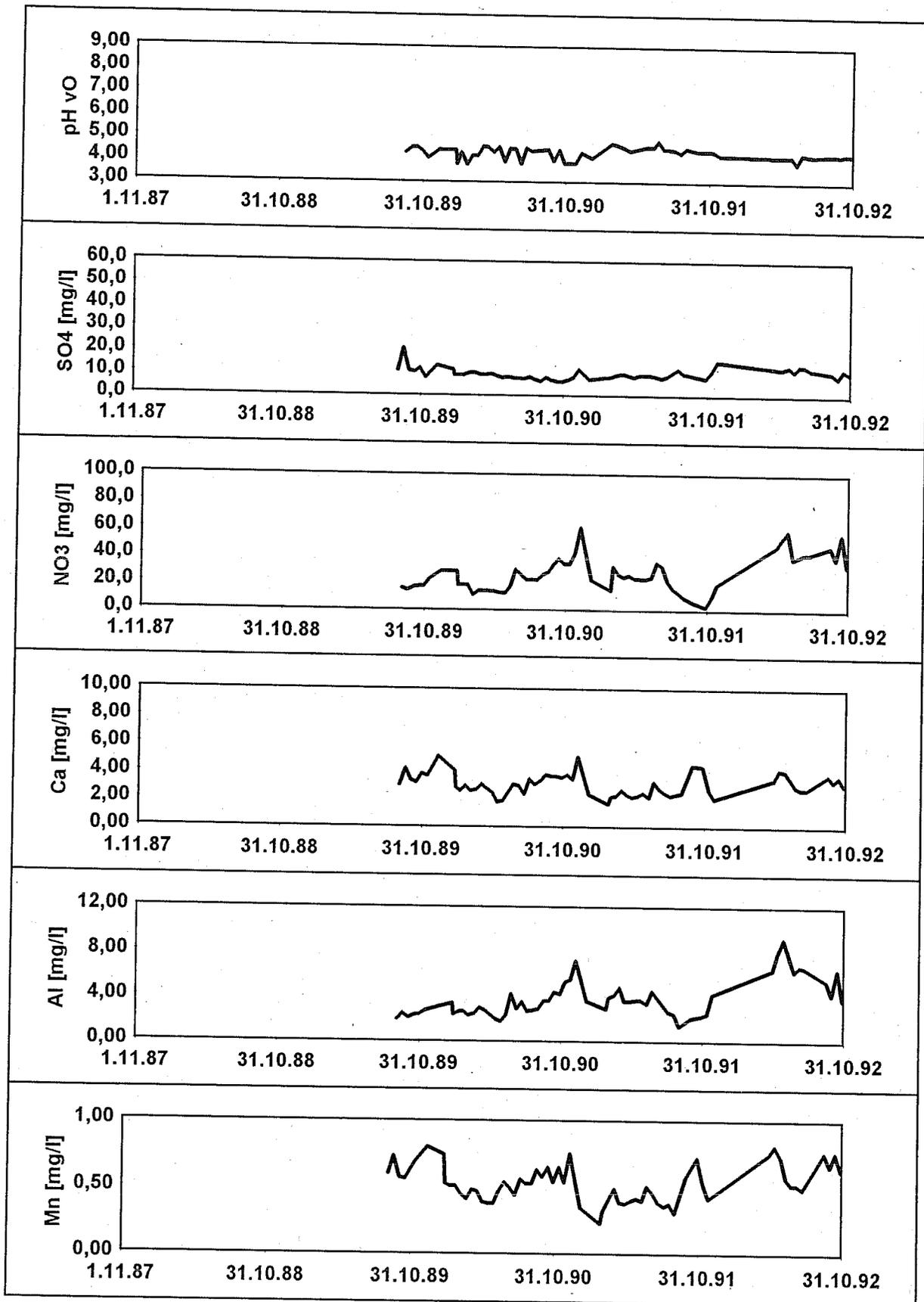


Abb. 41: Ganглиen ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe

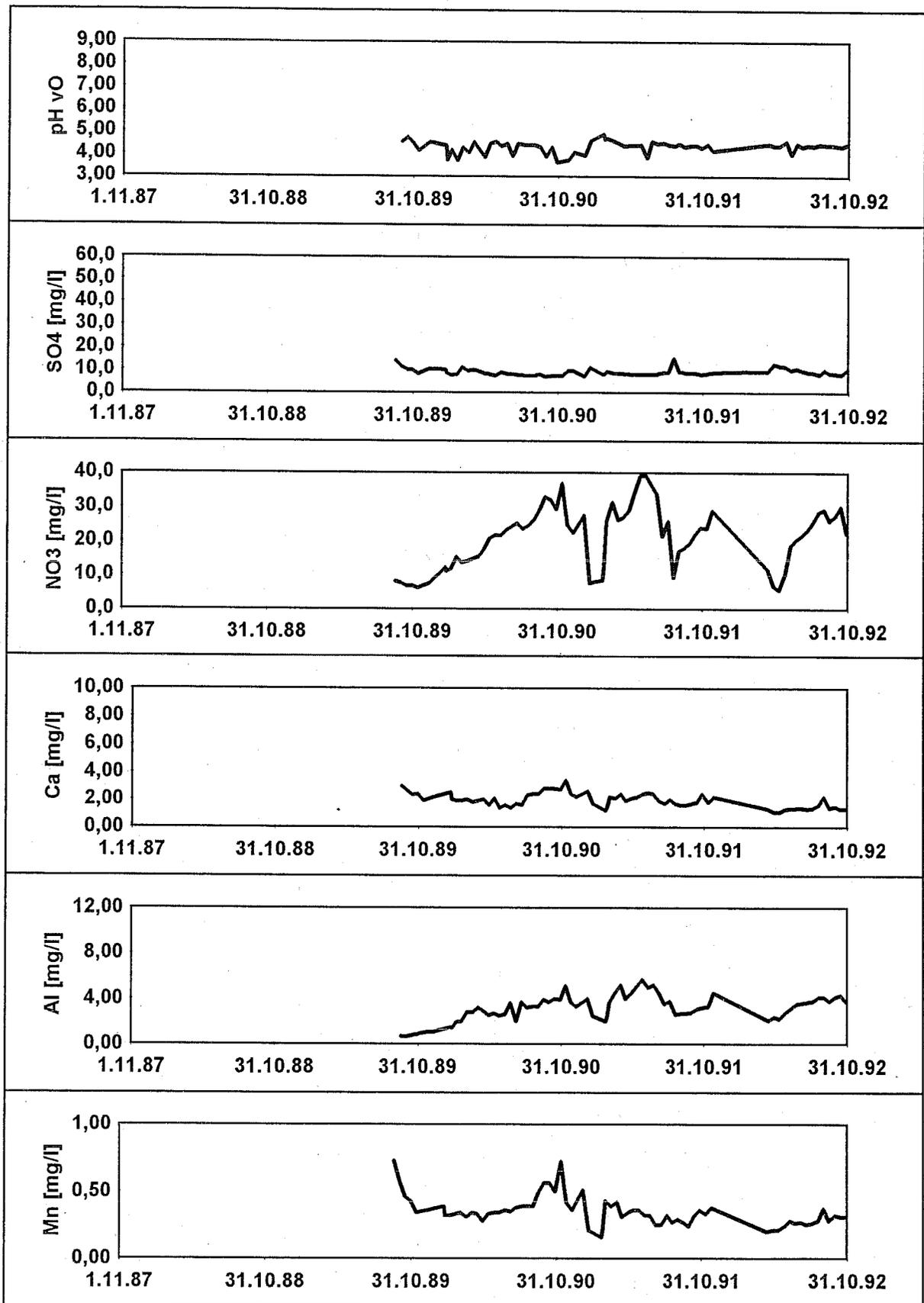


Abb. 42: Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 01, 150 cm

Tab. 159: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 02, 150cm Tiefe

Bayerischer Wald Sickerwasser		Markungsgraben Meßfläche: 02		Tiefe: 150cm		WHA: Passau Meßstelle: 2021150		TK25: 7046												
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992												
	MW	MAX	MIN	STD	n		MW	MAX	MIN	STD	n		MW	MAX	MIN	STD	n			
pH VO	*****	*****	*****	*****	4	pH VO	4,30	3,96	5,30	22	pH VO	4,55	3,82	5,29	20	pH VO	4,80	4,53	5,23	17
pH Lab	*****	*****	*****	*****	5	pH Lab	4,72	4,49	4,87	22	pH Lab	4,71	4,44	4,86	20	pH Lab	4,75	4,67	4,80	9
LF VO	***	***	***	*****	3	LF VO	29	32	27	1,2374	23	LF VO	27	34	19	LF VO	27	29	25	1,2583
LF Lab	***	***	***	*****	6	LF Lab	32	36	28	2,1424	20	LF Lab	30	37	27	LF Lab	29	33	27	2,0041
S04	*****	*****	*****	*****	5	S04	7,8	8,8	4,3	0,8876	23	S04	7,5	9,2	4,0	S04	7,1	8,2	6,0	0,6164
NO3	*****	*****	*****	*****	6	NO3	1,3	2,8	n.n.	0,8568	23	NO3	0,6	2,5	n.n.	NO3	0,8	1,7	n.n.	0,5354
Cl	*****	*****	*****	*****	6	Cl	0,8	1,4	n.n.	0,3090	22	Cl	0,6	1,6	n.n.	Cl	0,6	2,1	n.n.	0,5110
HCO3	*****	*****	*****	*****	3	HCO3	3,0	3,7	2,4	0,3717	8	HCO3	2,8	4,3	1,8	HCO3	3,1	3,7	2,4	0,3339
NO2	*****	*****	*****	*****	6	NO2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	23	NO2	n.n.	0,01	n.n.	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0033
o-P04	*****	*****	*****	*****	6	o-P04	0,02	0,05	n.n.	0,0164	6	o-P04	n.n.	0,03	n.n.	o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
Ca	*****	*****	*****	*****	6	Ca	0,6	1,2	0,4	0,1750	22	Ca	0,4	0,6	0,2	Ca	0,4	0,8	0,3	0,1767
Mg	*****	*****	*****	*****	6	Mg	0,2	0,3	n.n.	0,0742	23	Mg	0,2	0,2	0,1	Mg	0,2	0,4	0,1	0,0780
Na	*****	*****	*****	*****	6	Na	0,6	0,9	0,1	0,2248	24	Na	0,8	1,1	0,4	Na	0,9	1,9	0,7	0,2833
K	*****	*****	*****	*****	6	K	0,2	0,5	n.n.	0,1247	24	K	0,2	0,5	n.n.	K	0,2	0,4	n.n.	0,1231
NH4	*****	*****	*****	*****	6	NH4	0,062	0,155	n.n.	0,0574	6	NH4	0,010	0,028	n.n.	NH4	0,002	0,013	n.n.	0,0038
Al	*****	*****	*****	*****	6	Al	1,09	2,80	0,04	0,9114	6	Al	1,34	1,80	0,70	Al	1,17	1,70	0,53	0,3193
Fe	*****	*****	*****	*****	6	Fe	0,04	0,06	0,01	0,0206	6	Fe	0,01	0,04	n.n.	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0023
Mn	*****	*****	*****	*****	6	Mn	0,15	0,34	0,04	0,1086	6	Mn	0,02	0,03	0,01	Mn	0,02	0,03	0,01	0,0062
Pb	*****	*****	*****	*****	3	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0005	11	Pb	0,002	0,022	n.n.	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0005
Cd	*****	*****	*****	*****	3	Cd	0,0004	0,0006	0,0003	0,0001	11	Cd	0,0001	0,0002	n.n.	Cd	0,0002	0,0003	0,0002	0,0000
Cr	*****	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	Cr	*****	*****	*****	*****
Zn	*****	*****	*****	*****	6	Zn	0,04	0,17	n.n.	0,0602	6	Zn	0,05	0,35	n.n.	Zn	0,03	0,11	n.n.	0,0416
Ba	*****	*****	*****	*****	6	Ba	0,05	0,06	0,03	0,0107	6	Ba	0,02	0,04	0,01	Ba	0,02	0,03	0,02	0,0037
TOC	*****	*****	*****	*****	0	TOC	1,5	1,8	0,7	0,2645	19	TOC	1,9	2,7	1,5	TOC	1,9	4,1	1,3	0,7362
SPAK254	*****	*****	*****	*****	6	SPAK254	1,9	2,6	1,2	0,4110	6	SPAK254	7,6	12,4	3,0	SPAK254	3,4	5,2	2,6	0,6739

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, K88,2 in mmol/l)

Der Gesamtlösungsinhalt beträgt im Mittel 0,4 bis 0,6 meq·l⁻¹. Dementsprechend niedrig sind die Konzentrationen von Nitrat und Sulfat (Tab. 158). Dies läßt sich zum einen auf geringere Depositionsraten unter Buche zurückführen. Zum anderen hat der ungeschädigte Buchenbestand einen stabilen, weitgehend geschlossenen Stickstoff-Kreislauf, so daß Sulfat das bestimmende Anion in der Bodenlösung ist. Der mit den Anionen gekoppelte Kationenaustrag ist entsprechend gering. Mit der Tiefe verändert sich die Beschaffenheit des Sickerwassers kaum (Tab. 159).

4.5.2.3.3 Bodenchemie

Die vier untersuchten Bestände liegen im Bereich der vorherrschenden Standortseinheit der Lehmböden. Somit ist die Heterogenität der Böden im Einzugsgebiet nur unvollständig repräsentiert. Aufgrund der Eintragungssituation sind Unterschiede in der Versauerungsintensität des Bodens sowohl in Abhängigkeit von der Baumart (Buche-Fichte) als auch von der Höhenlage zu erwarten. Ein Höheneffekt läßt sich anhand der Daten aus den oberen Mineralbodenhorizonten jedoch nicht absichern. Unterschiedlich sind dagegen die Humusform und Auflagemächtigkeit. Während in den unteren Lagen unter Fichte 10 cm mächtiger Moder vorherrscht, hat sich unter der gleichen Baumart in den Hochlagen Rohhumus mit einer Mächtigkeit von 15 cm entwickelt. An der Hochlagenfläche 04 hat das rauhere und feuchtere Klima zur Entwicklung einer Podsol-Braunerde geführt.

Die Mächtigkeit einzelner Horizonte schwankt auch kleinräumig stark. Abb. 43 zeigt die Mächtigkeit der Auflagehorizonte und des Ah-Horizonts an den zwölf Probenahmepunkten einer Diagonalen über die Meßfläche 03.

Die Buchenfläche 02 weist in allen Horizonten um 0,1 - 0,2 Einheiten höhere Boden-pH-Werte auf als die Fichtenfläche 01 der gleichen Höhenlage. Absicherbar sind die Unterschiede aber nur für die Humusaufgabe. Hier sind die Austauscher der Fichten-

fläche deutlich stärker mit Protonen belegt (31% H-Sättigung) als die der Buchenfläche (21% H-Sättigung). Weitere Parameter der Austauschbelegung zeigen keine stärkere Versauerung unter der Fichte.

Die insgesamt geringfügigen Unterschiede zwischen den Böden der vier Untersuchungsflächen rechtfertigen eine Mittelung der Daten für die Darstellung (Tab. 160).

Mächtigkeit
in cm

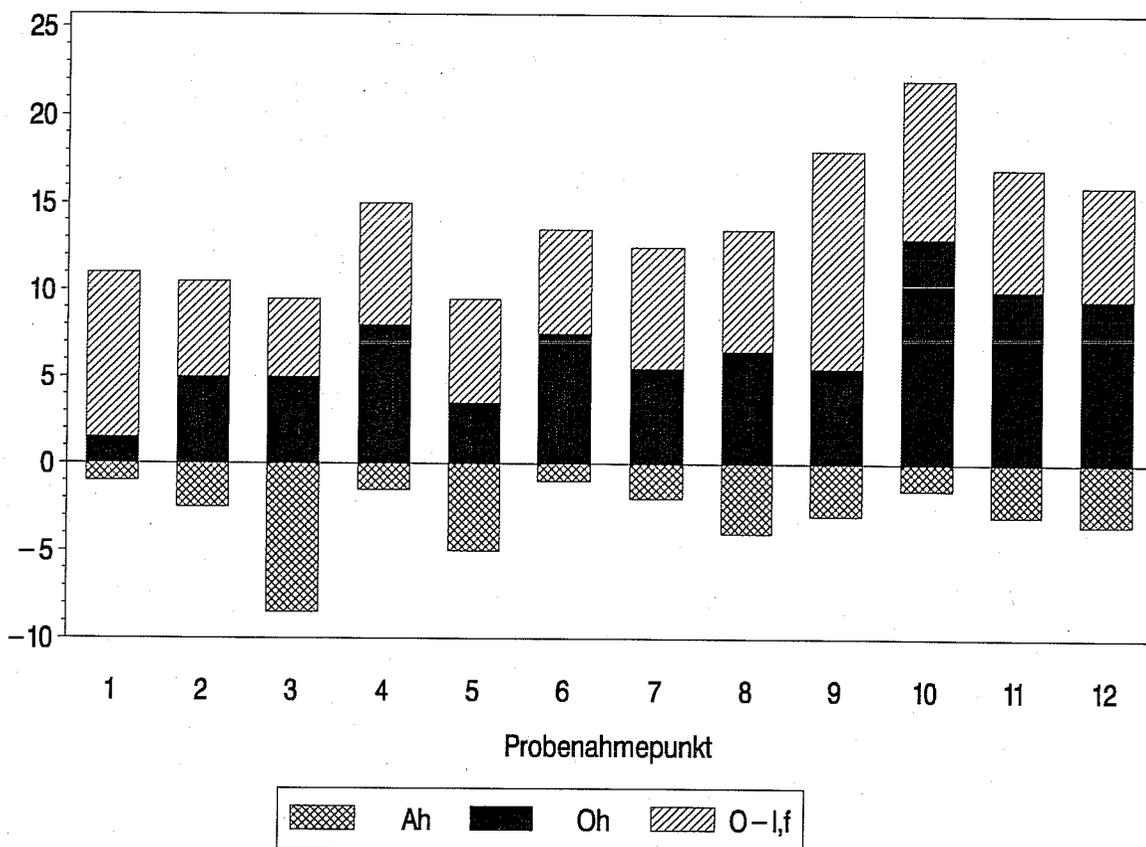


Abb. 43: Mächtigkeit der Humusauflage und des Ah-Horizontes an den 12 Probenahmepunkten, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßfläche 03

Tab. 160: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Markungsgraben										Mittel (n=4): 50 % Anteil an Gebiets- fläche		Boden	
Bayerischer Wald										Humusform: Moder bis Rohhumus			
Bodentyp: Braunerde bis Podsol-Braunerde													
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_p g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)		
0-1, f, h	12-0		31	0,20	37,27	1,55	24	124	3,68	2,93	2,99		
Ah(e)	0-5	tL - uIS	15	0,57	13,99	0,62	23	92	3,72	3,01	3,06		
B(s)v	-30 ⁺	utL	23	0,74	6,13	0,25	25	121	4,33	3,66	3,64		

Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %										AK _e mmol IÄ/kg		BS %
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn					
0-1, f, h	20	4	4	0	41	28	2	1		204	28		
Ah(e)	6	3	3	0	66	19	3	0		94	12		
B(s)v	2	2	2	1	87	4	1	1		70	7		

Horizont	Elementgesamtvorräte in kg/ha										
	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-1, f, h	127	167	164	183	19	1.630	1.621	27	2,2	9	2.423
Ah(e)	136	65	370	332	36	3.004	3.712	39	1,9	8	1.485
B(s)v	774	543	5.538	4.077	271	29.463	37.403	524	13,9	73	3.243
Summe	1.037	775	6.072	4.592	326	34.097	42.736	590	18,0	90	7.151

4.5.2.3.4 Bodenphysik

Die lehmigen Böden im Untersuchungsgebiet Markungsgraben weisen sehr hohe Luftkapazitäten und Gesamtporenvolumina im A- und B-Horizont auf. Wie im Untersuchungsgebiet Lehstenbach ist dies maßgeblich durch eine lockere Lagerung bedingt. Bemerkenswert sind die hohen Feinporengehalte im C-Horizont (14,9% in 1,5 m Tiefe), der dem Grundschutt zuzuordnen ist. Ursache dafür ist das aus dem glimmerreichen Gneis stammende lehmige Substrat und der hohe Verdichtungsgrad. Die Variabilität der bodenphysikalischen Parameter ist in den C-Horizonten wegen der vielfältigen pleistozänen Deckschichtbildungen im Untersuchungsgebiet (Grundschutt, Blockschutt, Solifluktionsschutt) erheblich.

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit k_f im Untersuchungsgebiet Markungsgraben beträgt im Mittel $5,7 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ im C-Horizont und ist damit deutlich geringer als im Untersuchungsgebiet Lehstenbach. Die Variabilität der k_f -Werte ist hoch.

Tab. 161: Bodenphysikalische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Markungsgraben (3 Profile)

Horizont und Statistik	Anzahl der Proben n	Feldfeuchte		Struktur		Porenverteilung				hydrologische Parameter			
		Wg [Vol.-%]		Volumen Trocken- substanz SV [Vol.-%]	Lage- rungs- dichte dB [g·cm ⁻³]	Gesamt- poren- volumen PV [Vol.-%]	weite Groporen sgPV [Vol.-%]	enge Groporen fgPV [Vol.-%]	Mittel- poren mpV [Vol.-%]	Feinporen fpV [Vol.-%]	Luft- kapazität LK [Vol.-%]	Feld- kapazität FK [Vol.-%]	nutzbare Feld- kapazität nFK [Vol.-%]
A	12												
MW		43,4		24,9	0,65	75,1	29,9	7,0	15,8	22,29	29,9	45,1	22,8
MAX		62,6		34,5	0,90	82,1	40,2	8,5	27,4	34,02	40,2	59,0	34,5
MIN		25,8		17,9	0,46	65,5	16,5	5,0	2,4	9,85	16,5	32,4	10,9
STD		12,0		5,3	0,14	5,3	8,1	1,1	7,3	7,48	8,1	6,6	7,5
B	11												
MW		42,3		29,1	0,77	70,9	31,3	4,6	11,1	23,89	31,3	39,6	15,7
MAX		55,9		45,3	1,20	79,6	44,7	7,9	20,5	28,73	44,7	49,5	28,4
MIN		23,8		20,4	0,54	54,7	18,2	2,7	3,8	18,64	18,2	25,2	6,6
STD		9,8		7,1	0,19	7,1	8,6	2,0	5,4	3,38	8,6	7,3	7,0
C	17												
MW		26,5		50,9	1,35	49,1	24,2	2,3	7,7	14,90	24,2	24,9	10,0
MAX		40,7		61,5	1,63	64,6	42,6	5,6	21,4	23,78	42,6	37,5	22,9
MIN		20,0		35,4	0,94	38,5	10,6	0,7	0,6	9,89	10,6	17,2	2,2
STD		5,6		8,5	0,23	8,5	9,1	1,3	4,8	4,23	9,1	4,9	5,0

4.5.2.4 Grundwasser und Quellen

Im Untersuchungsgebiet Markungsgraben wird das Grundwasser an zwei Beschaffenheitsmeßstellen in oberer Hanglage und zwei Quellaustritten beobachtet. Eine weitere Beschaffenheitsmeßstelle liegt in Tallage außerhalb des Einzugsgebietes. Die Flurabstände schwanken an den beiden hochgelegenen Meßpunkten zwischen 4 und 16 m, in Tallage zwischen 2,5 und 6,5 m. Das Abflußverhalten des Gebietes ist von einer lockeren Schicht über dem verfestigten Grundschutt geprägt, der bei hohem Wasserandrang stauend wirkt. Große Anteile von saurem Sickerwasser erreichen daher nicht den Grundwasserleiter, sondern fließen oberflächennah dem Bachlauf zu. Dies ist ein wesentlicher Grund für die schwächere Versauerung des Grundwassers im Vergleich zum oberirdischen Abfluß.

In Tab. 162 sind die Beschaffenheitsdaten für die beiden oberen Grundwassermeßstellen 01 und 02 zusammengestellt. Das Grundwasser ist als mäßig sauer einzustufen, wobei die pH-Werte im Meßzeitraum nicht unter 5,0 sinken. Entsprechend gering sind die Gehalte von Aluminium und Mangan. Bei hoher Grundwasserneubildung können diese Inhaltsstoffe aber regelmäßig im Grundwasser nachgewiesen werden (Abb. 44). Calcium und Natrium bestimmen mit zusammen über 50% die Kationensumme. Hauptanionen sind neben Hydrogencarbonat, das in Konzentrationen bis $11 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ vorliegt, mit etwa gleichen Äquivalentanteilen Sulfat und Nitrat. Das Grundwasser in Tallage (Meßstelle 21) zeigt mit Ausnahme deutlich geringerer Nitratkonzentrationen den gleichen Typus.

