



Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft

15 Jahre
Integriertes Messnetz
Stoffeintrag – Grundwasser
Methoden und Ergebnisse

Informationsberichte Heft 2/04

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
(Herausgeber und Verlag) München 2004

15 Jahre
Integriertes Messnetz
Stoffeintrag – Grundwasser
Methoden und Ergebnisse

Informationsbericht Heft 2/2004

Informationsbericht des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft – ISSN 0176-4217

Heft 2/2004

München, September/2004 – ISBN 3-937911-00-6

215 Seiten, 101 Abbildungen, 103 Tabellen, gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

Herausgeber Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, D-80636 München,
eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung
und Umweltfragen

Leitung: Dipl.-Geol. Dr. Jochen Bittersohl, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Bearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Klaus Moritz, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Dipl.-Ing. (FH) Christina Schöttl, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Dipl.-Ing. (FH) Hildegard Wahler, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Bildnachweis: Archiv Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

CD-Erstellung: CompSys GmbH, Unterbrunn

Bezug: Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, Postfach 2061, 94460 Deggendorf

Nachdruck und Wiedergabe – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers

Vorwort

Unser „Wasserland Bayern“ ist in der Ausprägung seiner Gewässerlandschaften und Grundwasservorkommen äußerst vielfältig. Entsprechend differenziert sind die mit dem Wasser verbundenen Schutz- und Nutzungsfragen und der Bedarf an fachlich fundierten Daten. Zuständig für die Beobachtung und Überwachung von Fließgewässern, Seen und Grundwasser sowie des Wasser- und Stoffkreislaufs im Zusammenhang ist der Gewässerkundliche Dienst Bayern. Daten aus seinen landesweiten Messnetzen unterstützen das Flächenmanagement der Wasserwirtschaft. Zunehmend gewinnen dabei auch integrative und medienübergreifende Ansätze an Bedeutung, etwa bei Bewertung von diffusen Stoffbelastungen in der Fläche oder bei der Abschätzung von Reaktionen ganzer Gewässereinzugsgebiete auf Veränderungen (z.B. Landnutzung, Klima). Die Entwicklung des institutionellen Bodenschutzes in den letzten Jahren verdeutlicht den engen Zusammenhang von Bodenschutz und Grundwasserschutz.

In dieser Situation kann ein medienübergreifendes Messnetz vor allem dazu dienen, partielle Wissenslücken zu schließen, Grundlagenkenntnisse über die Stoffverfrachtung in und zwischen den Gewässern zu vertiefen sowie repräsentative Messdaten für die Modellierung und Prognose des Wasser- und Stoffhaushalts zu liefern. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei dem Sickerwasser, das zwischen der Stoffauswaschung aus den Böden und den Stoffeinträgen in das Grundwasser und die Fließgewässer vermittelt. Mit dem Messnetz Stoffeintrag - Grundwasser (MSGw) verfolgt der Gewässerkundliche Dienst erstmals einen integrierenden und interdisziplinären Ansatz bei der Messdatenerhebung in Wassereinzugsgebieten, unter Einschluss der prägenden Landnutzungen und der Reaktionen des Sickerwassers.

Ein flächendeckendes integrierendes Messprogramm mit kombinierter Erfassung von Mengen- und Beschaffenheitsparametern ist nach allgemeiner Erkenntnis nicht leistbar. Mit derzeit sieben repräsentativen, für die Wasserwirtschaft bedeutenden Messgebieten liefert das Messnetz Stoffeintrag – Grundwasser einen kleinen, aber bedeutenden und zukunftssträchtigen Fachbeitrag im Rahmen der Landesmessprogramme des Gewässerkundlichen Dienstes Bayern. Erhebliche Synergien, die in Zukunft noch weiter ausgebaut werden sollen, ergeben sich insbesondere aus der Zusammenarbeit mit Kollegialämtern, Universitäten und Wasserversorgungsunternehmen. Methoden und Ergebnisse der bis zu 15-jährigen Messtätigkeit werden hiermit vorgestellt.

Unser Dank gilt allen Partnern aus der staatlichen Verwaltung, den wissenschaftlichen Institutionen sowie den am Grund- und Trinkwasserschutz interessierten Stadtwerken und Zweckverbänden, die diese gewässerkundliche Arbeit unterstützen. Besonders danken wir den vor Ort tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Wasserwirtschaftsämter für ihr fachliches Engagement und ihre Einsatzfreude.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
München, im September 2004



Prof. Dr.-Ing. A. Göttle
Präsident

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
2	Entwicklung integrativer Aufgaben im Gewässerkundlichen Dienst	13
3	Das integrierte Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser (MSGw)	15
3.1	Zielsetzung	15
3.2	Grundkonzept	16
3.3	Einrichtung der Messgebiete	17
3.4	Monitoringkonzept	19
3.5	Kooperationen	21
3.6	Produkte und Kunden	23
4	Methodik	25
4.1	Messprogramme	25
4.1.1	Qualitative Programme	25
4.1.2	Quantitative Programme	27
4.1.3	Messprogramm Klima	28
4.1.4	Waldzustandserfassung	28
4.1.5	Mess- und Probenahmefrequenzen	29
4.2	Ausstattung der Messgebiete	30
4.3	Mess- und Probenahmetechnik	31
4.3.1	Erfassung von Klimadaten	31
4.3.2	Erfassung von Stoffeinträgen	32
4.3.2.1	Atmosphärische Deposition	32
4.3.2.2	Stoffeintrag durch landwirtschaftliche Nutzung	35
4.3.3	Untersuchungen im Sickerraum	35
4.3.3.1	Probenahme des Sickerwassers	36
4.3.3.2	Messung der Wasserspannung (Bodenfeuchte)	38
4.3.3.3	Ermittlung bodenchemischer Daten	40
4.3.3.4	Ermittlung bodenphysikalischer Daten	42
4.3.4	Untersuchung des Grund-, Quell- und Rohwassers	43
4.3.5	Untersuchung der oberirdischen Gebietsabflüsse	44
4.3.6	Behandlung und Transport der Wasserproben	44
4.4	Qualitätssicherung	45
4.4.1	Probenahme	45
4.4.2	Analytik	46
4.4.3	Automatische Messsysteme und Infrastruktur	47
4.4.4	Fachliche Plausibilitätsprüfung Beschaffenheitsdaten	47
4.5	Wasser- und Stoffbilanzen	48
4.5.1	Bestimmung der Wasserhaushaltskomponenten	48
4.5.1.1	Niederschlagshöhe	48
4.5.1.2	Potentielle Verdunstung nach Haude	49
4.5.1.3	Tatsächliche Verdunstung und Bodenwasserhaushalt nach Renger & Wessolek	49
4.5.1.4	Gebietswasserhaushalt	50
4.5.1.5	Bodenwasserhaushalt nach Chloridmethode	50

4.5.2	Bestimmung der Stofffrachten und Stoffbilanzen	50
4.5.2.1	Atmosphärische Stoffdeposition	51
4.5.2.2	Stoffeintrag aus der Landwirtschaft	51
4.5.2.3	Stoffaustrag mit dem Sickerwasser	51
4.5.2.4	Stoffaustrag mit dem Gebietsabfluss	52
5	Ergebnisse der Messgebiete	55
5.1	Messgebiet Hochspessart	55
5.1.1	Regionale Gegebenheiten	55
5.1.1.1	Landschaft, Klima und Geologie	55
5.1.1.2	Wasserversorgung	56
5.1.1.3	Umweltmessprogramme	56
5.1.2	Wassereinzugsgebiet Metzenbach	57
5.1.2.1	Lage und Ausstattung	57
5.1.2.2	Klima und Landnutzung	59
5.1.2.3	Geologie und Böden	60
5.1.2.4	Wasserhaushalt	60
5.1.2.5	Stoffhaushalt	63
5.1.2.6	Organische Stoffe aus der Atmosphäre	64
5.1.2.7	Grundwasserverhältnisse	65
5.1.2.8	Wasserversorgung	67
5.1.3	Intensivmessfläche Metzenbach	67
5.1.3.1	Lage	67
5.1.3.2	Waldbestockung	67
5.1.3.3	Profilbeschreibung	68
5.1.3.4	Bodenfestphase	69
5.1.3.5	Bodenlösungsphase (Sickerwasser)	72
5.2	Messgebiet Bayerischer Wald	75
5.2.1	Regionale Gegebenheiten	75
5.2.1.1	Landschaft, Klima und Geologie	75
5.2.1.2	Wasserversorgung	76
5.2.1.3	Umweltmessprogramme	76
5.2.2	Wassereinzugsgebiet Markungsgraben	77
5.2.2.1	Lage und Ausstattung	78
5.2.2.2	Klima und Landnutzung	80
5.2.2.3	Geologie und Böden	81
5.2.2.4	Wasserhaushalt	82
5.2.2.5	Stoffhaushalt	85
5.2.2.6	Organische Stoffe aus der Atmosphäre	86
5.2.2.7	Grundwasserverhältnisse	86
5.2.2.8	Wasserversorgung	88
5.2.3	Intensivmessfläche Markungsgraben	89
5.2.3.1	Lage	89
5.2.3.2	Waldbestockung	89
5.2.3.3	Profilbeschreibung	90
5.2.3.4	Bodenfestphase	90
5.2.3.5	Bodenlösungsphase (Sickerwasser)	94
5.3	Messgebiet Fichtelgebirge	97
5.3.1	Regionale Gegebenheiten	97
5.3.1.1	Landschaft, Klima und Geologie	97
5.3.1.2	Wasserversorgung	98

5.3.1.3	Umweltmessprogramme	98
5.3.2	Wassereinzugsgebiet Lehstenbach	99
5.3.2.1	Lage und Ausstattung	100
5.3.2.2	Klima und Landnutzung	102
5.3.2.3	Geologie und Böden	102
5.3.2.4	Wasserhaushalt	103
5.3.2.5	Stoffhaushalt	105
5.3.2.6	Organische Stoffe aus der Atmosphäre	106
5.3.2.7	Grundwasserverhältnisse	106
5.3.2.8	Wasserversorgung	109
5.3.3	Intensivmessfläche Lehstenbach	110
5.3.3.1	Lage	110
5.3.3.2	Waldbestockung	110
5.3.3.3	Profilbeschreibung	111
5.3.3.4	Bodenfestphase	111
5.3.3.5	Bodenlösungsphase (Sickerwasser)	114
5.4	Messgebiet Münchener Schotterebene	117
5.4.1	Regionale Gegebenheiten	117
5.4.1.1	Landschaft, Klima und Geologie	117
5.4.1.2	Wasserversorgung	118
5.4.1.3	Umweltmessprogramme	118
5.4.2	Wassereinzugsgebiet Anzing	119
5.4.2.1	Lage und Ausstattung	119
5.4.2.2	Klima und Landnutzung	121
5.4.2.3	Geologie und Böden	122
5.4.2.4	Wasserhaushalt	123
5.4.2.5	Stoffhaushalt	124
5.4.2.6	Organische Stoffe aus der Atmosphäre	126
5.4.2.7	Grundwasserverhältnisse	127
5.4.2.8	Wasserversorgung	129
5.4.3	Intensivmessflächen Münchener Schotterebene – Wald und Grünland	129
5.4.3.1	Lage	129
5.4.3.2	Bewirtschaftung und Waldzustand	129
5.4.3.3	Profilbeschreibung	130
5.4.3.4	Bodenfestphase	131
5.4.3.5	Bodenlösungsphase	136
5.5	Messgebiet Nördliches Lechfeld	139
5.5.1	Regionale Gegebenheiten	139
5.5.1.1	Landschaft, Klima und Geologie	139
5.5.1.2	Wasserversorgung	140
5.5.1.3	Umweltmessprogramme	140
5.5.2	Wassereinzugsgebiet Augsburg	141
5.5.2.1	Lage und Ausstattung	142
5.5.2.2	Klima und Landnutzung	143
5.5.2.3	Geologie und Böden	144
5.5.2.4	Wasserhaushalt	144
5.5.2.5	Stoffhaushalt	145
5.5.2.6	Organische Stoffe aus der Atmosphäre	146
5.5.2.7	Grundwasserverhältnisse	147
5.5.2.8	Wasserversorgung	148
5.5.3	Intensivmessfläche Fohlenhof	150