Die Qualität des Rohwassers einer Wasserversorgung südöstlich des Untersuchungsgebietes in vergleichbarer Hanglage geht aus Tab. 163 hervor. Das aus einer Quelle gespeiste Wasser weist einen etwas saureren Charakter auf als das Grundwasser im Einzugsgebiet Markungsgraben. Indizien dafür sind etwas niedrigere pH-Werte, verbunden mit geringeren Gehalten von Hydrogencarbonat und höheren Konzentrationen von Aluminium, Mangan und Sulfat.

Im Rohwasser werden die Grenzwerte der TrinkwV für Aluminium und Mangan regelmäßig überschritten. Die Nitratgehalte erreichen dagegen nur mittlere Werte von 4,7 bis 5,0 mg·l⁻¹.

Die beiden im Untersuchungsgebiet beobachteten Quellen unterscheiden sich im Grad ihrer Versauerung deutlich. Während die Quelle Diensthütte moderate Versauerungserscheinungen aufweist, liefert die Quelle 1 ein vergleichsweise stark saures Grundwasser (Tab. 164). Mittlere pH-Werte bis 4,7 gehen mit mittleren Aluminiumkonzentrationen von 0,3 bis 0,4 mg·l⁻¹ einher. In Einzelproben werden pH-Werte von annähernd 4,0 gemessen. Die Quelle entwässert im steilen mittleren Hangbereich mächtigere Blocklagen, die vermutlich auf dichten Grundschutt lagern. Dadurch gelangt bei Starkregen oder Schneeschmelzen sehr rasch saures Sickerwasser in das oberflächennahe Grundwasserreservoir der Quelle. Die Ganglinien der Parameter pH-Wert, Aluminium, Mangan und Sulfat sind geprägt von Versauerungsschüben und Erholungsphasen während Trockenwetterphasen (Abb. 45). Relativ hohe Nitratkonzentrationen bis über 12 mg·l⁻¹ lassen eine starke Stickstoffumsetzung im Einzugsgebiet der Quelle vermuten.

Bei den Nitratkonzentrationen des Grundwassers deutet sich ein Höhengradient an. Sie nehmen von ca. 10 mg·l⁻¹ an der Quelle 1 über ca. 6 mg·l⁻¹ an den beiden oberen Grundwassermeßstellen und 5 mg·l⁻¹ an der Quelle Diensthütte bis zu ca. 3 mg·l⁻¹ im Grundwasser der Tallage ab. Denkbar sind Zusammenhänge mit dem Höhengradienten der Stickstoffdeposition sowie dem höheren Schädigungsgrad der Bestände in der Hochlage (vgl. Tab. 148).

Tab. 162: Beschaffenheitsdaten des Grundwassers, Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Bayerischer Wald Grundwasser		Markungsgraben (2 Meßstellen)		TK25: 7046		WHA: Passau																				
Hydrolog. Jahr: 1988				1989				1990				1991				1992										
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n		
pH VO	5,61	5,50	5,86	4	pH VO	5,39	5,07	6,22	12	pH VO	5,57	5,34	5,93	12	pH VO	5,49	5,18	5,94	13	pH VO	5,58	5,27	6,00	11		
pH Lab	6,09	5,80	6,60	4	pH Lab	5,80	5,60	6,10	14	pH Lab	5,86	5,71	6,09	14	pH Lab	5,77	5,49	6,19	14	pH Lab	5,81	5,56	6,06	12		
LF VO	32	33	31	0,7071	4	LF VO	31	35	20	LF VO	34	37	30	1,8181	LF VO	32	35	28	1,9859	LF VO	31	36	25	2,6286		
LF Lab	38	42	40	4,5000	2	LF Lab	32	41	22	LF Lab	37	42	32	2,8633	LF Lab	36	36	28	2,0504	LF Lab	32	36	25	2,6810		
O2	10,7	10,7	10,6	0,0500	2	O2	10,2	11,0	9,2	0,5768	7	O2	10,9	11,8	10,4	0,4336	O2	11,9	13,6	10,1	0,0752	O2	11,3	14,0	9,8	1,1734
Temp VO	5,6	5,6	5,6	0,0000	2	Temp VO	5,5	7,4	4,1	0,9684	13	Temp VO	7,2	7,9	6,3	0,5871	Temp VO	5,1	6,8	2,1	1,2569	Temp VO	5,7	8,3	4,6	1,1376
SO4	4,5	5,8	2,4	1,2872	4	SO4	3,7	5,3	1,9	1,1288	14	SO4	4,5	5,6	3,0	0,9026	SO4	3,7	5,1	2,1	1,1062	SO4	3,8	5,5	2,1	1,0634
NO3	6,0	6,4	5,4	0,3571	4	NO3	6,1	7,2	3,9	0,7156	14	NO3	6,3	6,6	5,7	0,3083	NO3	6,2	7,5	5,3	0,5374	NO3	5,5	6,8	4,6	0,6885
Cl	0,9	1,5	0,7	0,3345	4	Cl	1,1	2,0	0,7	0,3900	14	Cl	1,1	1,4	0,7	0,1814	Cl	0,7	1,1	0,5	0,1630	Cl	0,7	0,9	n.n.	0,2211
HCO3	8,8	10,4	7,9	0,0150	4	HCO3	7,4	9,8	5,5	0,0245	14	HCO3	8,0	10,4	6,1	0,0215	HCO3	6,6	8,5	4,9	0,0226	HCO3	7,4	11,0	5,5	0,0278
NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0046	4	NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0049	14	NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0049	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0043	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0039
o-P04	0,03	0,06	n.n.	0,0275	4	o-P04	0,01	0,06	n.n.	0,0196	13	o-P04	0,02	0,06	n.n.	0,0208	o-P04	0,02	0,07	n.n.	0,0256	o-P04	0,01	0,05	n.n.	0,0191
Ca	2,4	2,9	1,8	0,4221	4	Ca	2,7	3,7	1,6	0,4492	14	Ca	2,5	3,2	2,1	0,3620	Ca	2,7	3,2	2,1	0,3411	Ca	2,5	2,8	1,9	0,2326
Mg	0,6	0,7	0,6	0,0482	4	Mg	0,6	0,7	0,4	0,0869	14	Mg	0,6	0,7	0,5	0,0725	Mg	0,6	0,7	0,5	0,0674	Mg	0,6	0,6	0,4	0,0646
Na	2,1	3,0	1,4	0,6225	4	Na	2,1	4,3	0,6	1,0452	14	Na	3,3	4,6	1,9	0,9038	Na	2,0	4,4	1,3	0,7962	Na	2,0	2,9	1,5	0,4291
K	0,4	0,6	n.n.	0,2278	4	K	0,8	2,0	0,1	0,5204	14	K	0,1	0,5	n.n.	0,1312	K	0,4	0,6	n.n.	0,1532	K	0,5	0,6	0,3	0,0862
NH4	0,065	0,129	0,013	0,0502	4	NH4	0,034	0,116	n.n.	0,0331	12	NH4	0,058	0,202	0,013	0,0496	NH4	0,011	0,059	n.n.	0,0158	NH4	0,012	0,052	n.n.	0,0169
Al	0,09	0,19	n.n.	0,0835	4	Al	0,04	0,07	n.n.	0,0195	14	Al	0,03	0,07	n.n.	0,0259	Al	0,03	0,15	n.n.	0,0436	Al	0,02	0,06	n.n.	0,0261
Fe	0,02	0,06	n.n.	0,0260	4	Fe	0,02	0,05	0,01	0,0120	14	Fe	0,03	0,09	n.n.	0,0272	Fe	0,02	0,06	n.n.	0,0174	Fe	n.n.	0,02	n.n.	0,0076
Mn	n.n.	0,01	n.n.	0,0043	4	Mn	0,01	0,04	n.n.	0,0106	14	Mn	n.n.	0,02	n.n.	0,0049	Mn	n.n.	0,02	n.n.	0,0061	Mn	n.n.	0,02	n.n.	0,0064
Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0005	4	Pb	0,001	0,010	n.n.	0,0025	13	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Pb	n.n.	0,002	n.n.	0,0006
Cd	n.n.	0,0001	n.n.	0,0001	4	Cd	0,0009	0,0026	n.n.	0,0008	12	Cd	0,0005	0,0019	0,0001	0,0005	Cd	0,0002	0,0006	n.n.	0,0002	Cd	n.n.	0,0001	n.n.	0,0000
Cr	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2	Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0005	10	Cr	*****	*****	*****	*****	Cr	*****	*****	*****	*****	Cr	*****	*****	*****	*****
Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	6	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Hg	*****	*****	*****	*****	Hg	*****	*****	*****	*****
Zn	0,03	0,04	n.n.	0,0166	4	Zn	0,05	0,17	n.n.	0,0484	14	Zn	0,09	0,17	0,04	0,0340	Zn	0,02	0,06	n.n.	0,0194	Zn	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
Ba	0,05	0,08	0,01	0,0327	4	Ba	0,06	0,14	0,01	0,0461	14	Ba	0,08	0,12	0,05	0,0172	Ba	0,03	0,10	n.n.	0,0284	Ba	0,03	0,11	0,01	0,0283
TOC	1,9	3,2	0,6	0,9984	4	TOC	2,2	5,5	1,0	1,2818	12	TOC	3,0	9,3	0,5	3,2358	TOC	1,4	3,5	0,5	0,7429	TOC	2,1	12,0	0,6	3,0360
SPAK254	1,0	2,4	0,2	0,8646	4	SPAK254	0,5	1,0	n.n.	0,3955	12	SPAK254	0,7	1,6	0,2	0,3873	SPAK254	1,2	2,4	n.n.	0,7520	SPAK254	0,8	1,6	0,4	0,3516
S102	8,1	9,5	6,6	1,4500	2	S102	7,4	9,3	5,7	1,3877	12	S102	7,9	10,1	5,5	1,4533	S102	8,0	10,4	5,8	1,9959	S102	6,6	9,9	0,8	2,8043
KBB,2	0,6	0,6	0,5	0,0350	2	KBB,2	0,4	0,5	0,2	0,0782	14	KBB,2	0,4	0,6	0,4	0,0545	KBB,2	0,4	0,4	0,3	0,0252	KBB,2	0,4	0,4	0,2	0,0592

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KBB,2 in mmol/l)

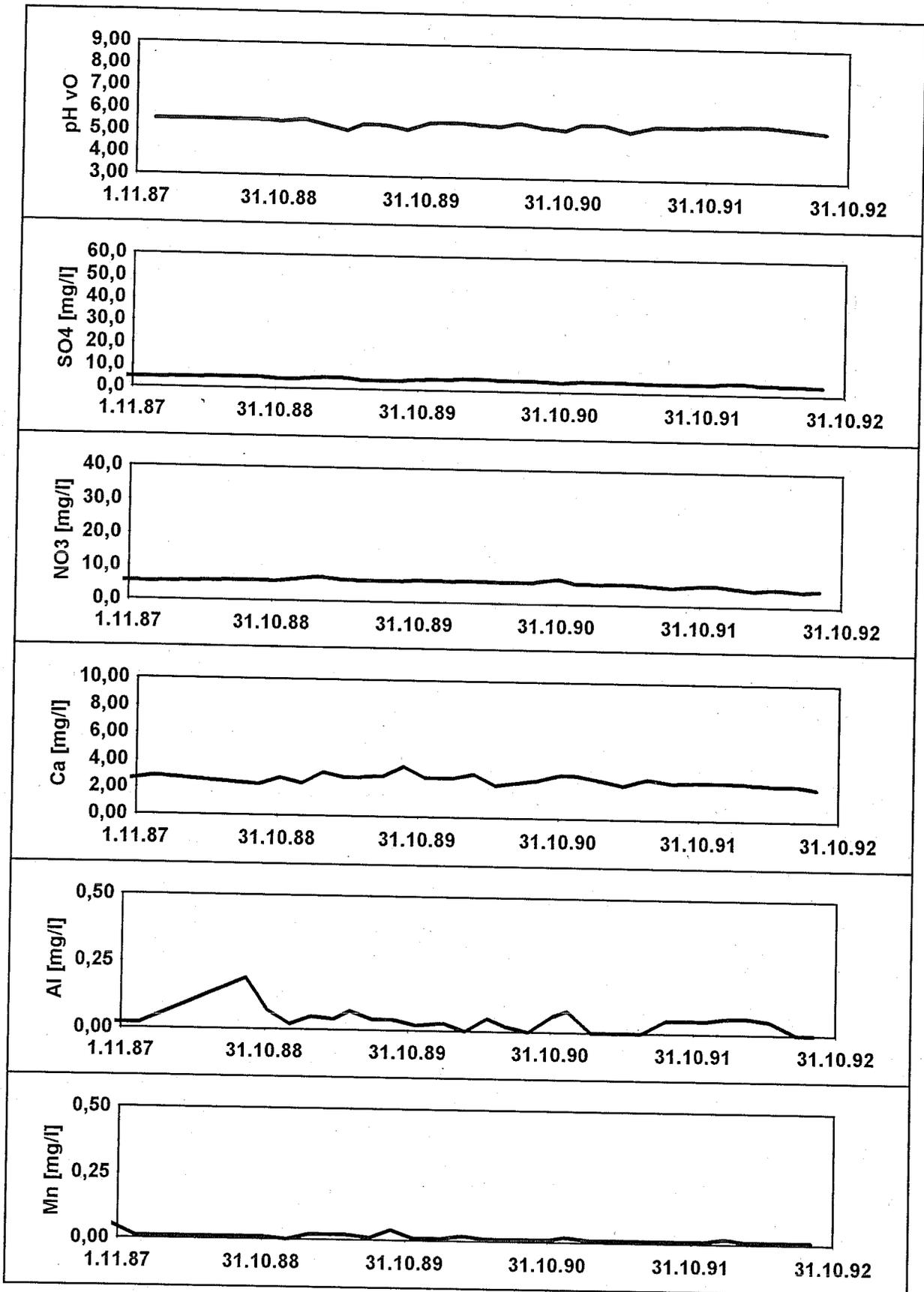


Abb. 44: Ganglinien ausgewählter Parameter im Grundwasser, Untersuchungsgebiet Markungsgraben, Meßstelle 01

Tab. 164: Beschaffenheitsdaten der Quelle 1

Bayerischer Wald		Markungsgraben		Quelle 1		WMA: Passau		TK25: 7046							
Quellwasser		Messpunkt: 32				Messstelle: 2323600									
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992							
	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH v0	5,36	5,30	5,40		3	4,75	4,10	5,47		25	4,94	4,11	5,60		28
pH Lab	5,19	5,10	5,30		6	5,13	4,85	5,58		24	5,08	4,71	5,57		21
LF v0	36	36	36	1,3212	26	41	45	38	1,3514	24	40	43	38	1,2495	28
LF Lab	33	36	32	1,7321	4	39	43	4	7,2084	26	41	47	39	1,4731	23
O2	10,3	10,5	10,0	2,0254	25	10,2	11,1	9,0	0,4847	25	10,2	11,1	9,0	0,4847	25
Temp v0	4,8	4,9	4,6	0,1247	3	4,4	6,4	1,9	0,8060	25	4,4	6,4	1,9	0,8060	25
S04	5,2	6,3	2,3	1,3312	6	5,3	7,4	4,4	0,6040	26	5,3	6,1	4,7	0,3730	23
NO3	7,6	8,1	6,3	0,5944	6	10,3	12,3	9,2	0,5600	23	10,3	12,3	9,2	0,5600	23
Cl	0,8	0,9	0,7	0,0687	6	0,9	1,3	0,6	0,1802	24	0,9	1,3	0,6	0,1802	24
HCO3	3,9	4,3	3,1	0,4547	6	3,7	5,5	2,4	0,8323	22	3,7	5,5	2,4	0,8323	22
NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0082	4	n.n.	0,01	n.n.	0,0035	24	n.n.	0,03	n.n.	0,0060	28
o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	6	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	24	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	28
Ca	2,9	3,4	2,5	0,2585	6	3,2	3,8	2,5	0,2458	24	3,2	3,8	2,5	0,2458	24
Mg	0,5	0,6	0,4	0,0488	6	0,6	0,7	0,5	0,0571	24	0,6	0,7	0,5	0,0571	24
Na	1,8	2,7	1,3	0,4670	6	1,7	2,4	1,5	0,2051	24	1,7	2,4	1,5	0,2051	24
K	0,5	0,8	0,1	0,2482	5	0,6	0,8	0,6	0,0624	24	0,6	0,8	0,6	0,0624	24
NH4	0,029	0,071	n.n.	0,0252	6	0,025	0,097	n.n.	0,0260	26	0,015	0,041	n.n.	0,0107	24
Al	0,24	0,38	0,03	0,1112	6	0,22	0,59	n.n.	0,1467	26	0,29	0,65	0,07	0,1456	25
Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	6	n.n.	0,05	n.n.	0,0115	26	n.n.	0,01	n.n.	0,0028	24
Mn	0,02	0,03	n.n.	0,0125	6	0,03	0,17	n.n.	0,0296	26	0,02	0,04	0,01	0,0072	24
Pb	0,001	0,002	n.n.	0,0006	6	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	26	n.n.	0,002	n.n.	0,0006	23
Cd	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000	4	0,0002	0,0012	n.n.	0,0002	26	n.n.	0,002	n.n.	0,0001	23
Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0005	5	*****	*****	*****	*****	0	*****	*****	*****	*****	0
Zn	n.n.	0,02	n.n.	0,0076	6	n.n.	0,05	n.n.	0,0122	25	n.n.	0,03	n.n.	0,0071	24
Ba	0,04	0,05	0,02	0,0096	6	0,05	0,09	0,03	0,0117	26	0,05	0,06	0,03	0,0068	24
TOC	1,7	2,1	1,0	0,4967	3	1,0	2,6	0,3	0,5552	23	1,0	2,6	0,3	0,5552	23
SPAK254	1,0	2,6	0,2	0,7572	6	2,8	18,2	0,8	3,4475	24	2,8	18,2	0,8	3,4475	24
S102	6,2	6,4	6,0	0,1785	4	6,0	8,1	0,4	1,6662	24	6,0	8,1	0,4	1,6662	24

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KB8,2 in mmol/l)

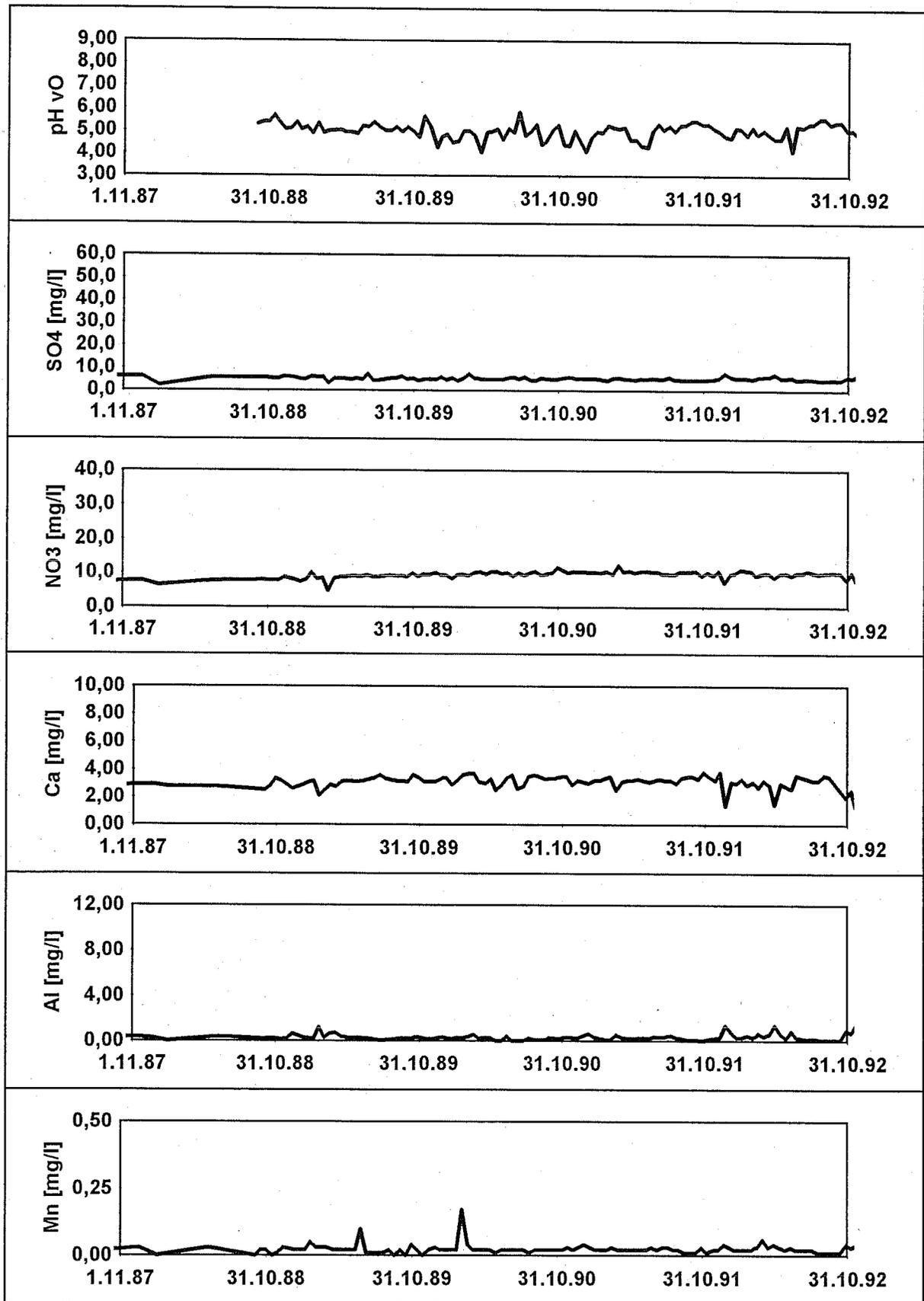


Abb.45: Ganglinien ausgewählter Parameter der Quelle 1, Untersuchungsgebiet Markungsgraben

4.5.2.5 Oberirdische Gewässer

4.5.2.5.1 Gewässerchemie und Stoffaustrag

Der Abfluß im Untersuchungsgebiet Markungsgraben bewegt sich zwischen 6 und 600 l·s⁻¹. Charakteristisch für die Abflußganglinie sind anhaltend hohe Pegelstände während der Schneeschmelze und kurzfristige Spitzen infolge sommerlicher Starkniederschläge.

Tab. 165: Hauptzahlen des Abflusses [l·s⁻¹] und Jahresabflußhöhe h_A [mm] am Pegel Markungsgraben

Jahr	NQ	MQ	HQ	HSP	h _A
1989	7,6	39,1	191,0	250 (5.4.)	1066
1990	9,9	33,4	203,8	342 (22.9.)	916
1991	9,7	35,9	342,1	613(18.11.)	985
1992	9,1	35,6	339,2	542 (29.4.)	978

Der Abfluß reagiert sehr schnell auf Niederschlagsereignisse, da das Gelände eine hohe Reliefenergie aufweist und ein Großteil des Wassers oberhalb der dichten Basisfolge abfließt. Aufgrund der hohen Gebietsniederschläge ist der Bodenwasserspeicher auch im Sommer meist gut gefüllt. Das Verhältnis von Jahresabfluß zu Jahresniederschlag ist daher mit 0,6 - 0,7 sehr hoch.

Der Gesamtlösungsinhalt des Abflusses am Markungsgraben ist mit el. Leitfähigkeiten von 25 bis 30 µS·cm⁻¹ äußerst gering. Abflußchemie und Versauerungsgrad variieren sowohl zeitlich als auch räumlich. So zeigt die in mittlerer Hanglage gelegene Meßstelle 44 (970 m ü. NN) ganzjährig eine stärkere Versauerung als die Meßstelle am Gebietspegel. Dies ist auf den Zustrom von versauertem, oberflächennah gebildetem Sicker- und Grundwasser zurückzuführen, das auch die in der Nähe befindliche Quelle 1 speist. Bei hohen Abflüssen werden pH-Werte bis deutlich unter 4,0 gemessen. Im Jahresmittel weist diese Meßstelle pH-Werte von 4,2 - 4,4, Aluminiumkonzentrationen von 0,39 - 0,50 mg·l⁻¹ und Sul-

fatkonzentrationen von 4,1 - 4,9 mg·l⁻¹ auf. An der Meßstelle Pegel Markungsgraben betragen die pH-Werte 4,7 - 5,0. Die Aluminium- und Sulfatkonzentrationen bewegen sich zwischen 0,19 und 0,30 mg·l⁻¹ bzw. 3,9 und 4,4 mg·l⁻¹ (Tab. 167).