5.5.3.1	Lage	150
5.5.3.2	Bewirtschaftung	150
5.5.3.3	Bodenfestphase	150
5.5.3.4	Profilbeschreibung	150
5.5.3.5	Bodenlösungsphase (Sickerwasser)	152
5.6	Messgebiet Donau/Gäuboden	155
5.6.1	Regionale Gegebenheiten	155
5.6.1.1	Landschaft, Klima und Geologie	155
5.6.1.2	Wasserversorgung	155
5.6.1.3	Umweltmessprogramme	156
5.6.2	Wassereinzugsgebiet Straubing	156
5.6.2.1	Lage und Ausstattung	157
5.6.2.2	Klima und Landnutzung	158
5.6.2.3	Geologie und Böden	159
5.6.2.4	Wasserhaushalt	159
5.6.2.5	Stoffhaushalt	160
5.6.2.6	Organische Stoffe aus der Atmosphäre	162
5.6.2.7	Grundwasserverhältnisse	163
5.6.2.8	Wasserversorgung	164
5.6.3	Intensivmessfläche Straubing	165
5.6.3.1	Lage	166
5.6.3.2	Bewirtschaftung	166
5.6.3.3	Profilbeschreibung	168
5.6.3.4	Bodenfestphase	168
5.6.3.5	Bodenlösungsphase (Sickerwasser)	169
5.7	Messgebiet Südliche Frankenalb	172
5.7.1	Regionale Gegebenheiten	172
5.7.1.1	Landschaft, Klima und Geologie	172
5.7.1.2	Wasserversorgung	172
5.7.1.3	Umweltmessprogramme	173
5.7.2	Wassereinzugsgebiet Birkenhof	174
5.7.2.1	Lage und Ausstattung	174
5.7.2.2	Klima und Landnutzung	175
5.7.2.3	Geologie und Böden	176
5.7.2.4	Wasserhaushalt	176
5.7.2.5	Stoffhaushalt	177
5.7.2.6	Organische Stoffe aus der Atmosphäre	178
5.7.2.7	Grundwasserverhältnisse	179
5.7.2.8	Wasserversorgung	181
5.7.3	Intensivmessfläche Birkenhof	182
5.7.3.1	Lage und Bewirtschaftung	182
5.7.3.2	Profilbeschreibung	182
5.7.3.3	Bodenfestphase	182
5.7.3.4	Bodenlösungsphase	183
6	Beiträge zu aktuellen Fragen des Gewässerschutzes	187
6.1	Belastungsfaktor atmosphärische Deposition	187
6.2	Eutrophierung der Gewässer	190
6.3	Spurenmalle in den Gewässern	193
6.4	Aspekte des Trinkwasserschutzes	196
6.4.1	Südbayerische Schotterplatten und Flusstalfüllungen	196

6.4.2	Kristallines Grundgebirge und Buntsandstein	198
6.4.3	Fränkische Alb (Jura)	201
7	Zusammenfassung	203
	Abkürzungsverzeichnis	207
	Literatur	207
	Anhang	214

1 Einleitung

Der Gewässerkundliche Dienst der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung erhebt landesweit Daten zum Zustand und zur Entwicklung der Gewässer und stellt für Grundsatzfragen und Vollzug Informationen bereit. Nach Jahrzehnte langer Konzentration auf den reinen Wassermengenaspekt sind Fragen der chemischen und biologischen Gewässerbeschaffenheit ebenso wichtig geworden. Bei der Kontrolle von Umweltbelastungen und der Sicherstellung natürlicher Ressourcen spielen sie vielfach die Hauptrolle. Angesichts der Komplexität der zu beobachtenden Vorgänge nimmt der Bedarf an räumlich und zeitlich integrierenden wie auch prozessbeschreibenden und prognosefähigen Instrumentarien weiter zu. Durch die notwendige Beachtung von Zusammenhängen und Wechselwirkungen verschiedener Umweltmedien sind zunehmend interdisziplinäre und behördenübergreifende Ansätze gefragt. In den letzten Jahren hat der institutionalisierte Bodenschutz einer Kernaufgabe des Gewässerschutzes, der Erkundung des Boden-Wasser-Pfades für Schadstoffe, neuen Auftrieb gegeben. Die Entwicklung von Vorsorgeinstrumenten in der Fläche steht hier noch am Anfang und ist ohne die partielle Kopplung mit dem vorsorgenden Gewässerschutz nicht denkbar.

Vor diesem Hintergrund wurde das Konzept des integrierten Messnetzes Stoffeintrag – Grundwasser entwickelt und in derzeit sieben repräsentativen Messgebieten umgesetzt. In Anlehnung an Teilkonzepte der Ökosystembeobachtung beruht es auf der langfristigen Beobachtung des wasser gebundenen Stofftransports in der Landschaft. Insofern ist es mit übergreifenden Monitoringkonzepten in verschiedenen Bereichen der Umweltkontrolle verwandt, jedoch im Unterschied zu diesen mit wasserwirtschaftlicher, d.h. auf den Schutz und die Nutzung der Gewässer bezogenen Zielsetzung. Das Monitoring ist medienübergreifend, woraus sich notwendigerweise Abstimmungs- und Koordinierungsbedarf mit anderen Messnetzbetreibern und Dateninteressenten im Umweltbereich ergibt. Ein Schwerpunkt ist das Sickerwasser als „Gewässer“ in der Landschaft und als Bindeglied zwischen dem Wasser- und Stoffeintrag an der Landoberfläche und dem Wasser- und Stoffaustrag in das Grundwasser und die oberirdischen Gewässer. Bisherige Kenntnisse über sein langfristiges quantitatives und qualitatives Verhalten stammen aus einigen Lysimeteranlagen und hergeleiteten Daten. Langfristiges Sickerwasser-Monitoring erfordert neue Methoden und Techniken und entsprechende Ressourcen in der staatlichen Gewässerkunde. Eingebunden in die integrierte Beobachtung homogener, wasserwirtschaftlich relevanter Wassereinzugsgebiete deckt es den modernen Datenbedarf bei weitestgehender Begrenzung des Aufwands.

Nach bis zu 15 Jahren Messtätigkeit soll die vorliegende Dokumentation internen und externen Fachinteressenten einen aktuellen Gesamtüberblick über Methoden und Ergebnisse geben. Mit der eingehenden Darstellung der Messgebiete wird dem besonderen Interesse der örtlich im Vollzug tätigen Institutionen und Anwender Rechnung getragen, aber auch der regionale Bezug der Monitoring-Programme im Rahmen der Landesbeobachtung deutlich gemacht. Nicht zuletzt soll die Dokumentation Anregungen für effiziente Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der integrierten Umweltbeobachtung geben. Rückkopplungen zur Weiterentwicklung des Messnetzes Stoffeintrag-Grundwasser werden erwartet.

2 Entwicklung integrativer Aufgaben im Gewässerkundlichen Dienst

Heute und in absehbarer Zukunft besteht ein enormer Daten- und Informationsbedarf in allen Bereichen der Umweltvorsorge und Umweltnutzung, nicht zuletzt wegen der hierzulande flächendichten – und weiter zunehmenden - Vernetzung von Schutz- und Nutzungsinteressen und wegen der Komplexität der zu überwachenden Systeme. Zentral betroffen sind die von der Wasserwirtschaft zu verantwortenden Bereiche. Vor diesem Hintergrund befasst sich der Gewässerkundliche Dienst der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung

- mit dem Zustand und der Entwicklung der Fließgewässer, der Seen und des Grundwassers nach Menge und Beschaffenheit sowie der Gewässer als Lebensraum und
- betreibt für die langfristige und landesweite Beobachtung der Komponenten des Wasserhaushalts die notwendigen Landesmessnetze.