Starke Saisonalität wird anhand der Zeitverläufe einiger Parameter in Abb. 46 deutlich. Die zwischen 3,7 und 10,3 mg·l⁻¹ schwankenden Nitratkonzentrationen erreichen während der Grundwasserneubildung ihre Maxima und sinken im Sommer und Herbst auf niedrige Werte. Kurzfristige Abflußzunahmen (Schneesmelze, Starkniederschläge) bewirken einen Anstieg der Sulfat- und Aluminiumkonzentrationen, während der pH-Wert sinkt.

Trotz geringer Stoffkonzentrationen sind die Stoffausträge aufgrund der hohen Abflußhöhen von 900 bis 1100 mm·a⁻¹ beträchtlich (Tab. 166).

Tab. 166: Stoffaustrag mit dem oberirdischen Abfluß am Pegel Markungsgraben in kg·ha⁻¹ (H⁺ vO in g·ha⁻¹)

Jahr	H ⁺ vO	Cl	SO4-S	NO3-N	HCO3	Ca	Mg	Na	K	NH4-N	Mn	Al
1989	0,209	6,7	17,1	17,2	3,1	23,2	5,3	17,3	4,7	0,34	0,31	4,40
1990	0,139	7,1	13,6	14,1	3,6	19,5	4,6	15,3	3,3	0,14	0,23	2,81
1991	0,183	6,9	15,2	15,4	3,5	21,1	4,6	16,2	4,5	0,20	0,27	3,82

Erheblich ist der Austrag von Stickstoff mit 14 - 17 kg·ha⁻¹·a⁻¹. Das Gebiet nähert sich damit dem Zustand der Stickstoffsättigung, da der Austrag etwa 70 - 80% des mit dem Bestandsniederschlag eingetragenen Stickstoffs beträgt. Die Unterschiede der jährlichen Austräge lassen sich im dreijährigen Beobachtungszeitraum in erster Näherung auf die Veränderung der Abflußmengen zurückführen.

Tab. 167: Beschaffenheitsdaten des oberirdischen Abflusses am Pegel Markungsgrabens

Bayerischer Wald Oberird. Gewässer		Markungsgraben Meßpunkt: 41		Markungsgraben Pegel		WMA: Passau Meßstelle: 2414000		TK25: 7046							
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992							
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	
pH VO	5,82	7,4	3,3	3	pH VO	4,77	4,10	6,49	27	pH VO	4,74	3,91	6,36	28	
pH Lab	5,11	4,80	5,70	7	pH Lab	5,19	4,66	6,14	27	pH Lab	5,15	4,58	6,08	27	
LF VO	24	25	24	0,4714	3	LF VO	28	38	3,8059	26	LF VO	28	40	20	
LF Lab	25	31	22	3,4911	4	LF Lab	30	42	3,9621	27	LF Lab	29	42	23	
O2	10,3	11,2	9,8	0,6182	3	O2	10,7	12,4	8,1	25	O2	10,9	12,2	9,5	
Temp VO	5,9	8,0	2,7	2,2838	3	Temp VO	4,8	9,7	0,0	26	Temp VO	5,6	12,2	0,0	28
SO4	4,4	7,4	3,3	1,3254	7	SO4	3,9	5,7	2,6	27	SO4	3,9	5,6	2,6	28
NO3	6,3	7,2	5,4	0,5792	7	NO3	6,5	7,9	4,4	27	NO3	6,6	10,3	3,7	28
Cl	0,9	1,1	0,7	0,1355	7	Cl	0,7	1,1	n.n.	27	Cl	0,7	1,2	n.n.	28
HCO3	3,2	4,3	2,4	0,7080	7	HCO3	3,5	5,5	1,8	22	HCO3	3,6	5,5	2,4	22
NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0085	5	NO2	n.n.	0,05	n.n.	27	NO2	n.n.	0,01	n.n.	27
o-P04	n.n.	0,01	n.n.	0,0042	7	o-P04	n.n.	0,03	n.n.	27	o-P04	n.n.	0,04	n.n.	27
Ca	2,1	2,8	1,5	0,4487	8	Ca	2,1	3,2	1,4	24	Ca	2,1	2,8	1,6	28
Mg	0,5	0,6	0,4	0,0752	8	Mg	0,5	0,6	0,4	24	Mg	0,5	0,6	0,3	28
Na	1,9	2,9	1,2	0,5095	7	Na	1,7	2,4	0,9	27	Na	1,8	2,4	1,0	28
K	0,5	0,9	n.n.	0,2853	6	K	0,3	0,5	n.n.	27	K	0,4	0,6	0,2	27
NH4	0,035	0,068	n.n.	0,0254	7	NH4	0,022	0,077	n.n.	27	NH4	0,029	0,111	n.n.	27
Al	0,23	0,55	0,09	0,1676	8	Al	0,19	1,00	0,02	27	Al	0,20	0,87	n.n.	28
Fe	n.n.	0,02	n.n.	0,0066	8	Fe	n.n.	0,05	n.n.	26	Fe	n.n.	0,03	n.n.	26
Mn	0,03	0,06	0,01	0,0150	8	Mn	0,02	0,05	n.n.	26	Mn	0,02	0,05	n.n.	28
Pb	0,001	0,002	n.n.	0,0006	8	Pb	n.n.	0,007	n.n.	27	Pb	n.n.	0,005	n.n.	28
Cd	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000	4	Cd	0,0001	0,0014	n.n.	27	Cd	0,0001	0,0008	n.n.	28
Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	7	Cr	n.n.	0,0000	0,0000	16	Cr	n.n.	0,0000	0,0000	28
Zn	0,01	0,03	n.n.	0,0105	8	Zn	0,01	0,12	n.n.	26	Zn	0,01	0,06	n.n.	28
Ba	0,02	0,03	0,01	0,0071	8	Ba	0,02	0,03	0,01	26	Ba	0,02	0,03	0,01	28
TOC	2,0	2,5	1,5	0,4110	3	TOC	2,2	4,0	1,3	26	TOC	2,1	5,8	1,3	26
SPAK254	4,0	5,6	3,0	0,7741	7	SPAK254	4,7	7,0	1,2	26	SPAK254	13,4	54,0	2,6	27
S102	7,1	8,2	5,7	1,1218	5	S102	6,7	11,0	0,9	25	S102	6,3	9,2	n.n.	27

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, K88.2 in mmol/l)

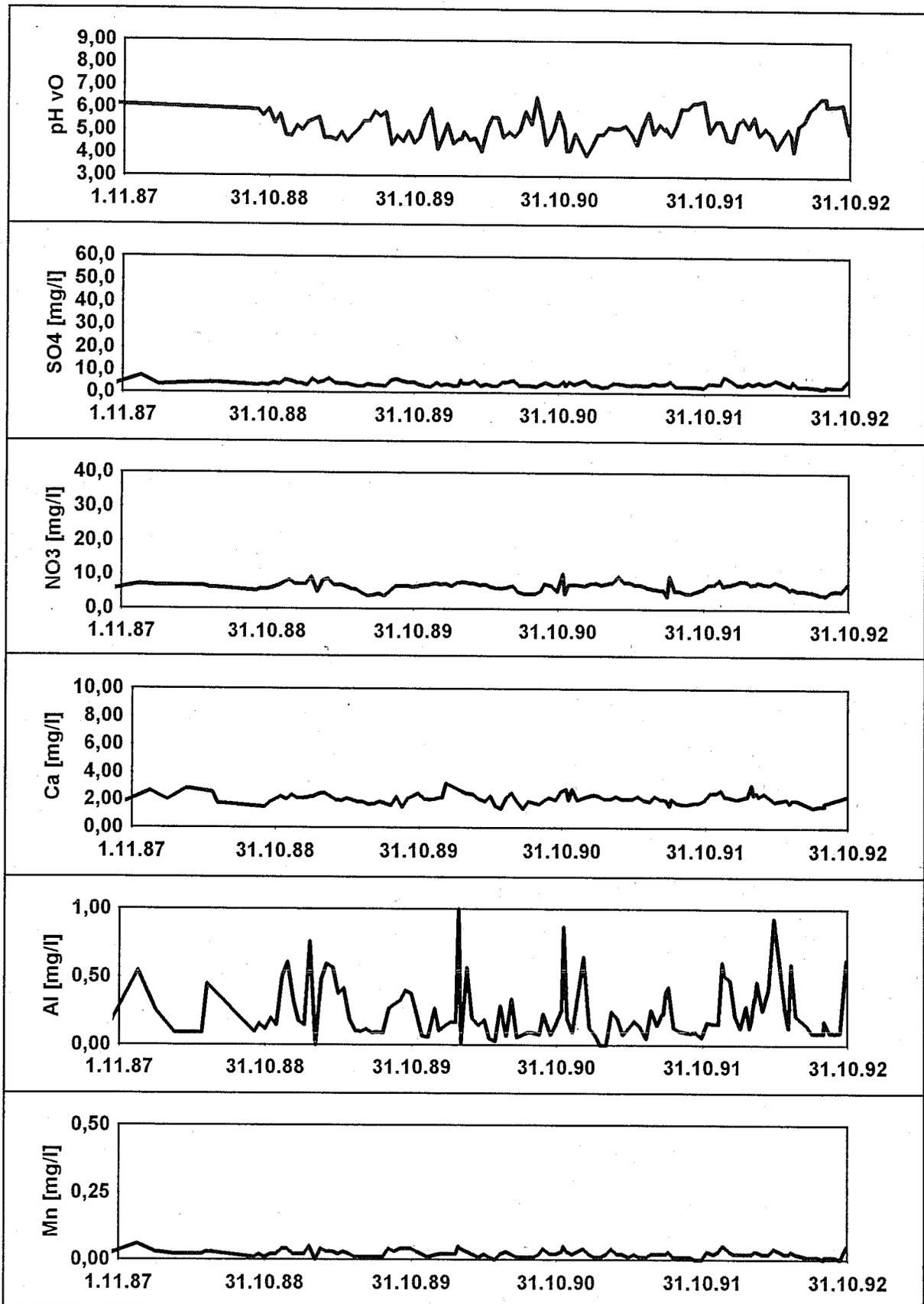


Abb. 46: Ganglinien ausgewählter Parameter am Pegel Markungsgraben

4.5.2.5.2 Kieselalgen

Hinsichtlich der gefundenen Artenzahl nimmt das Gebiet Markungsgraben im Gebietsvergleich eine mittlere Stellung ein. Die auftretenden Diatomeen-Arten zeichnen sich durch mäßige bis hohe Toleranz gegenüber Wasserstoffionen und schwache Toleranz gegenüber Aluminium aus.

Tab. 168: Gewässerversauerung aufgrund des Diatomeen-Toleranzstufen-Systems, Untersuchungsgebiet Markungsgraben

Meßpunkt	TS _{pH}	TS _{Al}	TS _{SO₄}
Markungsgraben Hochfilz	2,1	3,1	3,1
Markungsgraben B1/B2	1,1	2,8	3,4
Markungsgraben Pegel	2,2	3,2	3,1
Hinterer Schachtenbach	2,3	3,3	2,3
Große Ohe (Pegel Taferlruck)	2,3	3,1	2,1

Den Toleranzstufen nach ist die Meßstelle Markungsgraben B1/B2 am stärksten versauert und bestätigt damit den chemischen Befund. Der Versauerungsgrad wird talauswärts etwas geringer, wie die höheren Toleranzstufen am Hinteren Schachtenbach und am Pegel Taferlruck indizieren. Hier wird allerdings aufgrund des Fehlens der sulfatsensitiven Art *Eunotia sudetica* die Sulfatbelastung überschätzt.

4.6 Region Münchener Schotterebene

4.6.1 Situation der Wasserversorgungen in der Region Münchener Schotterebene

Das Grundwasser der Münchener Schotterebene östlich der Isar wird von der Stadt München mit vier Förderwerken und einem Großteil der Gemeinden mit über 50 Versorgungsbrunnen genutzt. Dazu kommt eine große Anzahl von Gewerbe- und Privatbrunnen. Hohe Grundwasserneubildung, große Einzugsgebiete und hohe Durchlässigkeiten der quartären Schotter lassen Entnahmemengen bis zu einigen $100 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ zu.

Die Kalkschotterwässer befinden sich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Hydrogencarbonat mit $200 - 400 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, Calcium mit $60 - 100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ und Magnesium mit $20 - 30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ bestimmen den Lösungsinhalt. Etwa gleichlaufend mit der Zunahme der Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft entwickelte sich die Nitratbelastung des Grundwassers. Die Höhe der Belastung ist von den Nutzungsfaktoren im Einzugsgebiet abhängig. Sie erreichte schon in den 60-iger Jahren bis zu $64 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (SCHIRM 1968), im Umfeld des Ebersberger Forsts (Hohenlindener Feld) bis zu $40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (KÖWING et al. 1968). Auch Pflanzenschutzmittel werden verbreitet in Spuren, vereinzelt mit Konzentrationen über dem Trinkwassergrenzwert (Einzelsubstanz $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) im Grundwasser gefunden. Die Sanierungsbemühungen der betroffenen Wasserversorgungsunternehmen konzentrieren sich derzeit auf grundwasserverträgliche Regelungen in den Einzugsgebieten und auf Neuerschließungen. Bei hohen Waldanteilen und stabilen Waldzuständen im Einzugsgebiet sind in aller Regel qualitativ günstigere Verhältnisse anzutreffen.

4.6.2 Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

4.6.2.1 Forstinventur und Waldzustand

Das Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst ist durch jahrhundertelange forstliche Nutzung von einem Laubwaldgebiet in fast reine Fichtenforsten umgewandelt worden (Tab. 169). Die jüngeren Bestände 03 und 05 sind gesund, die übrigen Bestände zeigen lediglich geringe Anzeichen neuartiger Waldschäden (Schwerpunkt in der Schadstufe 1). Abgesehen von diesem Schadtypus, wie er in Tab. 170 dargestellt wird, traten im Westteil des Ebersberger Forsts in jüngerer Zeit schwere sonstige Schadensereignisse auf:

- Hagelschlag 1984
- Sturmkatastrophe 1990
- Gewitterstürme 1991
- Borkenkäfermassenvermehrung 1992 und 1993.

Da der Schadensfortschritt bis in die jüngste Gegenwart anhält, kann der betroffene Flächenanteil noch nicht ermittelt werden. Die Schäden dürften jedoch im Bereich des Untersuchungsgebietes den Anteil von 20% weit übersteigen. Dieser "traditionelle" Waldschaden übertrifft damit in seinen Dimensionen die neuartigen Waldschäden um ein Vielfaches. Diese dramatische Veränderung der Waldstruktur und ihre Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit wird in Zukunft noch stärker untersucht werden müssen.

Tab. 169: Forstinventurdaten im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Münchener Schotterebene	Ebersberger Forst		Forstinventurdaten 1988			
Fläche	01	02	03	04	05	06
Höhenlage (m ü. NN)	544	544	544	531	533	534
Alter (Jahre)	56	109	32	121	36	83
Flächengröße (ha)	0,1563	0,1450	n.b.	0,1360	n.b.	0,1642
gesamt: Fi	768; 88	483; 97	n.b.; 100	456; 97	n.b.; 100	469; 100
Baumzahl/ha; %-Anteil Ki	102; 12	14; 3	0; 0	15; 3	0; 0	0; 0
Kraftklasse 1 und 2: Fi	416; 86	483; 99	n.b.; 100	412; 100	n.b.; 100	432; 100
Baumzahl/ha; %-Anteil Ki	70; 14	7; 1	0; 0	0; 0	0; 0	0; 0
Baumhöhe (m)	25,36	32,98	13,92	34,67	15,67	29,06
Kronenlänge (m)	9,90	12,35	7,37	16,00	5,59	10,28
Höhe des Kronenansatzes(m)	15,46	20,37	6,65	18,67	10,08	18,78
Brusthöhendurchmesser (m)	0,259	0,375	n.b.	0,415	n.b.	0,357
Kreisfläche (m ² /ha)	45,756	54,839	45,000	63,668	60,000	47,019
Vorrat (Efm. o. R. /ha)	459,17	692,92	230,35	831,41	358,31	527,38

Baumarten : Fi = Fichte, Ki=Kiefer
 Baumhöhe, Kronenlänge und Höhe des Kronenansatzes : arithmetisches Mittel aus 10% der Bäume aller Kraftklassen
 Brusthöhendurchmesser : arithmetisches Mittel der Bäume der Kraftklasse 1 und 2
 Kreisfläche : ermittelt aus allen Bäumen nach BITTERLICH (1952)
 Vorrat : Berechnung für über 60-jährige Bestände nach KRENN (1950), für die jüngeren Bestände über die Derbholzformzahl-Tafel nach FRANZ (1972) in Erntefestmetern ohne Rinde (Efm. o. R.)

Münchener Schotterebene	Ebersberger Forst		Forstinventurdaten 1988				
	Baumartenverteilung in %				Altersgruppenverteilung in %		
	Fi	Ki	Bu	Ei	< 60 Jahre	60-120 Jahre	> 120 Jahre
Gesamtgebiet (287 Stichprobenpunkte)	100	0	0	0	10	89	1

Tab. 170: Waldzustandsdaten im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Münchener Schotterebene		Ebersberger Forst		Schadstufenverteilung								
Fläche	Jahr	Typ	Schadstufe									
			0		1		2		3		4	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamtgebiet	1986	Luftb.Interp.	*	1	*	30	*	68	*	1	*	*
Gesamtgebiet	1990	Luftb.Interp.	*	*	*	36	*	62	*	1	*	*
01	1986	Luftb.Interp.	5	7	50	75	12	18	*	*	*	*
01	1988	Terr.Anspr.	8	11	47	63	20	27	*	*	*	*
01	1990	Luftb.Interp.	1	1	42	59	28	39	*	*	*	*
01	1990	Terr.Anspr.	2	3	49	68	21	29	*	*	*	*
01	1991	Terr.Anspr.	11	15	51	71	10	14	*	*	*	*
01	1992	Terr.Anspr.	7	10	54	76	10	14	*	*	*	*
02	1986	Luftb.Interp.	2	3	43	62	24	35	*	*	*	*
02	1988	Terr.Anspr.	5	7	49	70	15	21	1	1	*	*
02	1990	Luftb.Interp.	*	*	37	53	33	47	*	*	*	*
02	1990	Terr.Anspr.	*	*	38	55	31	45	*	*	*	*
02	1991	Terr.Anspr.	3	4	56	81	10	14	*	*	*	*
02	1992	Terr.Anspr.	1	1	51	75	16	24	*	*	*	*
03	1988	Terr.Anspr.	35	97	1	3	*	*	*	*	*	*
03	1990	Terr.Anspr.	36	100	*	*	*	*	*	*	*	*
03	1991	Terr.Anspr.	36	100	*	*	*	*	*	*	*	*
03	1992	Terr.Anspr.	36	100	*	*	*	*	*	*	*	*
04	1986	Luftb.Interp.	1	2	33	62	19	36	*	*	*	*
04	1988	Terr.Anspr.	*	*	36	65	19	35	*	*	*	*
04	1990	Luftb.Interp.	*	*	31	58	21	40	*	*	1	2
04	1990	Terr.Anspr.	*	*	39	71	15	27	*	*	1	2
04	1991	Terr.Anspr.	2	5	29	76	6	16	*	*	1	3
04	1992	Bestand eingeschlagen										
05	1988	Terr.Anspr.	34	94	2	6	*	*	*	*	*	*
05	1990	Terr.Anspr.	36	100	*	*	*	*	*	*	*	*
05	1991	Terr.Anspr.	36	100	*	*	*	*	*	*	*	*
05	1992	Terr.Anspr.	36	100	*	*	*	*	*	*	*	*
06	1986	Luftb.Interp.	1	2	40	61	23	35	2	3	*	*
06	1988	Terr.Anspr.	3	4	54	76	14	20	*	*	*	*
06	1990	Luftb.Interp.	1	1	35	49	34	48	1	1	*	*
06	1990	Terr.Anspr.	*	*	45	64	25	36	*	*	*	*
06	1991	Terr.Anspr.	5	7	56	80	9	13	*	*	*	*
06	1992	Terr.Anspr.	3	4	47	69	18	26	*	*	*	*

Luftb.Interp.: Luftbildinterpretation

Terr.Anspr.: Terrestrische Schadansprache

4.6.2.2 Deposition

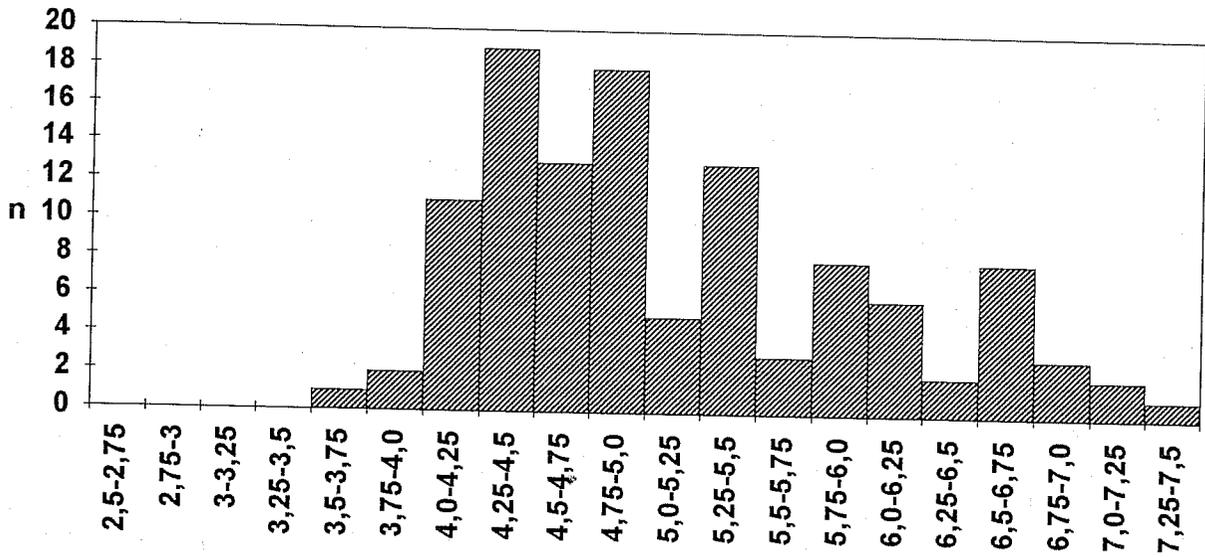
Das Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst weicht im Meßzeitraum bezüglich der Jahresniederschläge und ihrer Verteilung von den anderen Untersuchungsgebieten ab. Wie Tabelle 171 aufzeigt, sind die Jahre 1990 und 1991 im Gegensatz zu Nordbayern eher als feucht einzustufen. Die Niederschläge dieser Jahre übersteigen an der nördlich des Untersuchungsgebietes gelegenen DWD-Station Forstinning um 9 bzw. 19% das langjährige Mittel (1931 - 60) von 913 mm. In allen 5 Meßjahren wird dieser Wert erreicht bzw. überschritten. Innerhalb des Untersuchungsgebietes steigen die Niederschläge von Nord nach Süd leicht an.

Tab. 171: Jahresniederschläge in mm im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst und der DWD-Station Forstinning

Hydrologisches Jahr	Freifläche 15 533 m ü. NN	Forstinning (DWD) 513 m ü. NN	% vom 30-jährigen Mittel [%]
1988	901	874	96
1989	1045	963	105
1990	1190	1085	119
1991	1055	992	109
1992	920	925	101

Der Freilandniederschlag ist weniger sauer als in den anderen Untersuchungsgebieten, wie mittlere pH-Werte von 4,4 - 5,0 (Tab. 172) zeigen. Ihre Verteilung (Abb. 47) reicht bis in den basischen Bereich hinein. Dementsprechend häufig wird Hydrogencarbonat im Niederschlag nachgewiesen. Allerdings sind 43% der gemessenen pH-Werte mit 4,25 - 5,0 noch deutlich sauer. Die Freilanddeposition wird weniger von freier Säure und Sulfat-Schwefel als von Stickstoffverbindungen geprägt. Ammonium erreicht Konzentrationen bis $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, verursacht durch landwirtschaftliche Aktivitäten (z.B. Gülleausbringung) im Nahbereich des Ebersberger Forstes. Hohe pH-Werte gehen mit hohen Ammoniumkonzentrationen einher, was auf die Lösung von Ammoniak im Niederschlag (Bildung von Ammoniumhydroxid) zurückzuführen ist. Zusätzlich dürften carbonatische Stäube eine Rolle bei der Aufbasung der Niederschläge spielen.