Die Geschäftsbereichsstrategie des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz zählt den medienübergreifenden Ansatz zu den Grundstrategien und stellt dazu fest: „Komplexe Umweltprobleme verlangen zunehmend medienübergreifende, integrative Vorgehensweisen, denen fachlich und rechtlich entsprochen werden muss.“

Der Gewässerkundliche Dienst ist dieser Strategie quasi per Naturgesetz verpflichtet. Denn jeder Wassertropfen, wo auch immer kontrolliert und beobachtet, wird auf seinem Weg durch die natürlichen und künstlichen Kreisläufe mit komplexer Information beladen. Entsprechend wurde ein Beobachtungs- und Überwachungsnetz aufgebaut, das den Niederschlag, die oberirdischen Gewässer und das Grundwasser in landesweiten Messprogrammen erfasst. Gleichzeitig hat die Notwendigkeit der Beschaffenheitskontrolle den aus Sicht der quantitativen Gewässerkunde sehr geringen Parameterumfang vervielfacht (Abb. 1).



Abb. 1 Der gewässerkundliche Dienst und seine Aufgaben im Spannungsfeld nachhaltiger Wasserwirtschaft

Zwar bleibt die sektorale Gewässerüberwachung eine wichtige Basisaufgabe, vor allem in Bezug auf diverse Überwachungspflichten an den einzelnen Gewässertypen. Gleichzeitig aber steht der Gewässerkundliche Dienst an der Schwelle zu integrativen, medienübergreifenden Arbeitsweisen, die den Landschaftswasserhaushalt und seine Stoffströme im Zusammenhang sehen und damit der geforderten Grundstrategie für die nachhaltige Landesentwicklung entgegenkommen. Dabei spielt der Einsatz mathematischer

Entwicklung integrativer Aufgaben im Gewässerkundlichen Dienst

Modelle eine zunehmend wichtige Rolle, u.a. zur

- Simulation von Prozessen
- Regionalisierung von Punktinformationen
- Prognose von Entwicklungen, und letztlich zur
- Entscheidungsunterstützung beim wasserwirtschaftlichen Flächenmanagement

Modellanwendungen werden mit möglichst präziser Erhebung von Messdaten und Flächeninformationen gekoppelt, um die wasserwirtschaftlich zu bewertende Situation hinreichend genau abschätzen zu können. Beispiele zur gegenwärtigen Entwicklung mögen das belegen:

- Hochwasserschutz: Langfristbeobachtung und Hochwasservorhersagemodelle für die Flussgebiete des Landes
- Nährstoffbelastung und Versauerung von Gewässern: Langfristbeobachtung und Stoffaustagsmodelle für Fragen der Gewässerbelastung aus den einwirkenden Stoffquellen
- Klimaveränderung und Wasserhaushalt: Langfristbeobachtung und Prognose regionaler Auswirkungen auf hydrologischen Prozesse und Folgen für wasserabhängige Aktivitäten der Gesellschaft
- Grundwasserneubildung: Kleinräumige Abschätzung der Grundwasserneubildung zur Unterstützung des Grundwassermanagements und der Wasserhaushaltsmodellierung in der Fläche
- Grundwasserschutz nach EU-Wasserrahmenrichtlinie: Ausweisung von Risikogebieten für Grundwasserbelastung nach Emissions- und Immissionskriterien, Konzeption eines repräsentativen und Maßnahmen orientierten Grundwassermonitorings
- Wasserhaushalt und Stoffumsatz in Typgebieten: Langfristiges Verhalten und Belastbarkeit repräsentativer Wassereinzugsgebiete im Kontext regionaler und überregionaler wasserwirtschaftlicher Aufgaben, Risikoabschätzung.

Alle Beispiele sind notwendigerweise auch mit Belangen des Grundwassers verknüpft, da es den Landschaftswasserhaushalt und die mit ihm verknüpften Stoffströme maßgeblich prägt. Durchwegs werden dabei auch übergreifende Informationen aus weiteren Umweltmedien benötigt, insbesondere zu Zustand und Funktion der Böden und der Grundwasserüberdeckung, Art und Intensität der Landnutzung und Zustand und Entwicklung des Klimas (physikalisch und chemisch).

Die fachliche Notwendigkeit neuer Aufgaben entscheidet nicht allein über deren Umsetzung. Dem zunehmenden Bedarf an medienübergreifenden Arbeitsweisen steht der Zwang zur Verschlankung, Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung gegenüber. Gegebenenfalls ist es erforderlich, durch Optimierung der „traditionellen“ Aufgaben und Umschichtung von Ressourcen Freiräume für die notwendige Weiterentwicklung der gewässerkundlichen Landesbeobachtung zu schaffen.

3 Das integrierte Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser (MSGw)

3.1 Zielsetzung

Ziel des MSGw ist die langfristige Erfassung des Wasser- und Stoffkreislaufs und seiner Belastungen in Repräsentativgebieten mit besonderer Berücksichtigung der Landnutzung und der Sickerwassers. MSGw ergänzt die sektorale Beobachtung und Überwachung in der Gewässerkunde durch einen konsequent fach- und medienübergreifenden Ansatz. Die wesentlichen Aufgaben sind:

- Kontrolle und Dokumentation langfristiger stofflicher Veränderungen und Stoffumsätze im Wasserkreislauf
- Vorsorge und Risikoerkennung bezüglich flächig eingetragener wassergefährdender Stoffe, Änderung der Landnutzung und Änderung ökosystemarer Stoffumsätze
- Bereitstellung gewässerkundlicher Daten für Vermeidungsstrategien beim Schutz des Grundwassers und der quellnahen Fließgewässer
- Bereitstellung hydrologischer Grundlagen sowie fachübergreifender Informationen auf gewässerkundlicher Basis.

MSGw berücksichtigt dabei neue gewässerkundliche Schwerpunkte, die sich aus den Entwicklungen der jüngeren Zeit ergeben:

Funktionen des Bodens- und der Grundwasserüberdeckung

Das „vorsorgend“ beobachtete Grundwasser ist meist Jahre bis Jahrzehnte alt. Für die Beurteilung des Wasser- und Stofftransports von der Landoberfläche zum Grundwasser und zu den oberirdischen Gewässern fehlen exemplarische, langfristige Datenreihen. Die Kopplung von Grundwasser- und Bodenschutz, eine für die Wasserwirtschaft schon immer bestehende Notwendigkeit, gewinnt durch die Bodenschutzgesetzgebung neue Bedeutung. Anders als beim nachsorgenden Bodenschutz sind die Vorsorgeinstrumente in Bezug auf den Boden-Wasser-Pfad in der Fläche noch nicht ausreichend entwickelt. Im Zuge der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000) sind hier die Anstrengungen zu verstärken. Ein spezieller Aspekt ist die Kompetenzsicherung des Gewässerkundlichen Dienstes bei der Erfassung und Interpretation von Sickerwasserdaten.

Funktionen des Waldes

Wald bedeckt ein Drittel der Landesfläche Bayerns. Grundwasserschutz in Waldgebieten sichert Trinkwasserressourcen höchster Qualität. Die noch nicht überwundenen Folgen des sauren Regens wie auch aktuelle Fragen der Nährstoffüberlastung in den bewaldeten Gebieten weisen auf einen speziellen Bedarf an Daten und Grundlagenkenntnissen für diese aus gewässerkundlicher Sicht bisher vernachlässigten Gebiete. Diese Fragen werden auch aus Sicht der Forstverwaltung bearbeitet und z.B. in den jährlichen Waldzustandberichten behandelt.

Das integrierte Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser

Stoffströme und Stoffbilanzen

Nachhaltige Wasserwirtschaft hat nicht nur die - häufig an Grenzwerten orientierten - Stoffkonzentrationen im Blick sondern insbesondere die über das Wasser transportierten Stofffrachten. Entwickelt aus der Kontrolle von Schmutzfrachten in den bedeutenden Vorflutern, werden langfristige Stoffbilanzen überwiegend für größere, heterogen gestaltete Flussgebiete abgeschätzt. Dagegen eignen sich kleine, weitgehend homogene Typgebiete hervorragend für die Gewinnung exemplarischer, auf die Fläche übertragbarer Informationen. Der Bedarf an langfristigen Daten ist erheblich.

Auswirkungen der Klimaentwicklung auf den Wasserhaushalt

Die anthropogene Veränderung des globalen Klimas gilt als ziemlich sicher. Dabei spielen ursächliche Faktoren wie die Stofffreisetzung aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Verkehr etc.) und aus Aktivitäten der Landwirtschaft eine Rolle, die auch in anderem Zusammenhang im MSGw kontrolliert werden. Bei der gegenwärtigen Entwicklung wasserwirtschaftlicher Prognoseinstrumente zeigt sich der Wert vorhandener langfristiger Messreihen. Es ist daher dringend erforderlich, auch die an die Typgebiete gekoppelten Beobachtungen an die langfristige Kontrolle der Klimawirkungen anzubinden.

Auswirkungen von diffusen Stoffeinträgen

Diffuse Stoffeinträge in die Gewässer aus der Fläche nehmen relativ an Bedeutung zu. Die Wasserrahmenrichtlinie schreibt den Stoffeinträgen aus der Landwirtschaft, der Atmosphäre, den Industrie- und Siedlungsräumen und den Verkehrswegen maßgebliche diffuse Gefährdungspotentiale zu. MSGw liefert hierzu direkte Informationen sowohl zum atmosphärischen Eintrag als auch zum Sickerraum.

3.2 Grundkonzept

Für Zwecke der Wasserwirtschaft wurde das Monitoringkonzept aus Standardverfahren der sektoralen gewässerkundlichen Beobachtung und Techniken der Ökosystembeobachtung entwickelt. Die Umsetzung erfolgt in Messgebieten, die in ihrer Gesamtcharakteristik für die Erfassung gewässerkundlicher Grundlagen und die Untersuchung wasserwirtschaftlicher Fragen besonders geeignet sind. Ausgewählte Messeinrichtungen aus früheren Untersuchungen zur Grundwasser- versauerung wurden aus fachlichen und aus Kostengründen übernommen. Aus vier Gebieten liegen dadurch bis zu 15jährige Messreihen vor, die bereits erste hydrologische Langfristbewertungen ermöglichen. Erstmals wurde das Messnetzkonzept vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft Anfang der 90er Jahre im Rahmen behördenübergreifender Abstimmungsgespräche vorgestellt (LFW 1993), sodann ab 1995 als Pilotvorhaben umgesetzt und getestet (LFW 1999a) und ab 2000 in den Dauerbetrieb überführt. Ein wesentliches Grundprinzip bildet die Abkehr vom streng ressortbezogenen Ansatz, denn die medienübergreifende Sicht erfordert eine Abstimmung mit den Mess- und Informationsinteressen der anderen mit Umweltüberwachung und Umweltschutz befassten Institutionen. Ergebnis der behördenübergreifenden Abstimmung war auch, bei

den verschiedenen übergreifenden Messprogrammen eine möglichst weitgehende gegenseitige Nutzung von Daten zu ermöglichen. MSGw folgt diesem Prinzip in konkreten Absprachen (Kap. 3.5). Um den Monitoringkern, die Beobachtung des Wasser- und Stoffflusses in standardisierten Messebenen des jeweiligen Typgebietes, wird ein Informationspool vorgehalten, der mit unterschiedlicher Intensität von den fachlich involvierten Kooperationspartnern bedient wird. Hierzu gehört vor allem die Erhebung von Stammdaten und Gebietsinformationen mit Bezug zur Land- und Forstwirtschaft.

Um eine gute Informationsdichte als gewässerkundliches Landesmessnetz zu erzielen, sah die langfristige Planung 25 Messgebiete über ganz Bayern vor (BITTERSÖHL et al. 1995). Im Zuge der notwendig gewordenen Ausgabenrestriktionen ist das MSGw derzeit auf einen Umfang von 7 Messgebieten begrenzt. Sie gehören zu den 8 Gebieten, die bereits in der Behördenabstimmung von 1993 als geeignete Standorte für interdisziplinäre Aktivitäten benannt wurden. Das reduzierte Standortkonzept bleibt wegen zwei besonderer Ansätze im Sinne einer Landesbeobachtung tragfähig:

- Nutzung vergleichbarer oder gewässerkundlich verwertbarer Daten der Partnerbehörden
- Integration der Messdaten in den großräumigen Datenzusammenhang der jeweiligen hydrogeologischen Landschaftseinheiten.

3.3 Einrichtung der Messgebiete

Die Kriterien zur Festlegung der Messgebiete (Tab. 1 und Abb. 2) sind:

- Wasserwirtschaftliche Bedeutung des Umfeldes in Bezug auf Risiken für die Gewässer und Fragen des Grundwasser- und Trinkwasserschutzes
- Erfassung von Poren- und Kluftgrundwasserleitern einschließlich Karst
- Erfassung der Landnutzungsformen Wald und Landwirtschaft mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten
- Räumlicher Bezug zu einschlägigen Dauermessprogrammen Dritter für Regionalisierungsfragen und Datenaustausch
- Vorhandensein möglichst umfangreicher Gebietsinformationen aus früheren Untersuchungen
- Möglichkeiten für Zufahrt und Stromanschluss zum Betrieb der Messeinrichtungen.