Häufigkeitsverteilung pH-Wert Freifläche 15



Häufigkeitsverteilung pH-Wert Fichte 04

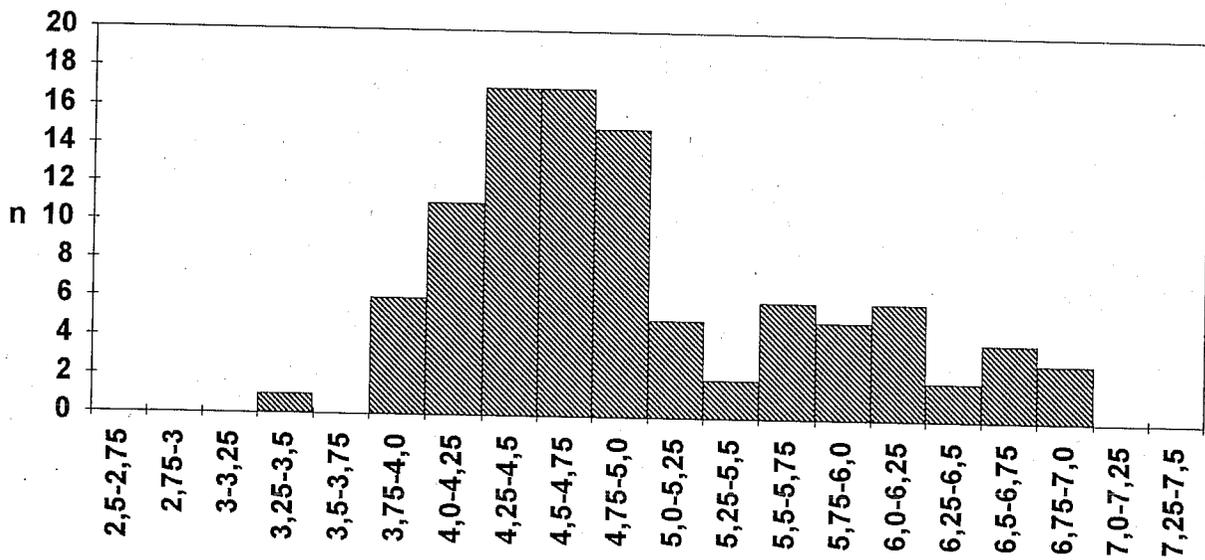


Abb. 47: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Niederschlag im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst (1988 - 1992)

Der Bestandsniederschlag ist ebenfalls weniger sauer als in den nord- und ostbayerischen Vergleichsgebieten mit Nadelwaldbestockung. Die pH-Werte liegen nur wenig unter dem des Freilandniederschlags und betragen im Mittel 4,3 - 4,8.

Tab. 172: Beschaffenheitsdaten des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Münchener Schotterebene Niederschlag		Ebersberger Forst Messfläche: 15		Freiland		TK25: 7837 MWA: München Messstelle: 415310																								
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992																						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n											
pH v0	4,47	3,61	6,64	23	4,42	3,90	6,32	23	4,55	3,91	6,70	24	4,75	4,16	7,39	19	4,75	4,16	7,39	19	pH v0	5,01	4,39	7,88	24					
pH Lab	4,64	4,10	6,20	24	4,56	4,02	5,80	24	4,80	4,25	5,92	22	5,02	4,20	7,49	22	5,02	4,20	7,49	22	pH Lab	5,03	4,51	6,85	23					
LF v0	23	81	9	16,2512	27	61	10	20,1956	20	57	6	15,3361	21	71	9	13,4509	20	71	9	13,4509	20	LF v0	22	109	8	14,4713	24			
LF Lab	23	88	7	16,9207	26	62	9	20,1093	20	52	5	14,4662	19	70	7	12,2055	20	70	7	12,2055	20	LF Lab	18	88	7	11,7108	22			
S04	2,7	9,5	0,9	2,0874	3,0	6,3	0,7	2,0562	23	2,5	6,8	0,8	2,1606	24	2,2	14,4	n.n.	2,1517	22	2,2	14,4	n.n.	2,1517	22	S04	2,0	17,4	n.n.	1,5090	24
NO3	2,8	11,7	1,0	1,9591	3,2	8,3	1,1	1,9781	23	2,5	6,9	0,5	1,9112	24	2,7	20,6	1,1	1,8306	22	2,7	20,6	1,1	1,8306	22	NO3	2,5	20,1	0,8	1,7308	24
Cl	0,6	2,0	0,2	0,5651	0,3	1,5	n.n.	0,3645	22	0,3	3,3	n.n.	0,6089	24	n.n.	3,7	n.n.	0,1668	22	n.n.	3,7	n.n.	0,1668	22	Cl	0,1	2,5	n.n.	0,2382	24
HCO3	3,2	11,6	0,6	2,8980	3,2	4,3	1,8	2,3302	13	3,3	6,7	1,8	1,9314	17	3,9	23,2	1,8	2,8294	19	3,9	23,2	1,8	2,8294	19	HCO3	4,9	50,6	1,8	4,8904	23
NO2	0,03	0,10	n.n.	0,0257	0,03	0,08	0,01	0,0191	22	0,03	0,19	n.n.	0,0592	23	0,04	0,26	0,01	0,0367	22	0,04	0,26	0,01	0,0367	22	NO2	0,03	0,26	n.n.	0,0284	24
o-P04	0,04	0,61	n.n.	0,1166	0,02	0,23	n.n.	0,0335	22	0,05	0,52	n.n.	0,1390	23	0,05	0,55	n.n.	0,1367	22	0,05	0,55	n.n.	0,1367	22	o-P04	0,09	0,74	n.n.	0,1920	23
Ca	0,5	2,4	0,2	0,2845	0,6	2,2	0,2	0,3412	24	0,6	1,8	0,2	0,3699	23	0,6	9,1	0,2	0,4217	21	0,6	9,1	0,2	0,4217	21	Ca	0,6	5,4	0,3	0,3109	24
Mg	0,1	0,5	n.n.	0,0549	0,1	0,4	n.n.	0,0516	24	n.n.	0,5	n.n.	0,0782	24	0,1	1,7	0,1	0,1143	21	0,1	1,7	0,1	0,1143	21	Mg	0,1	1,1	n.n.	0,0913	24
Na	0,9	2,7	0,2	0,8933	0,3	1,3	0,1	0,3030	24	0,4	2,2	n.n.	0,4194	24	0,4	2,3	0,2	0,2037	22	0,4	2,3	0,2	0,2037	22	Na	0,4	1,6	0,1	0,3511	24
K	0,3	2,0	n.n.	0,4978	0,2	1,4	n.n.	0,2262	24	0,2	2,2	n.n.	0,3797	23	0,2	1,8	n.n.	0,1739	21	0,2	1,8	n.n.	0,1739	21	K	0,2	0,9	n.n.	0,2134	23
NH4	1,136	6,054	0,238	1,0568	1,107	2,705	0,193	0,8182	22	1,260	9,016	0,116	2,1023	23	1,279	7,728	0,085	1,1186	22	1,279	7,728	0,085	1,1186	22	NH4	1,555	12,880	0,161	1,8966	24
Al	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	0,01	0,02	n.n.	0,0207	2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3	Al	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1
Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0060	0,01	0,02	0,01	0,0027	2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2	n.n.	0,01	n.n.	0,0020	3	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3	Fe	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1
Mn	0,01	0,08	n.n.	0,0221	n.n.	0,06	n.n.	0,0068	23	n.n.	0,13	n.n.	0,0108	24	0,01	0,24	n.n.	0,0216	21	0,01	0,24	n.n.	0,0216	21	Mn	0,02	0,13	n.n.	0,0216	24
Pb	0,001	0,003	n.n.	0,0018	0,005	0,006	0,002	0,0054	2	0,001	0,002	n.n.	0,0015	2	n.n.	0,001	n.n.	0,0006	3	n.n.	0,001	n.n.	0,0006	3	Pb	0,002	0,002	0,002	0,0000	1
Cd	0,0001	0,0003	n.n.	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	2	0,0001	0,0002	n.n.	0,0002	2	n.n.	0,0001	n.n.	0,0000	3	n.n.	0,0001	n.n.	0,0000	3	Cd	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	1
Zn	n.n.	0,01	n.n.	0,0060	0,02	0,03	0,02	0,0093	2	0,02	0,03	0,01	0,0161	2	0,01	0,03	n.n.	0,0109	3	0,01	0,03	n.n.	0,0109	3	Zn	0,01	0,01	0,01	0,0000	1
Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3	Ba	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	1
TOC	1,7	5,1	0,6	1,0236	2,5	6,0	1,0	1,7515	22	1,1	2,9	0,4	0,5820	21	1,2	3,2	0,6	0,7098	20	1,2	3,2	0,6	0,7098	20	TOC	2,6	11,0	0,9	4,1155	22
SPAK254	1,2	4,0	0,4	0,7764	1,2	3,8	0,4	0,6207	22	1,9	13,8	0,4	2,4931	24	4,4	34,4	0,8	3,3554	22	4,4	34,4	0,8	3,3554	22	SPAK254	2,2	8,0	1,0	1,4996	20

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KBB,2 in mmol/l)

Die Belastung mit Ammonium beträgt im Jahresmittel 2,5 - 3,5 mg·l⁻¹.

Im Gebietsvergleich ist die Freilanddeposition von Protonen und Sulfat-Schwefel (bei abnehmender Tendenz im Untersuchungszeitraum) am geringsten. Die Stickstoffdeposition im Freiland steigt ab 1989 auf über 16 kg·ha⁻¹·a⁻¹, vor allem durch zunehmenden Ammoniumeintrag.

Tab. 174: Freilanddeposition in kg·ha⁻¹ im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Jahr	h _N (mm)	H ⁺ v0	Cl	SO ₄ -S	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Ca	Mg	Na	K	NH ₄ -N	Mn
1988	904	0,32	5,7	8,5	5,8	0,11	5,3	1,0	8,3	3,4	8,0	0,1
1989	1008	0,43	3,0	9,9	7,2	0,08	5,9	1,2	4,0	2,3	8,9	0,1
1990	1132	0,27	2,4	9,9	6,4	0,11	6,6	1,2	3,7	1,4	9,2	0,1
1991	1055	0,19	0,8	7,9	6,4	0,18	6,4	1,5	4,0	2,4	10,5	0,1
1992	920	0,09	0,9	6,2	5,2	0,27	5,2	1,1	3,5	2,0	11,2	0,2

Die Interzeptionsverdunstung der Waldbestände ist im Gebietsvergleich für das Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst am höchsten. Im Mittel wird ein Anteil von 36% des Freilandniederschlags interzipiert, was auf den hohen mit Altfichten bestockten Flächenanteil zurückzuführen ist.

Die Säureneutralisierung durch basische Stäube und Ammoniak wird durch deren Ausfilterung in den Beständen verstärkt. Zusätzlich kommt es im Kronenraum zur Pufferung durch Auswaschung von Calcium und Magnesium aus den mit diesen Nährstoffen gut versorgten Beständen. So ist die Deposition von freier Säure mit dem Bestandsniederschlag häufig sogar niedriger als im Freiland. Allerdings lassen die luftchemischen Daten eine nur mäßige Ausgangsbelastung mit Säurebildnern erkennen. Daher wird Sulfat-Schwefel trotz des hohen filterwirksamen Altfichtenanteils nur mit 11 - 17 kg·ha⁻¹·a⁻¹ im Gebiet deponiert. Die Stickstoffeinträge betragen unter Fichte 19 - 24 kg·ha⁻¹·a⁻¹. Dabei weist der nahe dem westlichen Waldrand gelegene Altbestand 04 mit 26 - 31 kg·ha⁻¹·a⁻¹ die höchste Stickstoffbelastung auf.

Tab. 175: Gebietsdeposition mit dem Bestandsniederschlag in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Jahr	$h_N(\text{mm})$	H^+vO	Cl	S04-S	N03-N	P04-P	Ca	Mg	Na	K	NH4-N	Mn
1988	560	0,26	9,0	14,7	8,5	0,15	10,7	2,7	7,7	13,6	11,0	2,2
1989	649	0,28	9,1	16,9	9,1	0,07	13,1	3,5	4,8	14,4	10,1	2,9
1990	743	0,21	8,9	13,6	10,2	0,03	11,3	2,7	4,5	12,0	13,3	2,1
1991	704	0,30	6,4	12,7	9,5	0,12	11,5	3,1	4,2	13,2	9,5	1,8
1992	556	0,06	7,5	11,2	9,8	0,05	11,2	3,0	3,2	11,5	14,6	1,9

Wie beim Freilandniederschlag wird über die Hälfte als Ammonium-Stickstoff deponiert. Ammonium hat im Boden versauernde Wirkung. Diese ergibt sich zum einen durch die Pflanzenaufnahme (für jedes aufgenommene Molekül Ammonium wird ein Proton in den Boden abgegeben), zum anderen durch die Umwandlung zu Nitrat (2 Protonen pro nitrifiziertes Ammoniummolekül).

Die Einträge von Spurenmetallen liegen in der Größenordnung der anderen drei Untersuchungsgebiete (Tab. 176). Für Eisen und Aluminium werden im vierjährigen Mittel die geringsten Belastungen im Gebietsvergleich beobachtet. Wie in den anderen Gebieten ergibt sich von 1989 auf 1992 eine rückläufige Tendenz. Die Bleieinträge gehen 1992 auf 40% gegenüber 1989 zurück.

Tab. 176: Deposition von Spurenmetallen im Freiland in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Jahr	Fe	Al	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
1989	290	226	392	93	1	6	10
1990	221	138	170	57	2	2	4
1991	185	77	284	69	1	3	7
1992	347	205	201	38	1	3	6

Im Bestand 04 wurde in den ersten beiden Untersuchungsjahren 1989 und 1990 die Deposition von Spurenmetallen mit dem Bestandsniederschlag gemessen (Tab. 177). Dabei wurde für Eisen

und Aluminium ein starker Ausfilterungseffekt nachgewiesen.

Tab. 177: Deposition von Spurenmetallen mit dem Bestandsniederschlag in $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Jahr	Fe	Al	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
1989	509	444	320	83	2	7	10
1990	637	3079	544	78	2	3	10

Die hohen Werte des Jahres 1990 sind eine Folge der schweren Frühjahrsstürme mit Aufwirbelung und Verfrachtung von Bodestäuben. Im betroffenen Sammelzeitraum von 1 Monat betrug der Aluminiumeintrag $2794 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, der Zinkeintrag $356 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ und der Eiseneintrag $218 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$. Für das restliche Jahr ist somit analog zur Freilanddeposition ein Rückgang der Einträge anzunehmen.

4.6.2.3 Boden und tiefere Sickerzone

4.6.2.3.1 Standortbeschreibung

Niederterrassenschotter bildet den geologischen Untergrund des Untersuchungsgebietes. Die Geröllfraktion ist zu 60% carbonatisch. Ihre Korngrößendurchmesser liegen überwiegend im Bereich zwischen 2 und 50 mm. Die Böden sind stark wasserdurchlässig. Die Bodenentwicklung, die ab dem Spätglazial einsetzte, führte über Entkalkung, Verlehmung und Verbraunung zu Braunerden und in der Folge über Lessivierung zu Parabraunerden. Sie bedecken heute den Großteil des Gebietes. Die mittlere Entkalkungstiefe liegt bei 50 - 60 cm.

4.6.2.3.2 Sickerwasser

Die Beschaffenheit des Sickerwassers wird am Beispiel eines Alt-fichten-Standorts (Meßfläche 01) und eines Jungfichten-Standorts (Meßfläche 03) aufgezeigt. Es wurden Meßtiefen zwischen 0,5 und 2,0 m Tiefe erfaßt.

Die mittleren pH-Werte von 5,7 - 6,1 auf Meßfläche 01 in der Meßtiefe 50 cm lassen mäßig saure Verhältnisse, oberhalb der Entkalkungsfront, erkennen (Abb. 48). In Perioden starker Sickerung erhöhen sich die Gesamtionenkonzentrationen im Sickerwasser.

Mobiles Mangan ist in hohen Konzentrationen in der Bodenlösung vorhanden. Die mittleren Sulfat-Konzentrationen, die etwa $21 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ betragen, übersteigen trotz geringer Schwefeldepositionen das Niveau der meisten untersuchten Mittelgebirgsstandorte. Die Ganglinie der Nitratkonzentrationen spiegelt Störungen des Stickstoffhaushalts nach Schädigungen der Baumkronen wider (vgl. Kapitel 4.6.2.1).

Tab. 178: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Messfl. 01, 50 cm Tiefe

Münchener Schotterebene Ebersberger Forst Sickerwasser		Tiefe: 050cm		TK25: 7837		WMA: München Meßstelle: 4011050																	
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992															
	MW	MAX	MIN	STD	n		MW	MAX	MIN	STD	n		MW	MAX	MIN	STD	n						
pH VO	4,63	4,10	7,40	*****	0	pH VO	5,81	5,30	6,68	17	pH VO	6,11	5,83	6,46	3	pH VO	6,11	5,83	6,46	3			
pH Lab	4,53	4,10	7,40	*****	22	pH Lab	5,37	4,60	7,05	19	pH Lab	6,45	6,17	7,10	3	pH Lab	6,45	6,17	7,10	3			
LF VO	***	***	***	*****	0	LF VO	110	117	97	6,4657	6	LF VO	96	103	90	5,3541	3	LF VO	96	103	90	5,3541	3
LF Lab	121	160	91	19,5657	14	LF Lab	107	147	90	15,1141	21	LF Lab	96	101	91	4,1096	3	LF Lab	96	101	91	4,1096	3
S04	20,5	26,1	11,7	3,3766	24	S04	23,1	29,2	18,5	3,1324	23	S04	21,6	22,4	20,6	0,7483	3	S04	21,6	22,4	20,6	0,7483	3
NO3	40,3	104,0	18,2	21,1502	23	NO3	14,1	22,1	1,3	5,7580	23	NO3	2,1	5,2	n.n.	2,2529	3	NO3	2,1	5,2	n.n.	2,2529	3
Cl	1,8	3,2	1,3	0,4550	24	Cl	1,7	3,5	1,1	0,5013	22	Cl	1,5	1,6	1,3	0,1247	3	Cl	1,5	1,6	1,3	0,1247	3
HCO3	10,0	29,9	2,4	9,4453	14	HCO3	14,2	30,5	4,3	8,4394	18	HCO3	22,6	25,0	19,5	2,3199	3	HCO3	22,6	25,0	19,5	2,3199	3
NO2	0,03	0,16	n.n.	0,0326	20	NO2	n.n.	0,02	n.n.	0,0046	23	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	3	NO2	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	3
o-P04	n.n.	0,03	n.n.	0,0079	19	o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	23	o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3	o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3
Ca	11,6	35,5	3,8	7,3910	24	Ca	12,3	21,0	5,6	3,5455	23	Ca	13,3	14,0	13,0	0,4714	3	Ca	13,3	14,0	13,0	0,4714	3
Mg	2,6	5,3	1,3	0,9342	24	Mg	2,4	3,8	1,7	0,4800	23	Mg	2,3	2,6	2,1	0,2055	3	Mg	2,3	2,6	2,1	0,2055	3
Na	1,2	1,9	n.n.	0,3841	24	Na	1,2	2,3	0,8	0,3239	24	Na	1,0	1,1	0,9	0,0943	3	Na	1,0	1,1	0,9	0,0943	3
K	0,2	1,3	n.n.	0,2843	24	K	0,3	2,3	n.n.	0,4977	23	K	n.n.	0,1	n.n.	0,0471	3	K	n.n.	0,1	n.n.	0,0471	3
NH4	0,180	0,515	0,035	0,1514	20	NH4	0,101	0,605	n.n.	0,1197	22	NH4	0,060	0,135	0,022	0,0530	3	NH4	0,060	0,135	0,022	0,0530	3
Al	3,48	13,00	0,03	2,8561	24	Al	1,51	3,11	0,02	1,0204	24	Al	0,62	0,97	0,38	0,2517	3	Al	0,62	0,97	0,38	0,2517	3
Fe	n.n.	0,03	n.n.	0,0070	24	Fe	n.n.	0,02	n.n.	0,0056	24	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	3	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	3
Mn	2,08	4,60	0,92	0,7702	24	Mn	1,44	1,70	1,04	0,1561	23	Mn	1,19	1,50	0,89	0,1802	21	Mn	0,93	0,98	0,84	0,0638	3
Pb	0,002	0,014	n.n.	0,0036	21	Pb	n.n.	0,002	n.n.	0,0006	21	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0004	11	Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2
Cd	0,0006	0,0013	n.n.	0,0004	24	Cd	0,0006	0,0033	n.n.	0,0006	21	Cd	0,0004	0,0006	n.n.	0,0002	11	Cd	0,0003	0,0003	0,0003	0,0000	2
Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0002	15	Cr	n.n.	0,002	n.n.	0,0006	17	Cr	*****	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	*****	0
Zn	0,02	0,14	n.n.	0,0295	25	Zn	0,01	0,06	n.n.	0,0117	24	Zn	n.n.	0,08	n.n.	0,0169	21	Zn	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	3
Ba	0,07	0,16	0,04	0,0225	24	Ba	0,06	0,08	0,04	0,0131	23	Ba	0,05	0,09	0,03	0,0113	21	Ba	0,05	0,06	0,05	0,0047	3
TOC	8,6	11,5	5,7	2,9000	2	TOC	3,3	6,0	0,9	1,2358	12	TOC	3,0	4,2	1,4	0,5652	18	TOC	3,0	3,2	2,9	0,1247	3
SPAK254	6,3	29,6	3,4	5,4606	20	SPAK254	5,7	16,0	3,2	3,1324	23	SPAK254	4,2	8,6	3,0	1,1946	21	SPAK254	6,5	10,0	4,8	2,4513	3

(alle Werte in mg/l, Temp vo in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KBB,2 in mmol/l)

Tab. 179: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfl. 01, 150cm Tiefe