Mit der Einbeziehung örtlicher Rohwassermessstellen können die jeweils im Einzugsgebiet gewonnenen Daten zu lokalen Fragen der Trinkwasserversorgung aber auch zu Grundsatzfragen des Trinkwassermanagements in Bezug gesetzt werden. Hier liegt zudem ein Hauptinteresse der örtlich zuständigen Wasserwirtschaftsämter.

In den bewaldeten Messgebieten Hochspessart, Bayerischer Wald/Nationalpark und Fichtelgebirge sind kleine Wassereinzugsgebiete nach den methodischen Vorgaben der IHP/OHP (1995) ein-

Das integrierte Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser

gerichtet (Tab. 1). Einer Mischnutzung aus Wald und Landwirtschaft unterliegen die Messgebiete Münchener Schotterebene, Südliche Frankenalb und Nördliches Lechfeld. Rein landwirtschaftlich genutzt ist das Gebiet Donau/Gäuboden.

Tab. 1: Kenndaten der Messgebiete im Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser

Bezeichnung des Messgebietes	Geologie	Landnutzung	Beobachtung seit	Gebietsgröße [km ²]
Hochspessart	Buntsandstein	Wald	1987	2,4
Bayerischer Wald	Kristallin	Wald	1988	1,1
Fichtelgebirge	Kristallin	Wald	1987	4,1
Münchener Schotterebene	Schotterflächen	Wald / Landwirtschaft	1987 / 1995	ca. 11
Nördliches Lechfeld	Talschotter	Landwirtschaft/(Wald)	1995	ca. 15
Donau / Gäuboden	Talschotter	Landwirtschaft	1996	ca. 9
Südliche Frankenalb	Weißer Jura	Landwirtschaft/(Wald)	1996	5
Alpen	Flysch	Wald	1991	0,07

Im Alpenraum ermöglicht die Zusammenführung von Daten der LWF (Waldklimastation Kreuth) mit den Daten eines Abflusspegels der Wasserwirtschaftsverwaltung (Pegel Marienstein, Schreibach) eine Bilanzierung des Wasser- und Stoffkreislaufes für ein weiteres Einzugsgebiet. Eigene Messungen sind hierfür nicht erforderlich. Zur Charakterisierung und Bilanzierung von Auestandorten in Südbayern können Daten des Referenzlysimeters der Lysimeterstation Wielenbach herangezogen werden. Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Ab 1995 wurden sukzessive die drei neuen, vorwiegend landwirtschaftlichen Gebiete mit Messeinrichtungen versehen. Es erfolgte zunächst der Aufbau der Messgeräte zur Erfassung der Stoffeinträge und des Klimas, anschließend die Instrumentierung der ungesättigten Zone mit Saugkerzen und Tensiometern. Aus Kostengründen werden hier bereits vorhandene Grundwasseraufschlüsse als Messstellen genutzt. Die Errichtung von Abflusspegeln war nicht erforderlich, da diese Gebiete ohne oberirdischen Abfluss sind. Im Messgebiet Münchener Schotterebene mit seiner Mischnutzung erfolgte neben der bestehenden Einrichtung im

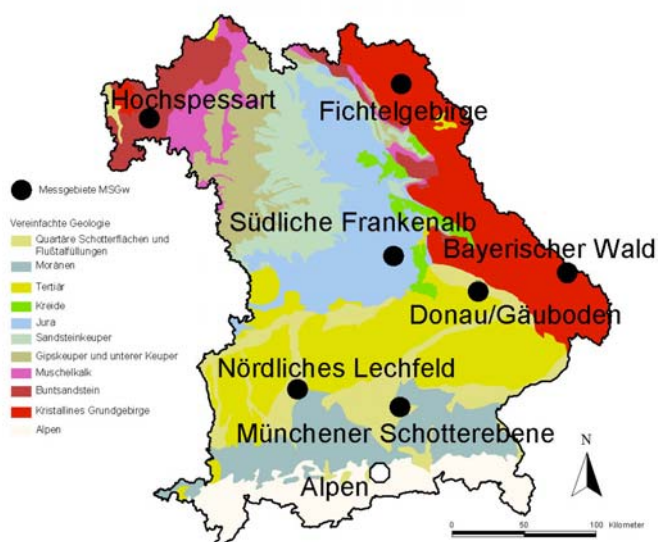


Abb. 2 Lage der Messgebiete des Messnetzes Stoffeintrag-Grundwasser

Wald ein weiterer Ausbau im landwirtschaftlich genutzten Umfeld. Nach Abschluss dieser Arbeiten erfolgte die notwendige Modernisierung der Alteinrichtungen in den seit 1987 betriebenen Messgebieten, die im Jahre 2001 abgeschlossen wurde.

3.4 Monitoringkonzept

Das Grundkonzept erfordert eine Anzahl von Messstellen, die im jeweiligen Messgebiet den Wasser- und Stofffluss in wichtigen Ebenen des Wasserkreislaufs erfasst (Abb. 3). In den Messgebieten werden Wassereinzugsgebiete – als hydrologische Kleineinzugsgebiete mit oberirdischem Abfluss oder als Grundwassereinzugsgebiete einer Wasserversorgung - beobachtet. Kernstück der Instrumentierung sind die Messeinrichtungen in der ungesättigten Zone.