Münchener Schotterebene Ebersberger Forst Sickerwasser		Tiefe: 150cm		TK25: 7837		MWA: München Meßstelle: 4011150																	
Hydr. Jahr: 1988				1989				1990				1991				1992							
	MW	MAX	MIN	STD	n		MW	MAX	MIN	STD	n		MW	MAX	MIN	STD	n		MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	7,77	7,52	8,00	*****	0	pH VO	7,74	7,70	8,00	8,00	8	pH VO	7,63	7,52	7,70	7,70	3	pH VO	7,63	7,52	7,70	7,70	3
pH Lab	7,77	7,52	8,00	*****	21	pH Lab	7,79	7,52	8,00	8,00	12	pH Lab	7,63	7,52	7,70	7,70	3	pH Lab	7,63	7,52	7,70	7,70	3
LF VO	***	***	***	*****	0	LF VO	446	525	382	46,8145	5	LF VO	443	450	439	4,7842	3	LF VO	443	450	439	4,7842	3
LF Lab	436	482	388	21,7511	16	LF Lab	410	495	331	41,9896	20	LF Lab	450	461	440	8,6023	3	LF Lab	450	461	440	8,6023	3
S04	13,4	16,4	10,5	1,8889	21	S04	21,6	30,6	15,7	3,8254	25	S04	24,5	25,4	23,8	0,6799	3	S04	24,5	25,4	23,8	0,6799	3
NO3	38,8	65,0	17,7	13,5172	21	NO3	9,9	33,6	2,0	7,8546	25	NO3	1,7	2,0	1,2	0,3399	3	NO3	1,7	2,0	1,2	0,3399	3
Cl	2,1	3,3	0,9	0,4715	21	Cl	2,0	3,5	n.n.	0,8335	24	Cl	1,8	1,9	1,7	0,0817	3	Cl	1,8	1,9	1,7	0,0817	3
HCO3	242,9	282,4	203,1	24,4281	19	HCO3	236,7	295,2	180,0	31,9851	12	HCO3	258,6	264,7	254,4	4,4995	3	HCO3	258,6	264,7	254,4	4,4995	3
NO2	0,03	0,08	n.n.	0,0178	19	NO2	0,08	0,66	n.n.	0,1556	23	NO2	0,12	0,92	0,01	0,0149	3	NO2	0,03	0,05	0,01	0,0149	3
o-P04	n.n.	0,04	n.n.	0,0134	19	o-P04	n.n.	0,03	n.n.	0,0066	24	o-P04	n.n.	0,02	n.n.	0,0693	3	o-P04	0,05	0,15	n.n.	0,0693	3
Ca	78,0	91,0	62,0	6,9157	21	Ca	71,9	97,0	54,7	10,2643	24	Ca	75,7	87,0	65,0	7,3377	21	Ca	76,3	81,0	71,0	4,1096	3
Mg	12,7	14,4	10,1	1,1900	21	Mg	12,3	16,6	8,9	1,7460	24	Mg	12,2	15,0	10,0	1,3583	21	Mg	13,0	14,0	12,0	0,8165	3
Na	1,5	2,2	1,0	0,3300	21	Na	1,7	3,0	1,1	0,4202	25	Na	1,1	1,9	0,5	0,3472	21	Na	1,2	1,4	1,1	0,1247	3
K	0,5	1,8	n.n.	0,5147	22	K	0,9	3,8	0,2	0,9050	22	K	0,3	1,4	n.n.	0,3042	21	K	0,4	0,5	0,3	0,0943	3
NH4	0,092	0,335	n.n.	0,0809	20	NH4	0,082	0,399	n.n.	0,0841	25	NH4	0,043	0,451	n.n.	0,0964	21	NH4	0,079	0,219	0,006	0,0988	3
Al	0,02	0,05	n.n.	0,0134	22	Al	0,03	0,09	n.n.	0,0225	25	Al	0,01	0,06	n.n.	0,0182	21	Al	0,02	0,06	n.n.	0,0283	3
Fe	n.n.	0,02	n.n.	0,0049	22	Fe	n.n.	0,02	n.n.	0,0040	24	Fe	n.n.	0,02	n.n.	0,0043	21	Fe	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	3
Mn	n.n.	0,02	n.n.	0,0064	22	Mn	n.n.	0,02	n.n.	0,0055	23	Mn	n.n.	0,01	n.n.	0,0036	20	Mn	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	3
Pb	n.n.	0,003	n.n.	0,0009	19	Pb	n.n.	0,002	n.n.	0,0006	22	Pb	n.n.	0,003	n.n.	0,0009	11	Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2
Cd	n.n.	0,0002	n.n.	0,0001	22	Cd	n.n.	0,0004	n.n.	0,0001	n.n.	Cd	n.n.	0,0001	n.n.	0,0000	11	Cd	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	2
Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0005	13	Cr	n.n.	0,002	n.n.	0,0007	17	Cr	*****	*****	*****	*****	0	Cr	*****	*****	*****	*****	0
Zn	n.n.	0,01	n.n.	0,0028	24	Zn	0,02	0,13	n.n.	0,0242	25	Zn	n.n.	0,10	n.n.	0,0208	21	Zn	n.n.	0,01	n.n.	0,0047	3
Ba	n.n.	0,02	n.n.	0,0051	22	Ba	n.n.	0,01	n.n.	0,0028	24	Ba	n.n.	0,03	n.n.	0,0061	21	Ba	0,01	0,01	0,01	0,0000	3
TOC	3,7	6,6	2,2	2,0510	3	TOC	2,6	3,6	1,9	0,5643	10	TOC	1,8	2,9	1,4	0,4135	13	TOC	1,8	2,4	1,4	0,4320	3
SPAK254	4,8	11,4	3,2	1,7257	20	SPAK254	5,1	10,0	3,0	1,5339	24	SPAK254	3,5	9,4	0,3	1,7522	21	SPAK254	6,1	11,8	3,0	4,0574	3

(alle Werte in mg/l, Temp v0 in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KBB,2 in mmol/l)

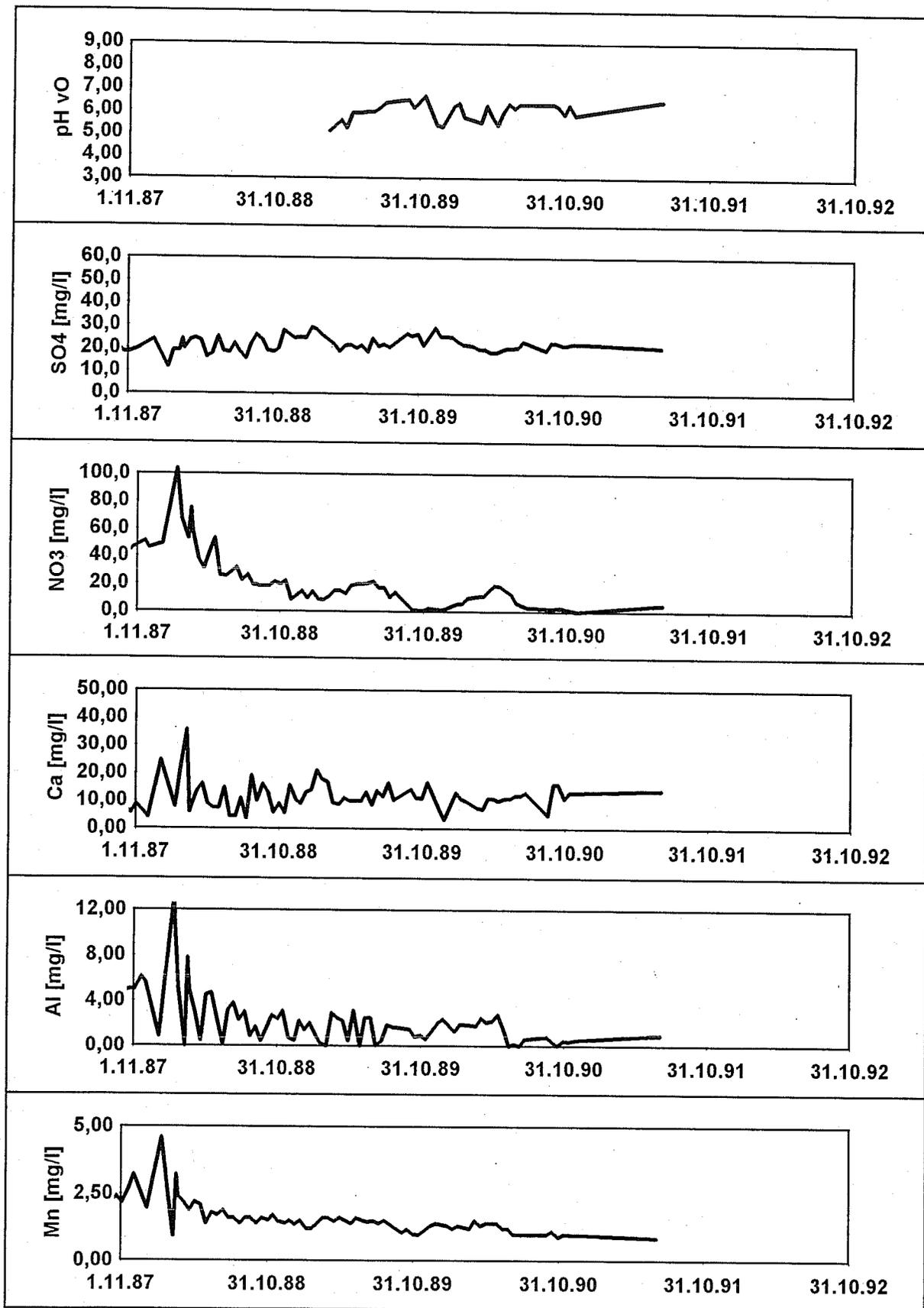


Abb. 48: Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 01, 50 cm Tiefe

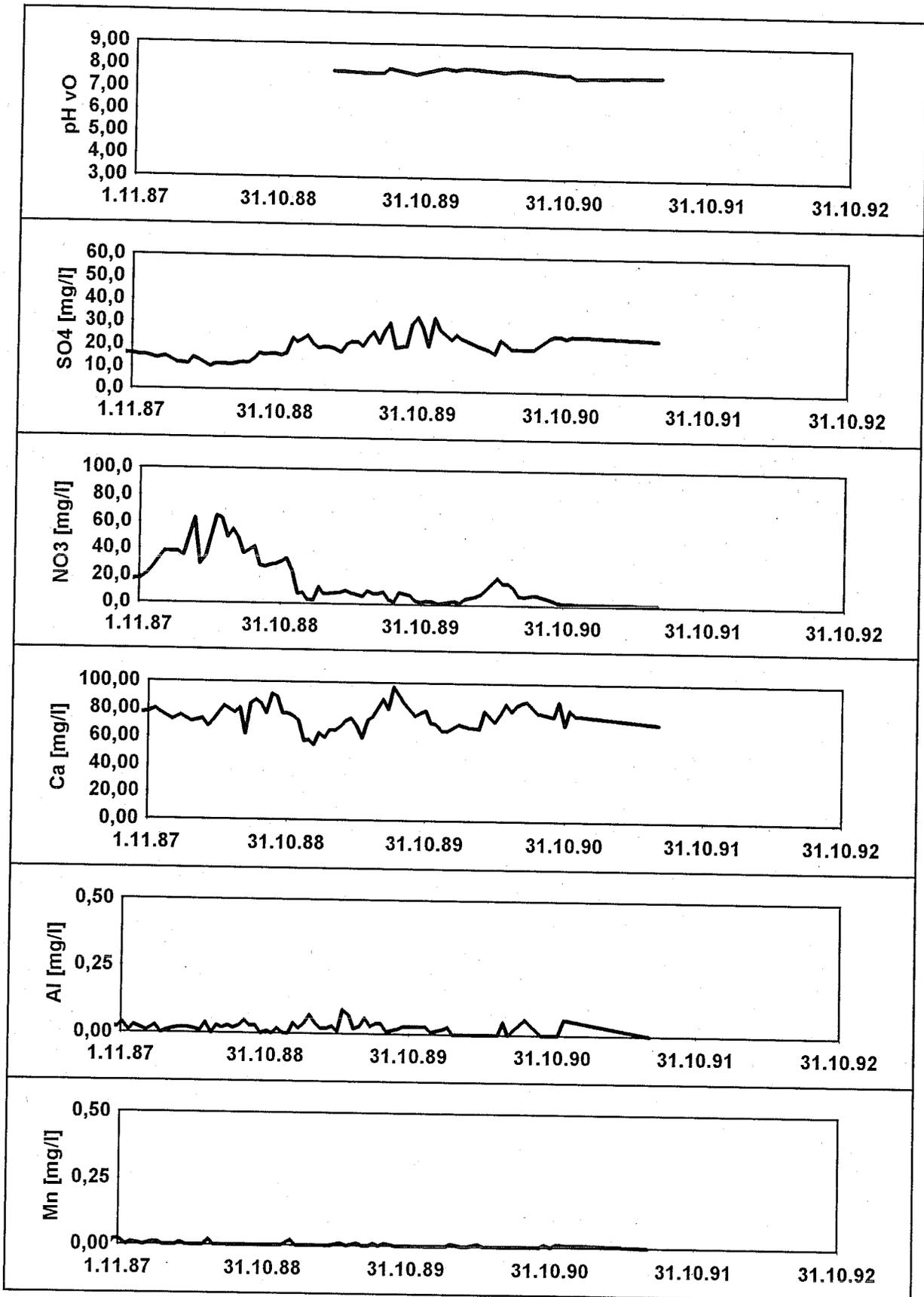


Abb. 49: Ganglinien ausgewählter Parameter im Sickerwasser, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 01, 150 cm Tiefe

Tab. 181: Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfl. 03, 150cm Tiefe

Münchener Schotterebene Sickerwasser		Ebersberger Forst Meßfläche: 03		Tiefe: 150cm		WHA: München Meßstelle: 4031150		TK25: 7837	
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992	
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	7,91	7,70	8,00	23	pH VO	7,72	7,40	8,00	11
pH Lab	7,91	7,70	8,00	23	pH Lab	7,80	7,52	8,00	12
LF VO	***	***	***	0	LF VO	446	558	369	59,5072
LF Lab	396	487	321	39,1200	LF Lab	457	573	381	59,5656
S04	41,4	53,0	14,3	11,1947	S04	40,3	56,0	23,9	9,4705
N03	2,5	10,2	0,1	2,2438	N03	0,3	2,3	n.n.	0,6397
Cl	6,7	10,0	2,2	1,9359	Cl	7,3	11,0	4,1	2,0898
HCO3	211,7	246,4	181,2	15,5124	HCO3	229,8	288,5	201,3	30,2610
N02	0,09	0,23	n.n.	0,0693	N02	0,04	0,30	n.n.	0,0755
o-P04	n.n.	0,02	n.n.	0,0062	o-P04	n.n.	0,07	n.n.	0,0170
Ca	72,6	90,0	53,0	8,3118	Ca	76,2	103,0	62,0	10,6408
Mg	12,2	15,2	8,7	1,3072	Mg	13,2	17,0	11,0	1,7205
Na	2,1	3,4	n.n.	0,7864	Na	2,0	3,3	1,0	0,6115
K	0,3	0,6	0,1	0,1161	K	0,3	0,6	n.n.	0,1445
NH4	0,118	0,605	0,013	0,1467	NH4	0,010	0,109	n.n.	0,0271
Al	0,02	0,05	n.n.	0,0189	Al	0,01	0,07	n.n.	0,0218
Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0036	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0025
Mn	n.n.	0,03	n.n.	0,0069	Mn	n.n.	0,02	n.n.	0,0054
Pb	n.n.	0,003	n.n.	0,0008	Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0004
Cd	n.n.	0,0002	n.n.	0,0001	Cd	n.n.	0,0001	n.n.	0,0000
Cr	0,001	0,001	0,001	0,0000	Cr	n.n.	0,0005	0	0,0005
Zn	n.n.	0,02	n.n.	0,0045	Zn	n.n.	0,01	n.n.	0,0121
Ba	n.n.	0,01	n.n.	0,0046	Ba	n.n.	0,03	n.n.	0,0077
TOC	3,3	3,8	2,4	0,6377	TOC	2,3	5,7	1,2	1,4171
SPAK254	5,0	15,6	2,4	3,2785	SPAK254	2,4	3,0	1,8	0,4013
					SPAK254	7,7	17,8	2,4	3,7340
					TOC	2,0	2,7	1,6	0,3236
					SPAK254	3,2	6,8	2,2	1,4832

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, K88,2 - in mmol/l)

In 1,5 m Tiefe ist bei pH-Werten um 7,7 und Hydrogencarbonat-konzentrationen von ca. 240 mg·l⁻¹ der Typus des Kalkschotterwassers ausgeprägt. Gegenüber der Meßebene in 50 cm Tiefe gleichbleibende Sulfatkonzentrationen tragen im geringen Umfang zur Kationenauswaschung bei.

Die hydrochemischen Verhältnisse auf Meßfläche 03 mit Jungbestand entsprechen denen der Meßfläche 01. Etwas tiefere pH-Werte und geringe Erdalkalikkonzentrationen kennzeichnen den sauren Mineralboden in einem größeren Abstand zur Entkalkungsfront (Abb. 50). Gegenüber dem Altbestand 01 verhindert der stickstoffhungrige Jungbestand 03 weitgehend Nitratauswaschungen mit dem Sickerwasser. In 1,5 m Tiefe wird vermehrt Sulfat freigesetzt.

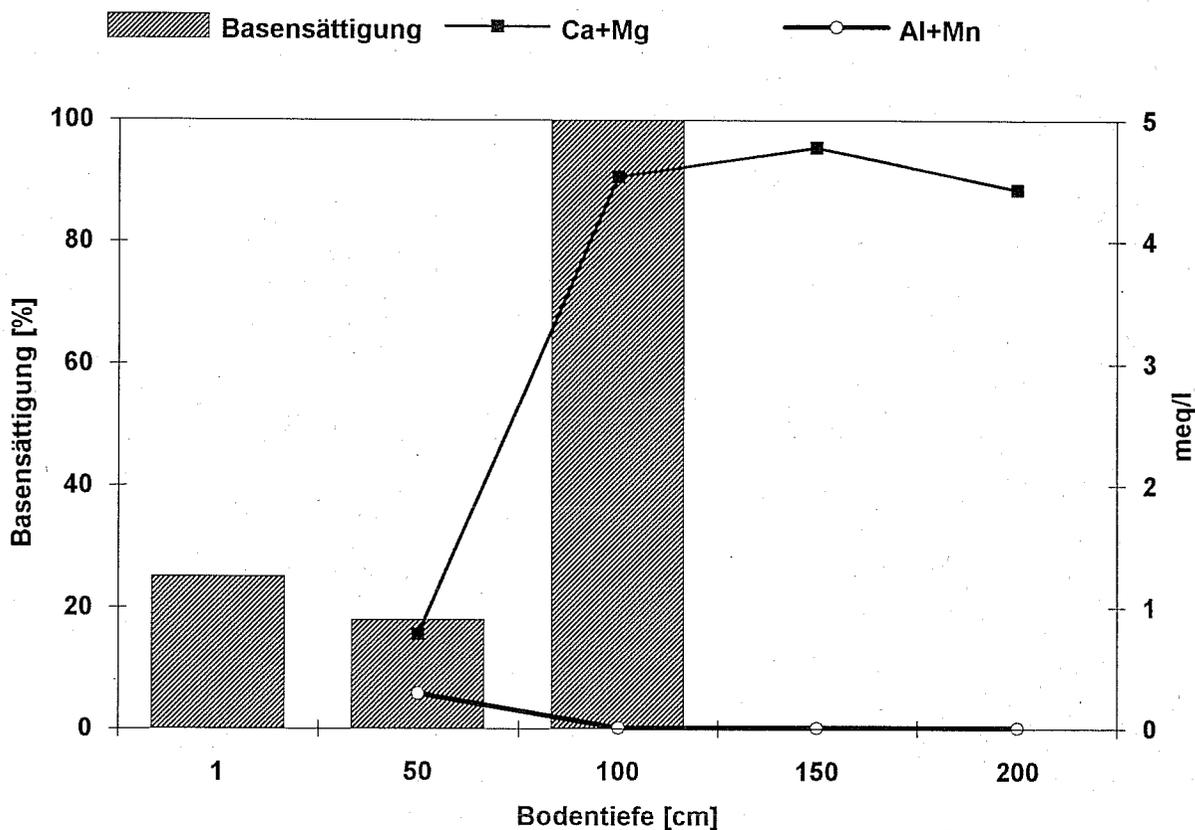


Abb. 50: Tiefenprofile der Summenkonzentrationen von Aluminium und Mangan bzw. Calcium und Magnesium im Vergleich zum %-Anteil an austauschbaren Basenkationen, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßfläche 03

4.6.2.3.3 Bodenchemie

In den Böden ist innerhalb eines Meters ein extremer Vertikalgradient der Versauerung ausgebildet, wie aus dem Tiefenprofil der $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte der einzelnen Bestandsmeßflächen ersichtlich wird (Abb. 51). Dieser Vertikalgradient hat sich im Laufe der Bodenbildung durch natürliche Prozesse der Carbonatlösung und anschließender Silikatverwitterung ausgebildet.

Am stärksten versauert sind die Auflage und der Ah-Horizont mit $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ von 3,5 - 3,8 (Tab. 182). Nach unten folgt in den Parabraunerden der Al-Horizont mit $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werten von 4,1 - 4,4 und Basensättigungen von 7 - 8%. Diese Oberböden setzen folglich bei Säureeintrag oder interner Säureproduktion Aluminium frei.

Im Bt-Horizont befindet sich der Übergang zur Pufferung durch Austausch basischer Kationen. Wie dieser am Profil optisch nicht sichtbare Gradient ausgebildet ist (scharfer Anstieg der Basensättigung oder gradueller Anstieg bis zum carbonatischen Cv-Horizont) kann an den Proben, die der Horizontmitte entnommen wurden, nicht festgestellt werden. Anhand der Laboranalysen lassen sich die Bt-Proben der verschiedenen Profile in drei verschiedene Pufferbereiche einteilen, die bei Säureeintrag folgendermaßen reagieren:

- Freisetzung von Aluminium:
 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 4,2 - 4,4 und Basensättigung 6 - 8%
- Freisetzung von Magnesium, Calcium und Aluminium:
 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 4,4 und Basensättigung 18 - 26%
- Freisetzung von Magnesium und Calcium:
 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 5,9 und Basensättigung 99%

Diese drei Pufferbereiche sind in den Bt-Horizonten untereinander angeordnet. Für die Bestimmung ihre genaue Lage wäre eine Beprobung in sehr kleinen Tiefenintervallen notwendig. Im Cv-Horizont ist Pufferung durch Carbonatlösung vorherrschend.

Die $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte liegen bei 8,1 - 8,3 und die Basensättigungen bei 100%. Über die Niederschläge eingetragene Säuren werden also spätestens beim Erreichen des Cv-Horizont vollständig neutralisiert. Ebenso wird das im versauerten Oberboden gelöste Aluminium im Bt-Horizont sorbiert oder im carbonatischen Unterboden wieder gefällt.

Unter der Hauptbaumart Fichte - der Laubholzanteil des Gebiets betrug zum Zeitpunkt der Standortkartierung 1986 nur 5% - herrscht auf den ehemals streugennutzten Standorten die Humusform Moder vor. Bei Verlichtungen kann sich Graswurzelfilz bilden. Daß die Bäume mit ihren Wurzeln noch carbonathaltige Bodenhorizonte

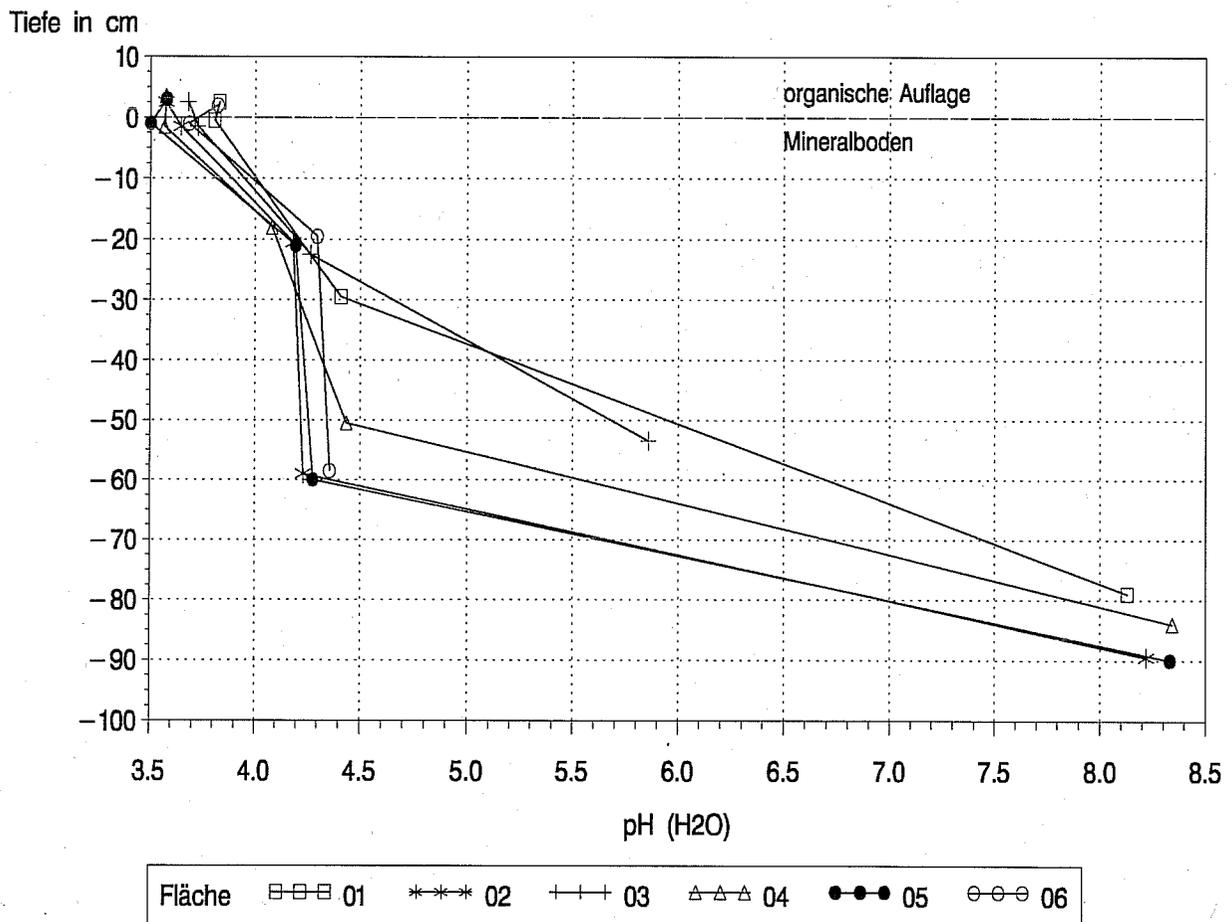


Abb. 51: Tiefenprofil des $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Wertes an den 6 Bestandsmeßflächen des Untersuchungsgebietes Ebersberger Forst

Tab. 182: Bodenchemische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Münchener Schotterebene		Ebersberger Forst		Gebietsmittel (n=6)				Boden			
Bodentyp: Braunerde bis Parabraunerde		Humusform: Moder bis rohumusartiger Moder									
Horizont	Tiefe cm	Textur	Skelett Gew.-%	d_p g/cm ³	C %	N %	C/N	P _{citrat} mg/kg	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	pH(CaCl ₂)
0-1, f, h	5-0		28	0,20	28,49	1,16	25	117	3,66	2,97	3,12
Ah	0-2	sL	17	0,78	7,70	0,37	21	100	3,64	2,99	3,10
Bv(A1)	-37	ki'sL	39	0,72	2,58	0,13	20	78	4,23	3,78	3,78
Bv(Bt)	-72	kisl-kistL	51	1,27	0,84	0,06	14	23	4,41	3,87	3,88
Cv	-100+	grusKi	74	1,74	0,26	0,02	n.b.	6	8,25	8,05	7,50

Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e in %										AK _e	
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn	mmol IÄ/kg	BS	%	
0-1, f, h	40	8	4	0	19	22	1	7	201	52		
Ah	10	3	2	0	64	14	4	2	114	15		
Bv(A1)	5	2	1	1	83	5	1	3	55	9		
Bv(Bt)	22	4	1	0	68	2	0	2	128	27		
Cv	96	4	0	0	0	0	0	0	366	100		

Horizont	Elementgesamtvorrate in kg/ha										
	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	N
0-1, f, h	49	164	85	69	8	624	577	46	0,9	4	836
Ah	57	113	280	144	17	2.137	1.995	44	1,2	6	470
Bv(A1)	496	1.090	3.992	1.771	175	26.961	24.677	1.344	12,0	72	1.987
Bv(Bt)	698	2.819	9.583	6.288	320	66.205	61.487	1.851	41,6	144	1.374
Cv	260	165.370	77.068	1.296	243	8.197	9.938	461	12,1	30	225
Summe	1.560	169.556	91.008	9.568	763	104.124	98.674	3.746	67,8	256	4.892

zonte erreichen, zeigt sich am Basenreichtum der Streu und des Ah-Horizonts. So sind die Austausch im Vergleich zu Fichtenstandorten im Spessart, Fichtelgebirge und Bayerischen Wald deutlich stärker mit Calcium und Magnesium belegt, während die pH-Werte keine Unterschiede erkennen lassen.

4.6.2.3.4 Bodenphysik

Die kiesig-sandigen Lehme im Ebersberger Forst besitzen mit 72,6 % ein hohes Porenvolumen im A-Horizont. Der überwiegende Teil wird von der Luftkapazität (43,6%) eingenommen (Tab. 183). Im B-Horizont wächst das Substanzvolumen auf Kosten der Luftkapazität und des Mittelporenanteils deutlich. Der mit der Tiefe zunehmende Kiesgehalt führt im B-Horizont zu einer Verringerung der Feldkapazität und der nutzbaren Feldkapazität. Die Entwicklungstiefe der Böden ist überwiegend gering. Daher beträgt die mittlere nutzbare Feldkapazität der Mineralbodenhorizonte in den flächenmäßig bedeutenden Standortseinheiten nur 34 bzw. 86 mm. Die Verdunstung kann deshalb zeitweilig eingeschränkt sein. Rasche Wiederauffüllung des Bodenspeichers führt andererseits zu hoher Grundwasserneubildung.

Das Gesamtporenvolumen des Schotterkörpers (C-Horizont) wurde mit Hilfe der Volumenersatzmethode ermittelt und beträgt ca. 24%. Insgesamt gibt die relativ geringe Variabilität der Parameter die Homogenität des Ausgangsgesteins und der Böden wieder.

Tab. 183: Bodenphysikalische Kenndaten, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst (6 Profile)

Horizont und Statistik	Anzahl der Proben n	Feldfeuchte [Vol.-%]	Struktur			Porenverteilung				hydrologische Parameter			
			Volumen Trocken- substanz SV [Vol.-%]	Lagerungs- dichte dB [g·cm ⁻³]	Gesamt- poren- volumen PV [Vol.-%]	weite Groporen sgPV [Vol.-%]	enge Groporen fgPV [Vol.-%]	Mittel- poren mpV [Vol.-%]	Feinporen fpV [Vol.-%]	Luft- kapazität LK [Vol.-%]	Feld- kapazität FK [Vol.-%]	nutzbare Feld- kapazität nFK [Vol.-%]	
A	24												
MW		18,6	27,4	0,71	72,6	43,6	3,7	11,4	13,88	43,6	29,0	15,1	
MAX		26,5	32,4	0,84	83,9	61,1	7,8	16,0	18,00	61,1	36,7	21,7	
MIN		11,9	16,1	0,42	67,6	30,9	0,9	6,7	9,70	30,9	20,9	8,1	
STD		3,8	4,0	0,10	4,0	7,6	2,2	2,7	1,92	7,6	4,7	4,4	
B	26												
MW		15,1	44,8	1,19	55,2	31,1	3,7	5,1	15,21	31,1	24,1	8,9	
MAX		24,3	56,3	1,49	69,0	45,0	9,6	13,6	20,14	45,0	34,5	19,0	
MIN		5,3	31,0	0,82	43,7	19,0	1,7	0,4	10,60	19,0	17,8	2,6	
STD		4,8	6,2	0,16	6,2	5,6	1,8	3,5	2,61	5,6	4,8	4,7	
C	7												
MW		5,3	75,6	2,01	24,4				4,91				
MAX		7,1	93,5	2,48	28,8				10,65				
MIN		2,9	71,2	1,89	6,5				2,94				
STD													

Das Grundwasser im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst wird an sechs Beschaffenheitsmeßstellen und an zwei im Grundwasserabstrom liegenden Wasserversorgungsbrunnen untersucht. Die Flurabstände nehmen von Süden nach Norden hin ab. Sie schwanken an den südlichen Meßstellen zwischen 17 und 23 m, an den nördlichen zwischen 7 und 16 m. Eine Versauerung des Grundwassers ist nicht zu befürchten, da die eiszeitlichen Schotter einen kaum erschöpflichen Carbonatpuffer darstellen. Ein wesentliches Gefährdungspotential bilden die westlich und südlich an das Untersuchungsgebiet angrenzende Intensivlandwirtschaft sowie Siedlungs- und Gewerbenutzungen. Aus diesen Bereichen strömt mäßig bis stark nitratbelastetes Grundwasser nordwärts in den Bereich des geschlossenen Waldgebiets. Hier nehmen die Konzentrationen auf dem Fließweg allmählich ab.

Die Beschaffenheitsdaten des Grundwassers sind in Tab. 184 zusammengefaßt. Bestimmende Kationen sind Magnesium und Calcium, die über 90% der Kationensumme ausmachen und aus der Carbonatlösung stammen. Sie werden daher von Hydrogencarbonat als Hauptanion begleitet. Bei pH-Werten über 7,0 treten Aluminium und Mangan nicht oder nur in Spuren auf. Die Nitratgehalte schwanken je nach Entfernung zu den landwirtschaftlichen Nutzflächen zwischen 20 und 50 mg·l⁻¹. An der Meßstelle 01 (Abb. 52) ist der Waldeinfluß gering, so daß hier mit 30 - 50 mg·l⁻¹ die höchsten Nitratgehalte gemessen werden.

Die im Norden des Untersuchungsgebietes gelegene Wasserversorgung profitiert von dem günstigen Einfluß der ca. 6 km langen Fließstrecke unter Wald. Dennoch erreichen die Nitratkonzentrationen ein langjähriges Niveau von 30 bis 36 mg·l⁻¹.

Tab. 184: Beschaffenheitsdaten des Grundwassers, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Münchener Schotterebene Grundwasser		Ebersberger Forst (6 Meßstellen)		WHA: München		TK25: 7837															
Hydrol. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992													
U	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	
pH VO	7,29	7,00	7,52	37	34	7,34	7,05	7,52	47	7,35	7,15	7,70	27	7,26	6,92	8,69	49				
pH Lab	7,54	7,30	8,00	36	47	7,54	7,30	8,00	47	7,70	7,40	8,00	25	7,68	7,15	8,00	47				
LF VO	628	582	566	30,7569 37	26,9175 36	633	678	583	25,4330 47	626	680	540	35,6403 22	597	680	550	49,7619 12				
LF Lab	593	633	545	26,8943 17	26,0649 35	639	685	593	26,9645 48	639	686	598	29,4779 26	627	684	564	30,8417 49				
O2	10,0	12,1	8,3	0,6185 37	0,7624 36	9,8	11,0	7,9	0,5910 37	9,5	10,6	8,6	0,5856 25	10,2	11,7	9,4	0,4273 49				
Temp VO	8,2	8,9	6,1	0,4789 37	0,2179 36	8,6	8,9	8,1	0,8751 47	8,6	10,8	7,9	0,5896 27	8,6	10,2	6,1	0,7422 49				
S04	19,0	22,1	16,5	1,4764 31	1,3131 36	18,4	26,8	14,9	1,9960 47	19,3	22,4	15,6	1,7749 26	19,2	23,0	15,8	1,7677 49				
NO3	31,6	45,0	22,1	6,1334 36	4,0331 36	30,3	37,1	21,7	3,6259 42	30,5	38,8	24,3	3,8952 25	31,9	50,4	24,3	4,9026 49				
Cl	14,3	20,1	9,6	2,8737 37	2,3591 36	14,2	17,0	10,5	2,1611 44	14,0	18,0	11,2	2,1423 25	14,0	18,6	8,3	2,6429 48				
HCO3	343,8	360,5	322,1	11,4496 36	10,9855 31	342,8	363,0	323,3	11,1339 42	341,8	364,2	316,6	11,2182 23	339,9	378,2	305,0	13,3377 48				
NO2	n.n.	0,03	n.n.	0,0120 37	0,0140 48	n.n.	0,04	n.n.	0,0140 48	n.n.	0,01	n.n.	0,0022 27	0,01	0,04	n.n.	0,0079 49				
o-P04	n.n.	0,06	n.n.	0,0099 37	0,0000 36	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 48	n.n.	0,09	n.n.	0,0236 27	0,04	0,39	n.n.	0,0765 42				
Ca	97,0	107,0	86,3	5,0219 37	4,7426 34	97,9	107,0	88,6	7,9943 47	92,3	108,0	77,0	8,5212 26	90,5	100,0	79,0	5,3189 49				
Mg	26,0	27,9	23,0	1,2610 37	2,2655 35	25,9	30,0	20,0	1,6874 48	25,4	30,0	21,0	1,9080 27	26,5	30,0	23,0	1,6915 49				
Na	2,9	4,9	1,8	0,8543 36	0,8076 35	3,2	4,9	2,1	0,7901 47	2,9	4,1	1,9	0,6907 27	3,1	4,4	2,2	0,6627 49				
K	1,3	1,8	0,7	0,2244 37	0,2048 35	1,4	1,9	1,1	0,3293 47	1,3	1,9	0,5	0,3074 25	1,4	1,9	1,0	0,2618 49				
NH4	0,010	0,084	n.n.	0,0191 37	0,0053 36	n.n.	0,021	0,103	0,0237 48	0,013	0,055	n.n.	0,0138 26	0,013	0,209	n.n.	0,0318 42				
Al	0,03	0,08	n.n.	0,0171 37	0,0166 36	0,03	0,05	n.n.	0,0193 48	n.n.	0,07	n.n.	0,0191 27	0,02	0,06	n.n.	0,0238 49				
Fe	n.n.	0,05	n.n.	0,0156 37	0,0043 36	n.n.	0,01	n.n.	0,0208 48	n.n.	0,02	n.n.	0,0068 27	n.n.	0,02	n.n.	0,0060 49				
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 37	0,0000 36	n.n.	n.n.	n.n.	0,0039 48	n.n.	0,01	n.n.	0,0019 27	n.n.	0,28	n.n.	0,0396 49				
Pb	n.n.	0,001	n.n.	0,0003 37	0,0014 35	n.n.	0,008	n.n.	0,0004 48	n.n.	0,001	n.n.	0,0003 27	n.n.	0,001	n.n.	0,0003 49				
Cd	0,0002	0,0013	n.n.	0,0003 37	0,0007 35	0,0006	0,0028	n.n.	0,0046 46	0,0011	0,0320	n.n.	0,0019 26	n.n.	0,0004	n.n.	0,0001 49				
Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0005 30	0,0011 24	0,001	0,006	n.n.	0,0000 45	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****				
Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 36	0,0000 12	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 7	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000 7	n.n.	0,0004	0,0020	0,0006 14				
Zn	n.n.	0,03	n.n.	0,0080 37	0,0062 36	0,01	0,02	n.n.	0,0252 48	0,05	0,15	n.n.	0,0425 25	0,02	0,08	n.n.	0,0167 49				
Ba	0,05	0,15	n.n.	0,0313 37	0,0201 36	0,05	0,11	0,03	0,0460 47	0,04	0,07	0,03	0,0091 27	0,03	0,04	0,03	0,0049 49				
TOC	1,1	2,3	0,3	0,5089 37	0,3759 36	1,1	2,3	0,5	0,1698 48	1,1	2,3	0,5	0,5574 26	0,9	1,9	0,5	0,3113 48				
SPAK254	0,7	2,2	0,2	0,6244 32	0,5112 36	0,7	1,8	0,2	0,6631 48	2,7	5,4	0,2	1,8987 18	0,9	1,9	0,5	0,8108 42				
S102	6,9	7,1	6,8	0,1247 18	0,3675 36	7,0	7,7	6,4	0,5207 48	7,1	9,9	4,5	1,3130 26	7,2	9,4	5,1	1,0727 49				
KBB,2	0,6	0,9	0,3	0,1307 34	0,0917 36	0,7	0,8	0,4	0,1702 44	0,8	1,6	0,3	0,4398 23	0,7	1,4	0,3	0,2550 49				

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in l/m, KBB,2 in mmol/l)

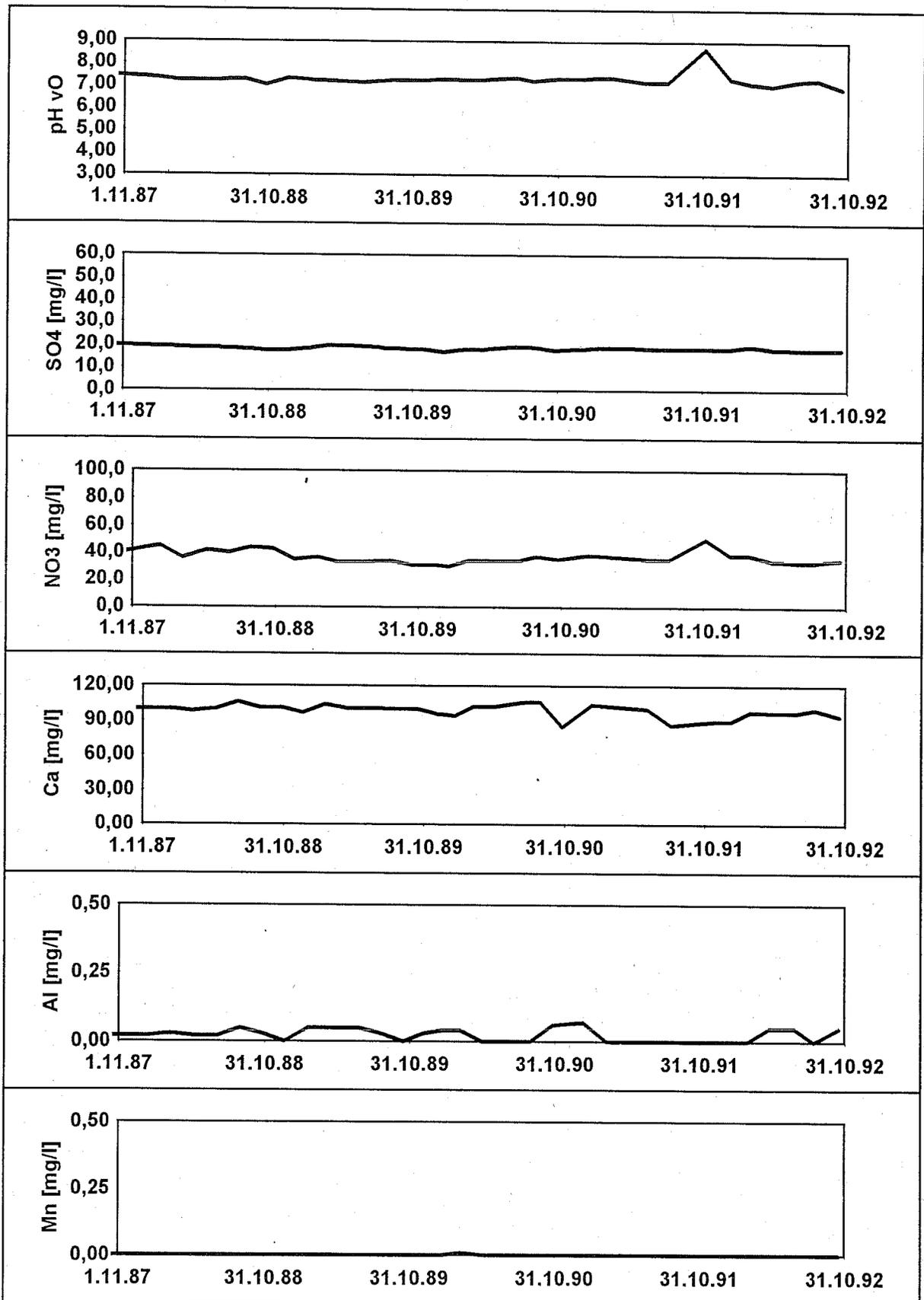


Abb. 52: Ganglinien ausgewählter Parameter im Grundwasser, Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst, Meßstelle 01

Tab. 185: Beschaffenheitsdaten des Rohwassers der zugeordneten Wasserversorgung (Ebersberger Forst)

Münchener Schotterebene Ebersberger Forst Rohwasser		Wasserversorgung		TK25: 7837		4213000		MWA: München		Meßstelle:				
Hydrolog. Jahr: 1988		1989		1990		1991		1992						
MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n	MW	MAX	MIN	STD	n
pH VO	7,17	7,00	7,30	7	pH VO	7,26	7,15	7,40	4	pH VO	7,17	6,80	7,40	7
pH Lab	7,61	7,52	7,70	7	pH Lab	7,60	7,40	7,70	4	pH Lab	7,77	7,52	8,00	7
LF VO	631	649	621	8,8710	LF VO	634	639	628	4,4969	LF VO	635	635	0,0000	1
LF Lab	616	643	600	16,4981	LF Lab	645	653	640	4,7631	LF Lab	634	639	614	8,2090
O2	10,8	12,6	9,8	0,9775	O2	10,6	11,3	9,8	0,5494	O2	10,7	12,1	10,0	0,7365
Temp VO	9,7	11,1	8,7	0,8492	Temp VO	9,2	10,5	8,3	0,8170	Temp VO	8,7	9,4	8,1	0,3959
S04	18,0	18,3	17,7	0,1906	S04	17,7	18,2	16,7	0,4920	S04	18,9	19,6	18,1	0,5303
NO3	33,3	35,3	30,0	1,5500	NO3	30,8	32,9	26,4	1,9924	NO3	34,6	36,3	32,4	1,1903
Cl	14,6	15,4	13,8	0,5091	Cl	13,7	14,8	11,5	1,0254	Cl	14,7	16,2	12,8	1,0595
HCO3	344,7	352,0	338,6	3,9991	HCO3	341,3	347,1	336,7	3,8005	HCO3	336,1	341,6	317,2	8,3193
NO2	n.n.	0,04	n.n.	0,0135	NO2	n.n.	0,30	n.n.	0,1019	NO2	0,01	0,04	n.n.	0,0095
o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	o-P04	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	o-P04	0,01	0,03	n.n.	0,0110
Ca	99,3	109,0	95,0	4,4679	Ca	100,3	111,0	93,4	6,4256	Ca	92,7	100,0	89,0	3,6922
Mg	26,3	28,4	25,0	1,3360	Mg	26,7	29,0	24,5	1,5801	Mg	26,9	29,0	24,0	1,4569
Na	3,2	3,9	2,8	0,3653	Na	3,3	3,7	3,2	0,1666	Na	3,2	3,5	2,5	0,3194
K	1,2	1,3	1,0	0,1309	K	1,4	1,7	1,2	0,1457	K	1,4	1,8	1,3	0,1498
NH4	0,020	0,058	n.n.	0,0199	NH4	0,009	0,032	n.n.	0,0140	NH4	0,026	0,073	n.n.	0,0162
Al	0,02	0,04	n.n.	0,0198	Al	0,03	0,04	0,01	0,0116	Al	0,02	0,08	n.n.	0,0247
Fe	0,02	0,15	n.n.	0,0525	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0035	Fe	n.n.	0,01	n.n.	0,0035
Mn	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Mn	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Mn	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Pb	n.n.	n.n.	n.n.	0,0007
Cd	n.n.	0,0002	n.n.	0,0001	Cd	0,0003	0,0008	n.n.	0,0003	Cd	0,0001	0,0004	n.n.	0,0001
Cr	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Cr	n.n.	0,001	n.n.	0,0005	Cr	*****	*****	*****	*****
Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000	Hg	n.n.	n.n.	n.n.	0,0000
Zn	0,11	0,23	0,01	0,0676	Zn	0,18	0,23	0,14	0,0348	Zn	0,12	0,16	0,06	0,0131
Ba	0,10	0,16	0,03	0,0478	Ba	0,07	0,09	0,05	0,0139	Ba	0,03	0,05	0,01	0,0131
TOC	1,2	2,3	0,4	0,5890	TOC	1,1	3,2	0,3	0,9114	TOC	1,0	1,4	0,5	0,4500
SPAK254	1,0	1,6	0,4	0,4069	SPAK254	0,8	1,6	0,2	0,5451	SPAK254	3,4	5,8	1,0	2,4000
S102	6,6	6,8	6,4	0,1247	S102	6,5	7,2	5,8	0,4309	S102	6,4	7,1	5,8	0,5312
KBB,2	0,6	0,7	0,6	0,0585	KBB,2	0,7	0,7	0,6	0,0368	KBB,2	0,6	0,8	0,4	0,1434

(alle Werte in mg/l, Temp VO in °C, LF in µS/cm, SPAK254 in 1/m, KBB,2 in mmol/l)

Offensichtlich kann das im Wald versickernde Wasser keinen entscheidenden Beitrag zur Verminderung der Nitratbelastung des Grundwassers leisten. Dies läßt sich durch eine derzeit ungünstige Faktorenkombination von Waldschäden, atmosphärischem Stickstoffeintrag und Waldwasserhaushalt erklären. Die langfristig zu erwartenden günstigen Einflüsse der umfangreichen Waldbaumaßnahmen auf die Grundwasserqualität sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.

4.6.2.5 Oberirdische Gewässer

Oberirdische Gewässer sind im Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst nicht vorhanden.

5. Schlußfolgerung

Als wesentliche Säurebildner bei der Grundwasserversauerung haben sich erwiesen:

- Schwefelverbindungen, die überwiegend als mobiles Anion Sulfat in die Sickerzone gelangen,
- Stickstoffverbindungen, die hauptsächlich als Nitrat, weniger in Form von Ammonium in das Grundwasser verlagert werden können.

Die Emissionsquellen sind weitgehend bekannt, ebenso mögliche Wege zur Einschränkung der Emissionen. Bezüglich Schwefel deuten sich erste Verringerungen der atmosphärischen Belastungen an. Über die gegenwärtigen Wirkungen auf den Wasserkreislauf und die Trinkwasserversorgung sowie den im Projektverlauf erkennbaren Handlungsbedarf der Wasserwirtschaftsverwaltung wurde dem Auftraggeber mehrfach berichtet. Eine Gesamtauswertung ist in Form eines Endberichtes geplant. An dieser Stelle soll lediglich eine Bewertung der angewandten Methoden erfolgen.