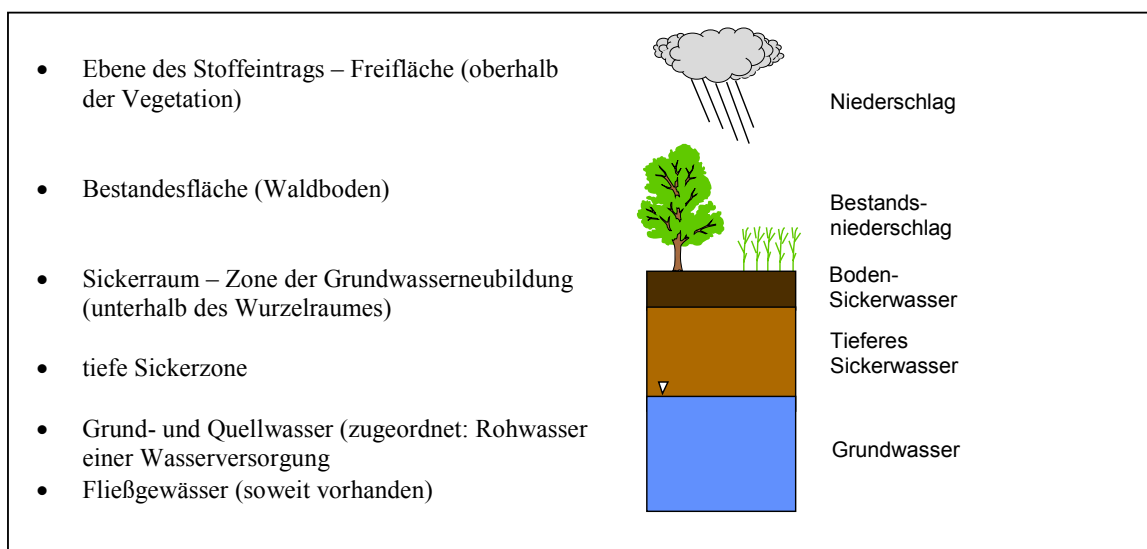


Abb. 3 Messebenen der Beobachtung

Neben den Mengen- und Beschaffenheitsdaten im Wasserfluss werden physikalische Daten (Klimaparameter, bodenphysikalische Daten etc.) und Landnutzungsdaten (Waldstruktur, landwirtschaftliche Nutzung, etc.) erhoben.

Die dazu erforderlichen Messeinrichtungen eines Messgebietes sind:

- Klimastation: Erfassung der Niederschlagshöhe und der Verdunstungsparameter als Regelglieder der Wasserbilanz und Kontrollparameter für das Depositionsklima
- Depositionsmessgeräte: Erfassung der nassen Deposition (Freiland) und der akzeptorabhängigen Deposition (Vegetation, nur im Wald verwirklicht) als Eingangsgröße möglicher Sicker- und Grundwasserbelastungen
- Sickerwasser-Probennahmegeräte: Erfassung der Stoffverlagerung und -mobilisierung im Sickerraum, Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung

Das integrierte Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser

- Bodenfeuchtemessgeräte: Erfassung der Wassergehalte und der Wassermengenbewegung in der Sickerzone, Grundwasserneubildung, Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung
- Grundwassermessstelle/Quellenmessstelle: Erfassung der Mengen- und Beschaffenheitsänderungen des Grundwassers
- Rohwassermessstelle: Erfassung der Mengen- und Beschaffenheitsänderungen des Grundwassers als gewonnenes Rohwasser
- Abflussmessstelle: Erfassung von Menge und Beschaffenheit des oberirdischen Abflusses.

Die Intensivmessfläche ist die zentrale Einrichtung des Wassereinzugsgebietes mit den Messeinrichtungen für Standort und Vegetation, Stoffeintrag, Wasser- und Stofftransport im Sickerraum, Grundwasser. Die Bewirtschaftung erfolgt auf der Intensivmessfläche analog zur Bewirtschaftung im Umfeld. Der Untersuchungsschwerpunkt liegt im Sickerraum als Zone der Grundwasserneubildung und der lateralen Abflussbildung. Standardtiefen für das Monitoring sind 50 cm (unterhalb der obersten Bodenschicht) und 200 cm (unterhalb des Wurzelraums). Letztere liefert die entscheidenden Informationen über die Rückhalte- und Filterwirkung der vegetations- und nutzungsbeeinflussten Schichten und die Stoffbefrachtung des Sickerwassers, das der Grundwasserneubildung dient. Der tiefere Sickerraum unterhalb von 2 m Tiefe wird wegen des besonderen Aufwands nur exemplarisch für spezielle Fragestellungen in die Beobachtungen aufgenommen. Das sind gegenwärtig:

- Stoffverlagerung im Bereich der Versauerungsfront (Messgebiete Hochspessart und Fichtelgebirge)
- Stoffverlagerung unter Ackernutzung (Messgebiet Donau/Gäuboden, Abb. 4)

An der zugeordneten Grundwassermessstelle werden die Summenwirkungen des jeweiligen Zuflussbereiches auf das Grundwasser erfasst. Durch Hinzuziehen weiterer Grundwasseraufschlüsse und zusätzlicher Standortinformationen wird ein Gesamtbild des Grundwasservorkommens im Einzugsgebiet erstellt.

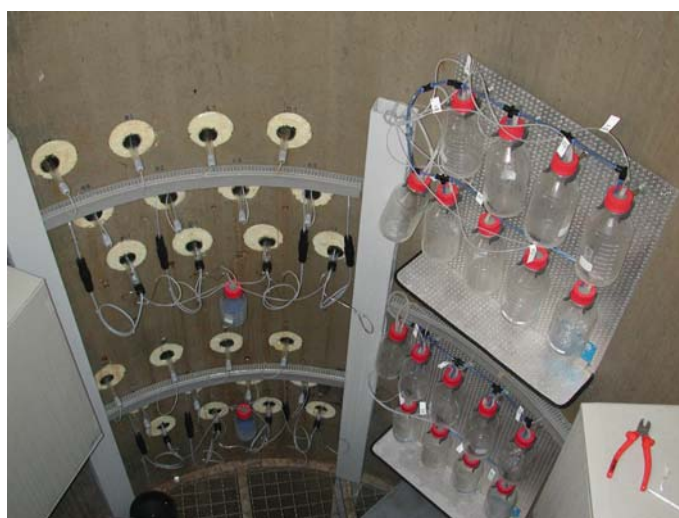


Abb. 4 Messstellen zur Beobachtung der ungesättigten Zone (Messschacht im Messgebiet Donau/Gäuboden mit Tensiometern und Saugkerzen)

Messstellen bestehen aus einem einzelnen **Messpunkt** (z.B. Abflussmessstelle) oder aus mehreren Messpunkten, an denen Teilproben gewonnen bzw. Einzeldaten für Summen- oder Mittelwertbildungen erhoben werden (z.B. Saugkerzen einer Sickerwasserebene).

Die Betreuung der Messgebiete und der Messbetrieb erfolgen durch die lokal zuständigen Wasserwirtschaftsämter, unterstützt durch eine zentrale Systemwartung. Die Arbeitsteilung zwischen dem LfW als koordinierende Stelle und den Wasserwirtschaftsämtern sichert ein gleichbleibendes Niveau des Untersuchungsprogramms. Einzelne Messstellen im Wald werden im Rahmen der Kooperation mit der Forstverwaltung von der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft betreut.

3.5 Kooperationen

Dem Informationsfluss zwischen den umweltorientierten Behörden kommt auch angesichts knapper werdender Ressourcen eine hohe Bedeutung zu (LFW 1999a). Abb. 5 gibt einen Überblick der landesweiten, medienübergreifenden Messprogramme mit Zuordnung zu den jeweils beobachteten Umweltmedien. MSGw als gewässerkundliches Programm überdeckt notwendigerweise den gesamten Wasserpfad.