5.1 Bedeutung der Methoden in der praktischen Anwendung

Zur Aufklärung der Wirkungen diffuser Schadstoffeinträge auf das Grundwasser werden dessen Belastungspfade untersucht. Dazu dient im vorgestellten Programm das Konzept der integrierten Erfassung von Meßebenen im Wasser- und Stoffkreislauf. Ausgehend von Meßmethoden aus dem Wissenschaftsbereich, die zur Klärung der Zielfragen unabdinglich waren, mußte auch deren praktische Anwendbarkeit im Rahmen von Gewässeraufsicht und Gewässerkunde untersucht und weiterentwickelt werden. Die Notwendigkeit der Anwendung integrierter Meßmethoden ergibt sich aus der allgemein gegebenen Belastungs- und Konfliktsituation der in unserem Siedlungsraum zu schützenden Gewässer. Sie wird zunehmend von den mit Umweltaufgaben befaßten Institutionen erkannt. Einige

praxisbezogene Wertungen der angewandten Methoden sind im Folgenden zusammengefaßt.

Die atmosphärische Stoffdeposition, der umfangreiche atmosphärenchemische Prozesse vorausgehen und die selbst sehr differenziert abläuft, ist exakt nur mit großem meßtechnischem Aufwand zu fassen. Andererseits bietet die verwendete Bulk-Meßtechnik eine praktikable Möglichkeit, zu guten Näherungswerten der Deposition zu gelangen. Das zeigen auch die hier vorgestellten Daten. Darüberhinaus ist es erforderlich, für die Stoffumsätze im Kronenraum und im Boden von Waldbeständen, die den Protonen- und Stickstoffumsatz beeinflussen, praxisgerechte Schätzmethode zu finden. Damit kann die Abschätzung der tatsächlichen Gesamtdosition aus der Atmosphäre und der tatsächlichen Belastung des Sickerwassers deutlich verbessert werden.

Datenvergleiche mit anderen Meßprogrammen erfordern allerdings eine genaue Methodenangabe. Bestrebungen zur methodischen Vereinheitlichung - wie sie in diesem Projekt zwischen Landesamt für Wasserwirtschaft und Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft zur Anwendung kamen - sind daher zu begrüßen. Ergänzungen durch aufwendigere Depositionsmeßgeräte (z.B. wet-only-Sammler, Nebelsammler, Gasdetektoren) an Schwerpunktmeßstellen sollten angestrebt werden. Die bisherigen Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß mit der bis Oktober 1994 vorliegenden, 7-jährigen Meßreihe statistisch verlässliche Belastungsdaten und Trendentwicklungen für die Untersuchungsgebiete erstellt werden können.

Die Auftrennung der Messungen auf drei Sammelmethode für Hauptinhaltsstoffe (mit Nährstoffen), Spurenmetalle und organische Spurenstoffe ist prinzipiell notwendig und hat sich bewährt. Trotz der geringen Metalleinträge ist eine Umstellung auf Stichprobenverfahren wegen der hohen Variation der Einträge nicht erlaubt. Dagegen kann das Meßprogramm durch Beschränkung auf aktuelle Leit- und Gefährdungsparameter sowie auf Standardmeßstellen reduziert werden. Organische Einträge werden in zukünft-

tigen Depositionsmeßprogrammen ihrer Bedeutung entsprechend umfangreicher erfaßt werden müssen.

Ergänzende Erhebungen zur Struktur des Geländes und der Vegetation im Umfeld der Messung geben Auskunft über die Immissions-situation und die Interzeptionsleistung der Oberflächen. Sie dienen vor allem der Übertragung von Depositionsdaten auf die Fläche. Je nach Vegetationscharakter sollten in der Regel die zuständigen Fachverwaltungen (Wald, Landwirtschaft) die erforderlichen Zustandsdaten bereitstellen.

Zur Untersuchung der Stoffverlagerung im Sickerraum von Waldstandorten gibt es verschiedenste Methoden, von denen die Saugkerzenmethode als besonders praktikabel eingestuft wird. Dies gilt gleichermaßen auch für landwirtschaftlich genutzte und sonstige Freiflächen, wie zum Beispiel das "Nitratprojekt Augsburg" des Landesamtes für Wasserwirtschaft erwiesen hat. Vor allem die guten Einsatzmöglichkeiten in vielfacher Wiederholung mit unterschiedlichen Einbautiefen sind ein entscheidender Vorteil gegenüber Lysimetern. Im Prinzip ist diese Methode den Unterdrucklysimetern verwandt, bei denen der Lysimeterablauf nach den im selben Niveau gemessenen Matrixpotentialen geregelt wird. Diese Regelung wurde im vorliegenden Programm durch eine begrenzte Absaugung des Grobporenbereiches mit 300 hPa ersetzt. Damit ist sichergestellt, daß ausschließlich frei perkolierendes Wasser beprobt wird. Die Bestimmung des Sickerwasserflusses und der verlagerten Stoffmengen ist allerdings nur möglich, wenn zusätzlich der Sickerwasserfluß geschätzt oder z. B. mit Tensiometern erfaßt wird. Ein gut organisierter Sickerwassermeßplatz wird daher zusätzlich mit Feuchtesonden (Tensiometer, TDR-Sonden) zu bestücken sein. Im Untersuchungsprogramm Saurer Regen/Grundwasser ist die Bodenfeuchtemessung wegen der sehr umfangreichen und vordringlichen hydrochemischen Beobachtungen auf eine Intensivmeßfläche begrenzt. Die gewonnenen Daten sind in gewissem Umfang methoden- und materialabhängig. Entsprechende Informationen gehören daher zum Untersuchungsprogramm. Bei manchen Problemstoffen bzw. Fragestellungen können Durchlauflysimeter gegenüber Saugkerzen von Vorteil sein. Destruktive

Methoden (z. B. Gewinnung von Bohrproben, die extrahiert werden) sind dagegen auf Dauermeßflächen nur begrenzt einsetzbar.

Zur Interpretation der Sickerwasserdaten werden bodenchemische und bodenphysikalische Zustandsgrößen benötigt, die in der Regel von den Labors der einschlägigen Fachbehörden oder Privatlabors zu gewinnen sind.

Die zugehörige Grundwasser-Beschaffenheitsmeßstelle ist aus technisch-organisatorischen Gründen vorteilhaft am Ort des integrierten Meßkomplexes untergebracht. Vorrang hat allerdings die Wahl des Meßortes aufgrund der fachlich (hydrochemisch) sinnvollen Zuordnung des Zustrombereiches zu den Ortsfaktoren des Depositions- und Sickerwassermeßplatzes. Gegenüber der vorgestellten Probenahmetechnik sind fallweise differenziertere Methoden einzusetzen, die z. B. eine hydrochemische Horizontierung des Grundwasserkörpers ermöglichen.

Im Verlauf des Untersuchungsprogramms gestaltete sich die Hydrochemie und Hydrodynamik des tieferen Untergrundes zu einem wesentlichen Arbeitsschwerpunkt. Die Fragestellungen sind komplex und besonders in den Mittelgebirgen mit ihren vielfältigen Verwitterungsbildungen Gegenstand aktueller Forschung. Im Hinblick auf den Wasserreichtum der Mittelgebirgslandschaften, deren meist oberflächennahe Grundwasservorkommen empfindlich auf Veränderungen im Wasser- und Stoffkreislauf reagieren, sind weitere Grundlagenuntersuchungen wasserwirtschaftlich wünschenswert.

Hierzu gehören auch die langfristigen Messungen des Wasserhaushalts und des Stoffein- und Stoffaustrags in Kleineinzugsgebieten, die eine Basis der vorgestellten Untersuchung bilden und im Folgeprogramm fortgeführt werden. Stoffbilanzen geben Aufschluß über Veränderungen und Destabilisierungsphasen im Einzugsgebiet, von denen immer auch das oberflächennahe Grundwasser und der Gebietsabfluß betroffen sind.

Die umfangreiche Zuarbeit der Wasserwirtschaftsämter bei der Probenahme und vor-Ort-Messung bildet die Basis der Erhebungen von Roh- und Reinwässern, die den großflächigen Bezug herstellen. Ohne die regionalen Ämter mit ihren Fachkapazitäten sind Erhebungen mit der hier geforderten Informationsdichte nicht möglich. Langfristig sollten auch die modernisierten Laborkapazitäten der Wasserwirtschaftsämter verstärkt für überregionale Programme genutzt werden, wie dies im vorliegenden Fall bezüglich des Schwermetallabors in Bayreuth bereits geschehen ist.

Die Anbindung der komplexen Datenstrukturen an die EDV-Technik der Verwaltung erfordert flexible Ansätze. Bewährt hat sich im Teilprojekt 1 die Kombination von Zentralrechner (Datenbank mit Urdateien, vorhandene Anwenderprogramme) und PC-Auswerteprogrammen. Die bislang eigenständige, begrenzt leistungsfähige Datenbank des Untersuchungsprogramms ist im Rahmen des wasserwirtschaftlichen Folgeprogramms in die zentrale Datenhaltung im ADABAS-System zu überführen. Diese Entwicklungsarbeit muß aus Gründen der Arbeitseffektivität schrittweise, auf der Basis funktions- und leistungsfähiger PC-Software erfolgen. Grundlage ist eine entsprechende Aus- und Fortbildung des Personals.

5.2 Folgerungen im Bereich der Wasserversorgung

Die Diskussionen um Sinn und Zweck überregionaler Netze in den letzten Jahren sind abgeschlossen. So erfolgt ein Teil der Wasserversorgung in den wasser- und waldreichen Mittelgebirgen nach wie vor auf der Basis kleiner und kleinster Einheiten. Leider zeigt sich nunmehr, daß der Wald den meist oberflächennahen, kleinräumigen Grundwasservorkommen nur einen begrenzten Schutz bieten kann. Diffuse Stoffeinträge aus der Atmosphäre sind in den besonders filteraktiven Waldbeständen höher als im Freiland.

Die aus der Säurebelastung folgenden Konsequenzen für die Wasserwirtschaft sollen ausführlich im Abschlußbericht des Untersuchungsprogramms dargestellt werden. Grundsätzlich ist anzumerken, daß ein hoher Prozentsatz der Rohwässer in Bezug auf die

im Reinwasser geforderten pH-Wert-Kriterien ungenügend entsäuert wird. Vor allem die Einhaltung des nach TrinkwV geforderten Delta-pH-Wertes ist ein allgemeines Problem bei den gering mineralisierten, sauren Rohwässern. Bei ungenügender Entsäuerung entsprechen die Gehalte von Aluminium, Eisen und Mangan im Reinwasser vielfach nicht den Anforderungen der Trinkwasser-verordnung. Aggressives, nicht im Kalk-Kohlensäuregleichgewicht befindliches Wasser und erhöhte Metallgehalte können Korrosionsprobleme unterschiedlichen Ausmaßes hervorrufen. Beryllium und Barium als mögliche Begleitelemente des Aluminiums, wie auch andere Spurenmetalle wiesen keine nennenswerten Konzentrationen auf. Allerdings ist darauf hinzuweisen, daß bei Wässern mit pH-Werten kleiner 6,5 in Verbindung mit Kupferinstallationen eine Gesundheitsgefährdung durch hohe Kupferkonzentrationen gegeben ist. Eine ordnungsgemäße Entsäuerung ist daher vorrangiges Aufbereitungsziel.

Der flächendeckende Untersuchungsansatz, verbunden mit der äußerst wichtigen Beobachtung saisonaler Schwankungen der Roh- und Reinwasserqualität, gibt einen guten Überblick über den Stand der Aufbereitungstechnik. Er wurde in das Entwicklungsvorhaben eingebunden, denn die erforderliche Datengrundlage können die zuständigen Aufsichtsbehörden allein auf der Grundlage der vorgeschriebenen Anlagenkontrollen und im Rahmen der regulären Amtsaufgaben nicht erarbeiten. Es zeichnet sich ab, daß bei einer Vielzahl von Kleinstanlagen eine Umrüstung aus Gründen des vorhandenen Anlagenkonzepts und mangelnder Wirtschaftlichkeit nicht möglich sein wird. Wünschenswerte Konzepte einer eigenständigen, ortsgebundenen Wasserversorgung müßten unter Umständen zugunsten einer begrenzten Umstrukturierung - hin zu größeren Versorgungsnetzen - aufgegeben werden.

5.3 Ausblick

Charakteristisches Merkmal des Untersuchungsprogramms ist die fachübergreifende Zusammenarbeit und die damit verbundene komplexe Datenauswertung. Eine Zusammenarbeit von Behörden - wie hier zwischen Wasserwirtschaftsverwaltung und Staatsforstverwaltung - wird bei vergleichbaren Aufgabenstellungen im Umweltbereich zunehmend erforderlich sein, denn

- die mit Naturprozessen verbundenen Fachprobleme erfordern die wirkungsvolle Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen,
- die Datengrundlage bei umfangreicheren Untersuchungen, aber auch Einzelproblemen wird durch Arbeitsteilung und Datenaustausch verbessert,
- durch Zusammenarbeit werden die hohen Kosten der heutzutage notwendigen Umweltüberwachung in Grenzen gehalten.

Die mit dem Wasserkreislauf verbundenen Stoffflüsse, im besonderen die Stofftransporte im Grundwasser und in den oberirdischen Gewässern, werden ganz erheblich von der Ausprägung und den Reaktionen der benachbarten Ökosysteme geprägt. Deren wissenschaftliche Untersuchung ist nicht Aufgabe der Wasserwirtschaftsverwaltung. Als Ergebnis des Untersuchungsprogramms ist vielmehr festzuhalten, daß langfristige gewässerbezogene Messungen des Stoffeintrags und der Stoffverlagerung im Sickerraum eine wichtige Voraussetzung für wissenschaftliche Detailuntersuchungen darstellen, die in der Regel von universitären oder privaten Stellen zu leisten sind. Diese Langfristigkeit zeichnet alle klassischen Meßprogramme der Wasserwirtschaftsverwaltung aus und macht sie bei praxisbezogenen wie wissenschaftlichen Untersuchungen besonders wertvoll.

Im Zuge der Untersuchungen hat sich gezeigt, daß im nationalen und internationalen Bereich ähnliche Lösungswege bei der Bewertung von diffusen Schadstoffeinträgen gesucht werden. Beson-

ders die gewässerbezogene Depositionsmessung wird als notwendig erkannt, um langfristig Gefährdungspotentiale aus diffusen Stoffeinträgen für Grundwasser und oberirdische Gewässer beurteilen zu können. Die Aktivitäten bzw. Meßinteressen der Länderbehörden auf diesem Gebiet machen methodische Abstimmungen erforderlich, denen zunehmend durch entsprechende Regelentwürfe Rechnung getragen wird.

Der Forschungskomplex Grundwasserversauerung ist ein herausragendes Beispiel für die praxisnahe Anwendung der vorgestellten Meßtechniken. Waldstandorte sind besonders versauerungssensibel und daher bei diesem Problem bevorzugter Untersuchungsgegenstand. Belastungen aus der Landwirtschaft lassen sich in gleicher Weise an Typmeßstellen kontrollieren. Allerdings müssen langfristige Meßreihen über diese aktuellen wasserwirtschaftlichen Probleme hinaus in der Lage sein, verlässliche Datengrundlagen für den Gewässer- und Grundwasserschutz zu liefern, denn eine generelle Entlastung der ober- und unterirdischen Gewässer ist angesichts der zunehmenden globalen Umweltprobleme nicht zu erwarten.

6. Zusammenfassung

Das Entwicklungsvorhaben "Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser" wird seit 1986 gemeinsam vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft durchgeführt. Die Untersuchungen gehen auf einen Beschluß des Bayerischen Landtags zurück, nachdem Voruntersuchungen wahrscheinlich machten, daß auch in Bayern mit erheblichen direkten und indirekten Folgewirkungen der ubiquitären Luftverschmutzung auf das Grundwasser zu rechnen sei. Ziel der mit Verlängerung auf 9 Jahre (1986-1994) angelegten Untersuchung ist die Dokumentation der versauerungsbedingten Grundwasserbelastungen und ihrer Prozesse, die Prognose der weiteren Entwicklung und eine Darstellung des wasserwirtschaftlichen Handlungsbedarfs. Die vorliegende Dokumentation umfaßt einen ausführlichen Methodenteil, eine exemplarische Darstellung und Zusammenfassung der in 5 hydrologischen Jahren (1988-1992) erhobenen Daten sowie eine Auflistung der geprüften Daten auf Datenträger. Letztere werden damit über den begrenzten Arbeitsrahmen des Entwicklungsvorhabens hinaus wissenschaftlichen Auswertungszwecken und Einzeluntersuchungen zugänglich gemacht. Die Dokumentation dient weiterhin als Vorläufer für den in Vorbereitung befindlichen Schlußbericht des Untersuchungsprogramms, der eine auf die Grundwasserversauerung begrenzte Datenauswertung mit Darstellung des wasserwirtschaftlichen Handlungsbedarfs enthalten wird.

Das Gesamtvorhaben gliedert sich in zwei Teile:

Teilprojekt 1: "Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser"; hierzu wird in vier Modell-Untersuchungsgebieten der grundwasserbezogene Wasser- und Stoffumsatz von der atmosphärischen Deposition bis zum Gebietsausstrag langfristig untersucht.

Teilprojekt 2: "Auswirkungen Saurer Niederschläge auf die Wasserversorgung unter besonderer Berücksichtigung wasser- und korrosionschemischer Aspekte"; hierzu werden die Roh- und Reinwasserqualität der Wasserversorgungen in den betroffenen Gebieten und deren aufbereitungstechnische Probleme untersucht.

Dem Methodenteil ist mit Kapitel 2 eine Beschreibung der untersuchten Regionen sowie der Modell-Untersuchungsgebiete vorangestellt. Nicht dargestellt sind die Namen und Standorte der untersuchten Wasserversorgungen. Datenanwender, die über regional-statistische Zusammenhänge hinaus Informationen wünschen, müssen diese beim Landesamt für Wasserwirtschaft beantragen. Die ausführliche Darstellung der Meßflächen-Charakteristiken in den Modellgebieten soll interessierten Anwendern die für die Interpretation notwendige Zuordnung von Daten ermöglichen.

Kapitel 3 enthält eine Zusammenstellung der wesentlichen im Untersuchungsprogramm angewandten Methoden in der Reihenfolge der natürlichen Abschnitte des Stofftransports. Es beginnt daher mit den forstfachlichen Methoden, die für forsthydrologische Fragen die gleiche Bedeutung haben wie etwa Ertragsstudien und Schlagkarteien für hydrologische Untersuchungen in der Landwirtschaft. Im weiteren sollen die ausführlichen Darstellungen einen eindeutigen Bezug der gewonnenen Daten zur jeweiligen Methode ermöglichen. Außerdem dienen sie der Verdeutlichung der Qualitätssicherung bei der Probenahme, die mit entscheidend für die Datengüte ist. Im Abschnitt Wasseranalytik wird auf die Darstellung der Plausibilitätskontrollen besonderer Wert gelegt. Diese erfordern wegen der Vielfalt der Meßobjekte und z.T. abweichend von Standardverfahren der Wasseranalytik differenzierte Vorgehensweisen. Abschließend ist in Kapitel 3 die Vorgehensweise bei der nachfolgenden Darstellung der Meßergebnisse erläutert.

Die in Kapitel 4 dargestellten Meßergebnisse bilden eine exemplarische Auswahl von Basisdaten aus den Rahmen- und Inventurprogrammen sowie von zusammengefaßten Daten und Zeitreihen aus der Dauerbeobachtung. Sie sind gegliedert nach den Regionen Spessart, Frankenwald, Fichtelgebirge, Oberpfälzer Wald, Bayerischer Wald und Münchener Schotterebene. Vorangestellt ist jeweils die Situation der Wasserversorgungen. Mit dem Chemismus der Rohwässer wird der regionale hydrochemische Charakter der oberflächennahen Grundwasservorkommen dokumentiert, der sich wiederum zu den entsprechenden Ergebnissen der Untersuchungsgebiete in Beziehung setzen läßt. Die Daten der Untersuchungsgebiete sind wie im Methodenteil in der Reihenfolge der Prozessebenen des Wasserkreislaufs abgehandelt.

Aus den regelmäßig erhobenen Waldzustandsdaten geht hervor, daß die Entwicklung in den Untersuchungsgebieten etwa im großräumigen Trend liegt. Im Hinblick auf die möglicherweise zunehmende Labilität der Waldökosysteme bilden diese Daten eine äußerst wichtige Grundlage für zukünftige wasserwirtschaftliche Bewertungen. So werden aus längeren hydrologischen Meßreihen als den hier vorliegenden waldschadensbedingte Veränderungen des Abflußregimes abgeleitet (CASPARI 1990). Für hydrochemische Veränderungen des Sickerwassers nach aktuellen Waldschädigungen (Windwurf, Borkenkäferbefall) gibt der Ergebnisteil einige Beispiele aus den Untersuchungsgebieten.

Die Flächenanteile von Baumart und Baumalter (Höhe und Ausbildung der Kronenschicht) als Einflußfaktoren der trockenen Deposition sind bei der Berechnung der mittleren Gebietseinträge berücksichtigt. Damit geben die vorgestellten Daten auf der Basis von 4 - 8 Meßflächen pro Untersuchungsgebiet eine sehr genaue Flächeninformation. Die fünfjährigen Meßreihen (1988 - 1992) erweisen einen Rückgang des Säureeintrags bei wenig veränderten, mäßigen bis hohen Stickstoffeinträgen. Für eine statistische Absicherung der Trends sind die Meßreihen noch zu kurz.

Für den in Buchenbeständen wichtigen Anteil der Deposition mit dem Stammabfluß sowie für die gesondert erfaßten Spurenmetalleinträge werden ergänzende Informationen gegeben.

Ausgehend von Beobachtungstiefen bis max. 2 m unter Gelände mußte der Sickerraum bis in größere Tiefe erschlossen werden, um die bezüglich des Grundwassers noch wirksamen Puffersysteme beschreiben zu können. Das Material der Grundwasserbohrungen war hierfür nicht geeignet. In den Untersuchungsgebieten Lehstenbach und Markungsgraben wurde die Silikatpufferzone wegen des harten Untergrundes nicht erreicht. Dagegen konnte im Gebiet Metzenbach/Birkwasser modellhaft die vertikale Abfolge der Pufferzonen erfaßt werden. Die breite Palette der exemplarisch vorgestellten Daten gibt einen Eindruck von der hydrochemischen Dynamik im Zusammenhang mit der Grundwassergenese. Hervorgehoben sind die versauerungsrelevanten Grundzusammenhänge der Metallfreisetzung und die Vorgänge der Nitratverlagerung. Gebietsweise sind den Sickerwasserdaten bodenchemische und bodenphysikalische Kenndaten nachgeordnet.

Das Grundwasser wird an 3-7 Beschaffenheitsmeßstellen pro Untersuchungsgebiet sowie benachbarten Wasserversorgungen und verschiedenen Quellen erfaßt. Es ist in den Kristallin- und Sandsteingebieten, entsprechend dem geringen Lösungspotential der Gesteine, äußerst gering mineralisiert. Stoffbelastungen aus Niederschlägen und aus Mobilisierungsprozessen in der Bodenzone dringen zum Teil rasch in das Grundwasser ein, wie die Daten aus dem Untersuchungsgebiet Lehstenbach erweisen. Neben hydrogeochemischen Prozessen bestimmen demnach auch hydrodynamische Prozesse die Qualität des Grundwassers. Aus den jährlichen Schwankungsbreiten einzelner Inhaltsstoffe läßt sich die beachtliche Saisonalität dieser Prozesse ableiten, die allerdings bei ausreichend langen Fließwegen und Pufferzeiten gedämpft wird. In der Wasserversorgung sind große saisonale Schwankungen des pH-Wertes und der Metallgehalte im Rohwasser ein Grundproblem für die mit einfacher Technik gefahrenen Entsäuerungsanlagen. Für das carbonatgepufferte Grundwasser des Untersuchungsgebietes

Ebersberger Forst geben die Daten einen Überblick über die Stoffbelastungen aus dem oberstromigen Landwirtschafts- und Siedlungsgebiet und das Ausmaß der unter Waldeinfluß erfolgenden Belastungsminderung. Aus diesen Untersuchungen werden wertvolle Erkenntnisse für die Wirkungen des Waldes und der Forstwirtschaft auf die Grundwasserqualität in mischgenutzten Gebieten gewonnen.

Grundwasser bestimmt über den Gebietsabfluß zusammen mit den Hangabflußkomponenten die Menge und Qualität der Fließgewässer in den Einzugsgebieten. Somit besteht auch eine enge Beziehung zu den wasserwirtschaftlichen Problemen bei der Versauerung der quellnahen Fließgewässer. Deren Abfluß- und Beschaffenheitsdaten werden für die Pegelmeßstellen vorgestellt. Aus den Abflußfrachten und den Eintragsfrachten (Depositionen) können für definierte Einzugsgebiete Stoffbilanzen erstellt werden. Sie geben wesentliche Hinweise auf Reaktionen des Untergrundes (Stoffrückhalt und Stoffabgabe) unter den gegenwärtigen Bedingungen des Eintrags und der Untergrundbeschaffenheit. Wegen des engen Zusammenhangs von Abflußmenge (Klimageschehen) und Abflußfracht sind Trendbetrachtungen des Stoffaustrags für den vorgestellten Zeitraum nicht möglich. Die Bioindikation mittels Kieselalgen hat für die meisten Fließgewässer-Abschnitte eine gute Übereinstimmung mit den chemischen Belastungswerten erbracht.

Der Anhang enthält im schriftlichen Teil eine Beschreibung und Benutzeranleitung der auf den beiliegenden Disketten abgelegten Daten. Auf den Disketten 1 und 2 sind Originaldaten und ergänzte Daten des Teilprojekts 1 Saurer Regen/Grundwasser abgelegt, auf Diskette 3 Originaldaten des Teilprojekts 2 Saurer Regen/Wasserversorgung. Die Codes der Einzelwasserversorgungen sind nicht zugänglich. Alle Daten sind nach den Kriterien des Untersuchungsprogramms plausibilitätsgeprüft. Für deren Richtigkeit wird keine Gewähr übernommen.

Verwendete Abkürzungen:

Ah	oberster (humushaltiger) Mineralbodenhorizont
AK _e	effektive Kationenaustauschkapazität
BS	Basensättigung
Bv	unterer (verwitterter) Mineralbodenhorizont
Cv	(verwittertes) Ausgangssubstrat der Bodenbildung
d _B	Trockenraumgewicht
DEP	Deposition
Gw	Grundwasser
h _A	Abfluß als Teil der Wasserbilanz
h _N	Niederschlag als Teil der Wasserbilanz
HQ	höchstes Tagesmittel des Abflusses im betrachteten Zeitraum
HSP	höchster Spitzenabfluß im betrachteten Zeitraum
KB8,2	Basenkapazität bis pH 8,2
k _f	Koeffizient der Wasserdurchlässigkeit bei Sättigung
KS4,3	Säurekapazität bis pH 4,3
KS8,2	Säurekapazität bis pH 8,2
Lab	im Labor gemessen
LF	elektrische Leitfähigkeit
M	Molar
MAX	Maximum
MIN	Minimum
MQ	mittleres Tagesmittel des Abflusses im betrachteten Zeitraum
MW	arithmetisches Mittel (bei Niederschlagsdaten niederschlagsgewichtet)
n	Zahl der berücksichtigten Analysen bzw. Objekte
n.b.	nicht bestimmt
n.n.	nicht nachweisbar
ND	Niederschlag
NQ	niedrigstes Tagesmittel des Abflusses im betrachteten Zeitraum
O2	gelöster Sauerstoff
Ol,f,h	Horizonte im Auflagehumus
pH _c	pH-Wert der Calcitsättigung
SPAK254	spektrale Absorption bei 254 nm
StA	Stammabfluß
STD	Standardabweichung
Temp	Temperatur
TK25	Topographische Karte (1:25000)
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TS	Toleranzstufe
vO	vor Ort gemessen
WV	Wasserversorgung
WWA	Wasserwirtschaftsamt
°dH	Grad deutscher Härte

7. Literatur

- ANDRES, G. (1978): Grundwasserhöflichkeit im Maingebiet. in: Das Mainprojekt. Schriftenr. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, Heft 7, 250-251.
- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1980): Forstliche Standortsaufnahme. 4. Aufl., Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- BAYERISCHE FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT (1987): Waldschadensinventur Bayern 1987 - Arbeitsanweisung - München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: siehe LFW
- BAYERISCHE LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE (1973): Jahresabflusshöhen, mittlere jährliche Abflusshöhen 1930-1960. Karte von Bayern 1:500000, Oberste Baubehörde im Bayer. STMI (Hrsg.)
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN u. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1990): Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern
- BENECKE, P., LINKERSDÖRFER, S., THÖNMIEBEN, J. (1986): Auswirkungen der Waldschäden auf den Wasserhaushalt aus der Sicht der Wasserbeschaffenheit. Landesanstalt f. Umweltschutz Baden-Württemberg.
- BITTERLICH, W. (1952): Die Winkelzählprobe. Ein optisches Meßverfahren zur raschen Aufnahme besonders gearteter Probeflächen für die Bestimmung der Kreisfläche pro Hektar an stehenden Waldbeständen. Forstwirtschaftliches Centralblatt 71, 215 - 225

BLOCK, J., BARTELS, U. (1985): Ergebnisse der Schadstoffdepositionsmessungen in Waldökosystemen in den Meßjahren 1981/82 und 1982/83. Forschung und Beratung. Reihe C, Heft 39. LÖLF, NRW. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.

BRÜGGEMANN, E., GNAUK T., ROLLE W. (1991): Stabilitätsverhalten von ausgewählten anorganischen Spurenstoffen in Niederschlagsproben. UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox. 3 (5), 260-265.

CASPARY, H., J. (1990): Auswirkungen neuartiger Waldschäden und der Bodenversauerung auf das Abflußverhalten von Waldgebieten. Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Heft 37

DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V.:
siehe DVWK

DIN 38417 TEIL 7 (1983): Aufschluß mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen. Beuth Verlag, Berlin.

DVWK (1984): Ermittlung der Stoffdeposition in Waldökosysteme. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, H. 122.

DVWK (1986): Ermittlung des Interzeptionsverlustes in Waldbeständen bei Regen. DVWK-Merkblatt zur Wasserwirtschaft, H. 211.

DVWK (1990): Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzen-Methode. DVWK-Merkblatt zur Wasserwirtschaft, H. 217.

DVWK (1994): Grundsätze zur Ermittlung der Stoffdeposition. DVWK-Merkblatt zur Wasserwirtschaft, H. 229.

- FRANCKE-CAMPANA, S. (1987): Bodenchemische Auswertung von Meliorationsversuchen in Kiefernbeständen (*Pinus silvestris* L.) auf Phyllitstandorten in der Oberpfalz. Diss. am Lehrstuhl für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität München.
- FRANZ, F. (1972): Großrauminventur Bayern. Forstliche Forschungsberichte 11, München.
- GROSSMANN, J. (1988): Physikalische und chemische Prozesse bei der Probenahme von Sickerwasser mittels Saugsonden. Diss. TU München.
- HAARHOFF, T., KNORR, A. (1989): Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser - Fallstudien im Freistaat Bayern. DVWK Mitteilungen 17, 269-278.
- HARTGE, K.H. u. HORN, R. (1989): Die physikalische Untersuchung von Böden. 2. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart.
- IMMLER, L. (1992): Erhebung von bodenphysikalischen Parametern in den Modelleinzugsgebieten Metzenbach/Spessart, Lehstenbach/Fichtelgebirge, Markungsgraben/Bayerischer Wald und Ebersberger Forst/Westteil. Interner Bericht, Unveröff.
- KANZ, W., SCHNITZER, W.-A. (1978): Obermain in: Das Mainprojekt. Schriftenr. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, Heft 7, 36-49.
- KENNEL, M. (1987): Validierung, Anpassung und Modifizierung des Forsthydrologischen Modells BROOK zur Simulation des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet "Große Ohe". Schriftenr. Nationalpark Bayerischer Wald, Heft 3, Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet Große Ohe.
- KÖLBL, O., TRACHSLER, H. (1978): Großräumige Landnutzungserhebung mittels stichprobenweiser Auswertung von Luftbildern. DISP, 53.

- KÖLBL, O. (1982): Stichprobenweise Luftbildauswertung zur Erneuerung der Arealstatistik. - Nouvelle Statistique de la Superficie en Suisse, Institute de Geodesie et Mensuration, Institute de Photogrammetrie Ecole Polytechn. Fed., 19, Lausanne.
- KÖWING, K., Kraus, L., Rückert, G. (1968): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000 Blatt Nr. 7837 Markt Schwaben. Bayer. Geologisches Landesamt.
- KREBS, M. (1993): Faktoren des Stickstoffein- und -austrags in Waldökosystemen anhand ausgewählter Beispiele auf Standorten im Spessart, Fichtelgebirge und der Münchener Schotterebene. in: Stoffeinträge aus der Atmosphäre und Waldbodenbelastung in den Ländern von ARGE ALP und ALPEN-ADRIA, GSF-Bericht 39/93, 333-343, Neuherberg.
- KRENN, K. (1948): Schriftenreihe der Badischen Forstlichen Versuchsanstalt 6, Freiburg.
- KRETZSCHMAR, R. (1989): Kulturtechnisches-bodenkundliches Praktikum. Ausgewählte Laboratoriumsmethoden. 6.Aufl., Eigenverlag, Kiel.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (1993): Grundsatzpapier Atmosphärische Deposition - Messung der Niederschlagsbeschaffenheit.
- LFW: Entwicklungsvorhaben "Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser". Unveröffentlichte Zwischenberichte, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München.
- MATTHESS, G., MURAWSKI, H. (1978): Zuflüsse aus Spessart und Odenwald. in: Das Mainprojekt, Schriftenr. des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 7, 108 - 128.

- MEIWES, K.J., HAUHS, M., MALINOWSKI, G., MÜHLHAN, H., ASCHE, N., GEHRMANN, J., GEHRKE, H., MATZNER, E. (1983): Methodik zur Erfassung des Ionenkreislaufs in Waldökosystemen. in Glatzel, G.: Die Messung der Deposition langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Wäldern. Selbstverlag, Inst. für Forstökologie, Universität für Bodenkultur, Wien.
- MORITZ, K., LISCHIED, G., KREBS, M. (1994): Variability of Ground Water Chemistry in the Lehstenbach Catchment, Fichtelgebirge. Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung Forschungsbericht 1993, 139 - 140.
- MÜLLER, F.X. (1992): Ausmaß der Trinkwasserversauerung in Bayern sowie Forschungsvorhaben zur Rohwasseraufbereitung. in: Waldschäden, Boden- und Wasserversauerung durch Luftschadstoffe in Rheinland-Pfalz, Hrsg. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz, 55-79, Mainz.
- MÜLLER, K. (1991): Hydrogeologische Untersuchungen im Kristallin am Rand der Bodenwöhler Senke unter besonderer Berücksichtigung von Stoffein- und austragen. GSF-Bericht 25/91, Neuherberg.
- REYNOLDS, B., STEVENS, P.A. (1987): A simple stemflow collector and tipping-bucket gauge for chemical flux measurements in forests. Shorter Technical Methods (VI) BGRG Technical Bulletin No. 36, Geobooks, Norwich, 42-55.
- RÖDER, R., SCHRETZENMAYER, G. u. SIXT, K. (1984): Saures, oberflächennahes Grundwasser und Oberflächenwasser als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung in Bayern. In: UBA Materialien 1/84, 315-326.
- ROHMANN, U. (1989): Grundlagen des "Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts". in Wasserchemie für Ingenieure, DVGW-Schriftenreihe, Wasser 205, Eschborn.

- ROSSUM, J.R. (1975): Checking the accuracy of water analysis through the use of conductivity. Am. Water Works Ass. 67, 204-205.
- RÜDIGER, F. (1993): Hydrogeologische Untersuchung des Einzugsgebietes der Lehstenbachquellbäche (Fichtelgebirge) mit besonderer Berücksichtigung hydraulischer Meßverfahren an Grundwassermeßstellen. Diplomarbeit am Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der LMU München.
- SAGER, H., BITTERSOHL, J., HAARHOFF, T., HABERGER, I., MORITZ, K. (1990): Fate of atmospheric deposition in small forested catchments depending on local factors. International Conference on Water Resources in Mountainous Regions, IAH/IAHS, Lausanne, 733-739.
- SCHEFFER, B., SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. 12. Aufl., Enke-Verlag, Stuttgart.
- SCHIRM, E. (1968): Die hydrogeologischen Verhältnisse der Münchener Schotterebene östlich der Isar. Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde.
- SCHREINER, C. (1990): Untersuchung benthischer Kieselalgen-Gesellschaften in Oberflächengewässern von Fichtelgebirge, Bayerischer Wald und Spessart. Interner Bericht, Unveröff.
- SPINDLER, P. (1989): Die Kalklösetendenz von Trinkwasser. in: Wasserchemie für Ingenieure, DVGW-Schriftenreihe, Wasser 205, Eschborn.
- ULRICH, B. (1966): Kationenaustausch-Gleichgewichte in Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 113, 141-159.
- ULRICH, B. MALESSA, V. (1989): Tiefengradienten der Bodenversauerung. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 152, 81-84.

- ULRICH, B., MAYER, R. u. KHANNA, P.K. (1979): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 58.
- UMWELTBUNDESAMT (1984): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland. Materialien 1/84, Erich Schmidt Verlag Berlin.
- VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (=VDLUFA) (1991): Methodenbuch Band I, Untersuchungen von Böden. Kap. A 2.4.3.1. , 4. Auflage, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- ZAHN, H. (1990): Monitoringprogramm für versauerte Gewässer durch Luftschadstoffe in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der ECE. UBA-Forschungsb. Nr. 102 04 362.
- ZAHN, H. (1994): Hydrochemie des oberirdischen Abflusses in den Untersuchungsgebieten des Entwicklungsvorhabens "Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser". Interner Bericht, Unveröff.
- ZAHN, M.T., BITTERSOHL, J., LECHLER, H.H., SAGER, H. (1992): Nitrateintrag in das Grundwasser unter Wald in Bayern. Informationsbericht des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft 6/92, München.

Anhang

Auf den beiliegenden Disketten befinden sich die Daten des Teilprojekts "Saurer Regen/Grundwasser" für den Untersuchungszeitraum der hydrologischen Jahre 1988 - 1992 (Disketten 1 und 2) und des Teilprojekts "Saurer Regen/Wasserversorgung" für den Erhebungszeitraum September 1988 - Dezember 1992 (Diskette 3).

Alle Daten sind in dBase-Dateien abgelegt, der Text des Anhangs liegt auf Diskette 1 im ASCII-Format (README.TXT) und als WordPerfect-Text (README.DOC) vor.

Benutzen Sie die automatische Installationsroutine

KOPIER.BAT

auf der Diskette 1, um die Datendateien auf Ihren
Festspeicher zu übertragen.

Daten des Teilprojekt 1 "Saurer Regen/Grundwasser":

In Tab. 186 sind die Dateien mit qualitativen und quantitativen Daten des Teilprojekts 1 aufgelistet.

Tab. 186: Dateien der beiliegenden Disketten zu Teilprojekt 1

Dateiname	Inhalt	Fälle	Disk.
CODE.DBF	Datei zur Identifizierung der Meßobjekte	200	1
ABFLUB.DBF	Abflüsse an den Pegelmeßstellen	5115	1
BODEN.DBF	Bodenchemische Daten (Probepunkte stammfern und im Bereich des Stammfußes) und Daten der Bohrungen im tieferen Untergrund	167	1
GRWA.DBF	Konzentrationen im Grundwasser	678	1
GWSTANSP.DBF	Abstiche der GwPegel des Untersuchungsgebietes Metzenbach/Birkwasser	115	1
GWSTANFI.DBF	Abstiche der GwPegel des Untersuchungsgebietes Lehstenbach	143	1
GWSTANBW.DBF	Abstiche der GwPegel des Untersuchungsgebietes Markungsgraben	103	1
GWSTANEF.DBF	Abstiche der GwPegel des Untersuchungsgebietes Ebersberger Forst	140	1
NIED.DBF	Niederschlagshöhen und Konzentrationen im Niederschlag (Freiland, Kronentraufe, Stammabfluß)	3832	1
OBER.DBF	Konzentrationen in den oberirdischen Gewässern	1748	2
QUELL.DBF	Konzentrationen in den Quellwässern	1029	2
SIWA.DBF	Konzentrationen in den Sickerwässern	5544	2
SPME.DBF	Stoffeinträge von Spurenmetallen	636	1
WV.DBF	Konzentrationen im Rohwasser der von Teilprojekt 1 beprobten Wasserversorgungen (Untersuchungsgebiete Metzenbach/Birkwasser und Ebersberger Forst)	149	1

Zur Identifizierung der Meßobjekte dient die Datei CODE.DBF, in der die Meßstellennummern aufgelistet und die zugehörigen Meßobjekte beschrieben sind. Die sechs- bzw. siebenstellige Codenummer enthält folgende Informationen:

In der ersten Stelle ist die Information über das Untersuchungsgebiet abgelegt:

- 1 Untersuchungsgebiet Metzenbach/Birkwasser
- 2 Untersuchungsgebiet Markungsgraben
- 3 Untersuchungsgebiet Lehstenbach
- 4 Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Die zweite und dritte Stelle enthält die laufende Flächen- bzw. Meßstellenummer. In den vier bzw. drei letzten Stellen sind die verschiedenen Wassertypen verschlüsselt:

- 100 Bestandsniederschlag (Kronentraufe)
- 310 Freilandniederschlag
- 200 Stammabfluß
- 170 Spurenmetalldeposition im Bestand
- 370 Spurenmetalldeposition im Freiland
- 1050 Sickerwasser aus der Tiefe 50 cm (Die letzten drei Stellen geben die Meßtiefe an.)
- 3000 Grundwasser
- 3500 Grundwasser (s. unten)
- 3600 Quelle
- 4000 oberirdisches Gewässer

Die Technik der Grundwasserprobenahme ist in den letzten vier Stellen folgendermaßen codiert:

- Probenahme mit Unterwasserpumpe (Codierung: 3000)
- Probenahme mit Schöpfgerät (Codierung: 3500).

In allen Dateien - mit Ausnahme der Dateien mit den GwAbstichen (GWSTAN*.DBF) und der bodenchemischen Daten (BODEN.DBF) - ist im ersten Feld die Meßstellenummer als Identifikator abgelegt. Diese Dateien sind nach Meßstellenummer und Datum sortiert. Die restlichen Felder sind mit den Meßwerten für die verschiedenen Parameter belegt. Die Dateien mit dem GwAbstich sind nach Datum sortiert. Als Feldnamen sind hier die Meßstellenummern der jeweiligen GwPegel mit vorangestelltem M verwendet.

Alle Daten sind originale Meßwerte, die als plausibel eingestuft wurden. Ausnahmen existieren für Niederschlagshöhen, die wo nötig hochgerechnet wurden (s. Kapitel 3.3.2) und Einzelfrachten von Spurenmetallen zur Berechnung der Jahresdeposition (Hochrechnung erfolgte über den Anteil des Fehlzeitraums am hydrologischen Jahr).

Die verwendeten Einheiten der Beschaffenheitsparameter sind der Tab. 14 in Kapitel 3.6.1 zu entnehmen. Die Niederschlagshöhen sind in [mm], der Abfluß als Tagesmittelwert in [$l \cdot s^{-1}$] und der GwAbstich in [m] angegeben. Für die Einträge der Spurenmetalle gilt die Einheit [$kg \cdot ha^{-1}$]. Wurde ein Meßwert nicht bestimmt ist die Ziffer -1 eingesetzt. Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze sind mit dem Wert 0 angegeben. Die Niederschlagshöhen beziehen sich auf das Sammelintervall zwischen zwei Probenahmeterminen. In der Datei NIED.DBF sind keinerlei Stofffrachten, sondern ausschließlich Niederschlagshöhen und Stoffkonzentrationen aufgeführt.

Die Daten zur Bodenchemie und zu den Bohrungen im tieferen Untergrund (BODEN.DBF) sind mit folgenden Feldnamen und Einheiten angegeben:

STAMMFUSS ja:	Proben wurden im Stammfußbereich von Buchen radial und so nahe wie möglich am Stamm entnommen
STAMMFUSS nein:	Proben aus dem Bereich zwischen den Stämmen
HORIZONT:	Horizontname nach Bodenkundlicher Kartieranleitung
UNTERGRENZ:	untere Grenze des Horizontes in cm (ab Mineralboden gerechnet)
OBERGRENZ:	obere Grenze des Horizontes in cm (bei den Bohrungen haben Untergrenz und Obergrenz den gleichen Wert. Dieser Wert entspricht der Entnahmetiefe.)
MAECHTIGK:	Horizontmächtigkeit in cm
SKELETT:	Skelettgehalt in Gewichtsprozent
DB:	Trockenraumdichte (Feinerde + Skelett) / Volumen in $g \cdot cm^{-3}$
C:	Gesamtkohlenstoffgehalt in %
N:	Gesamtstickstoffgehalt in %
P:	citratlöslicher Phosphor in ppm
PH_H2O:	pH-Wert in Wasser
PH_KCL:	pH-Wert in 1M KCl
PH_CACL2:	pH-Wert in 0,01 M CaCl ₂

AKE: aktuelle Kationenaustauschkapazität in mmol
 lÄ kg⁻¹
BS: Basensättigung in %

Gesamtvorräte und Kationenaustauschkapazität sind elementweise in den entsprechenden Feldern wie hier beispielhaft für Calcium angegeben.

CA_S: Ca-Belegung in % der AKE
CA-VORRAT: Ca-Gesamtvorrat für den Horizont in kg ha⁻¹

Die Daten der Bohrungen im tieferen Untergrund in den beiden Untersuchungsgebieten Metzenbach/Birkwasser und Lehstenbach sind an den fehlenden Eintragungen in den Feldern für Horizontbezeichnung und Mächtigkeiten erkennbar. Die Ergebnisse für die stammnahen Probenahmestellen sind mit der Eintragung J im logischen Feld STAMMFUSS abgelegt. Sind Parameter nicht bestimmt, ist dies mit dem Symbol ** gekennzeichnet.

Daten des Teilprojekt 2 "Saurer Regen/Wasserversorgung":

Die Daten des Teilprojekts 2 "Saurer Regen/Wasserversorgung" sind in der Datei EV_SR_WV.DBF mit 6134 Datensätze abgelegt.

Die Datei ist nach den beiden Feldern KENN_NR und DATUM sortiert, wobei für die 4-stellige Kennnummer folgendes gilt:
Die erste Stelle gibt das für die Wasserversorgung zuständige Wasserwirtschaftsamt an. Dabei gilt folgende Vereinbarung:

- 1 = Amberg
- 2 = Aschaffenburg
- 3 = Bayreuth
- 4 = Deggendorf
- 5 = Hof
- 6 = Passau
- 7 = Regensburg
- 8 = Weiden
- 9 = Würzburg

Bei der zweiten und dritten Stelle handelt es sich um eine laufende Nummer, die willkürlich einer Wasserversorgung zugeordnet wurde. Die vierte Stelle gibt Auskunft darüber, ob es sich um ein Roh- oder Reinwasser handelt.

- 1 - 8 = Rohwasser
- 9 = Reinwasser

Die restlichen Felder sind mit Meßwerten und mit berechneten Werten belegt. Bei Nichtbestimmung von Parametern ist der Wert mit -1 bzw. -999 belegt. Die Werte im Feld LF (Leitfähigkeit) wurden (im Unterschied zum Teilprojekt 1, in dem die Geräte auf 25°C abgeglichen sind) mit einem auf 20°C Bezugstemperatur eingestellten WTW-Meßgerät vor Ort bestimmt.

Die berechneten Parameter und ihre Einheiten sind im Folgenden erläutert:

PH_BERECH	berechneter pH-Wert	
DELTA_PH	pH_berech minus pH_Calcitsättigung	
CALCIT_LOE	Calcitlösekapazität	mg·l ⁻¹
CO2_GEL	gelöstes Kohlendioxid	mg·l ⁻¹
CO2_ZUG	zum Gleichgewicht gehörendes CO ₂	mg·l ⁻¹
S_ERDALK	Summe Erdalkalien	mmol·l ⁻¹
HAERTE	Grad deutsche Härte	°dH

Die Grundlagen der Berechnungen basieren im wesentlichen auf den im folgenden angegebenen DIN-Vorschriften und DVGW-Regelwerken sowie den Veröffentlichungen von Rohmann (1989) und Spindler (1989).

DIN 38404 Teil 10	Calciumcarbonatsättigung eines Wassers
DIN 50930 Teil 1-5	Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffen gegenüber Wasser
W 216	Wasserversorgung - Wasserversorgungsanlagen, Versorgung mit unterschiedlichen Wässern
W 214	pH-Wert und Calciumcarbonatsättigung eines Wassers