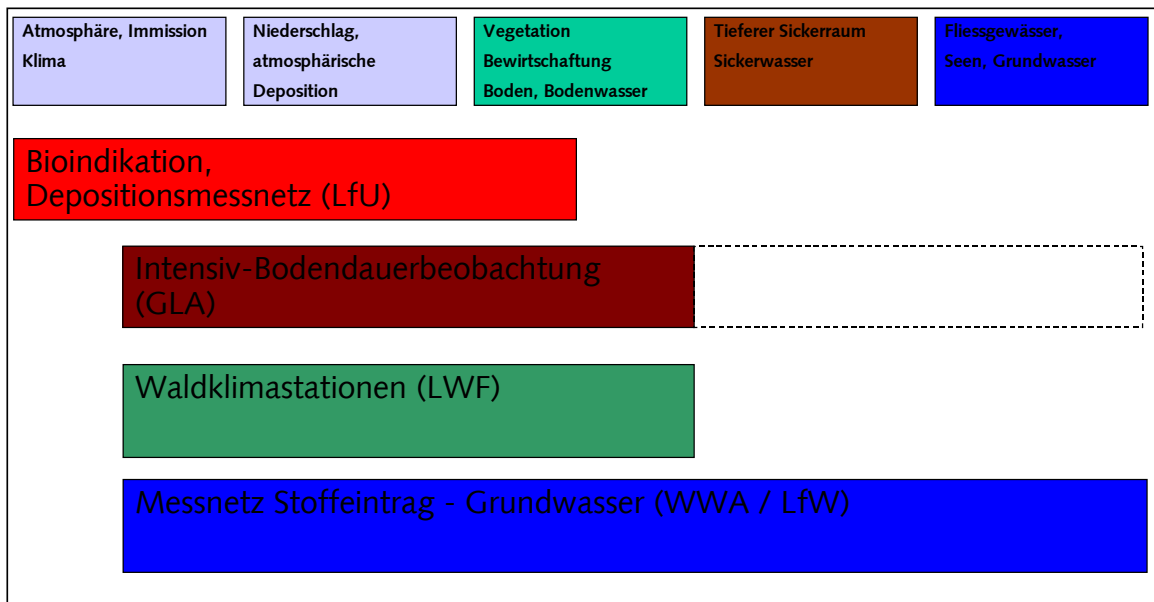


Abb. 5 Medienübergreifende Landesmessnetze in Bayern

Es bestehen Kooperationen mit unterschiedlichem Umfang und spezifischen Fragestellungen (Tab. 2). Im Bereich der forstlichen Umweltbeobachtung wird das international eingebundene Programm Waldklimastationen durchgeführt, das der Erfassung von klimatischen und stofflichen Einflüssen auf Zustand und Entwicklung von Waldgebieten dient (Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF). Im Bereich der bundesweit abgestimmten Bodendauerbeobachtung beste-

Das integrierte Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser

hen Kooperationen mit den ausführenden Behörden Geologisches Landesamt (GLA), Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und LWF. In dem 1999 am GLA implementierten „Pilotprojekt zur Intensivierung der Bodendauerbeobachtung“ werden die Wasser- und Stoffflüsse im Boden-Wasser-Pfad registriert. Mit dem Landesamt für Umweltschutz (LfU) wurden bisher Messstandorte gemeinsam genutzt und Fragen der Methodenharmonisierung bei der Depositionsmessung behandelt. Informationsaustausch unterschiedlicher Intensität erfolgt mit den lokalen Wasserversorgungsunternehmen, daneben mit den Forstämtern und den Ämtern für Landwirtschaft und Ernährung, im Gebiet Donau/Gäuboden auch mit dem örtlichen landwirtschaftlichen Betrieb. Die Zusammenarbeit mit der Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald erfolgt im Rahmen des langfristigen Projekts „Hydrologie Große Ohe“, an dem die Wasserwirtschaftsverwaltung seit Beginn 1979 beteiligt ist (s. auch Kap. 5).

Tab. 2: Kooperationen im Rahmen des MSGw (BDF = Bodendauerbeobachtung, WKS = Waldklimastation)

Institution	Untersuchungsprogramm	Vereinbarungen, Aktivitäten
LfL	BDF	paralleler Messbetrieb am Standort Donau/Gäuboden, BDF-Daten, Schlagkarteien, fachspezifische Auswertungen, gemeinsame Öffentlichkeitsarbeit
LWF	BDF, WKS	Kooperation Messnetze WKS und MSGw, Forstfachliche Auswertungen, Koordinierung und Analyse von MSGw-Bodenzustandsdaten, gemeinsame Öffentlichkeitsarbeit
GLA	BDF, Intensiv-BDF	Koordinierung und Analyse von MSGw-Bodenzustandsdaten, Intensiv-BDF-Daten, Informationsaustausch
LfU	Depositionsmessnetz	Informationsaustausch, Untersuchungen zur Methodenharmonisierung, gemeinsame Nutzung von Messstandorten
Uni Bayreuth	Ökosystemforschung Forsthydrologie	Daten- und Informationsaustausch, Abstimmung von Messprogrammen, Vertretung wasserwirtschaftlicher Aspekte in Forschungsprojekten, Wissenstransfer
TU München	Forsthydrologie	Daten- und Informationsaustausch, Vertretung wasserwirtschaftlicher Aspekte in Forschungsprojekten, Wissenstransfer
NP- Verwaltung Bayer. Wald	Gemeinschaftsprojekt Hydrologie Große Ohe	Daten- und Informationsaustausch, Forsthydrologisches Referenzgebiet Große Ohe, ECE Integrated Monitoring, Problematik Totholz/Trinkwasserschutz (Quellen, Talsperre Frauenau)
WVU	Eigenüberwachung, Einzugsgebietsmanagement	Daten- und Informationsaustausch

Hiervon sind weitere Fachkontakte zu wasserwirtschaftlich relevanter Forschung und gutachtlicher Tätigkeit für den Bereich des Nationalparks abzuleiten. Auch die Kontakte zur Forstwissenschaft der Technischen Universität Weihenstephan gehen hiervon aus. Einen besonderen Stellenwert für hydrologische Grundsatzfragen und Risikoabschätzung hat die Zusammenarbeit mit der Universität Bayreuth, die das Wassereinzugsgebiet Lehstenbach seit 1990 als Forschungsgebiet nutzt.

3.6 Produkte und Kunden

MSGw liefert übergreifende und verknüpfende Informationen zur Entwicklung des Wasser- und Stoffkreislaufs und der flächenhaften Stoffbelastung in wasserwirtschaftlich relevanten Situationen. Darüber hinaus werden Datenreihen, Standardauswertungen und Stellungnahmen zu den sektoralen Messobjekten und zu thematischen Schwerpunkten erarbeitet, z.B.

- Gewässerbezogene Kontrolle atmosphärischer Schadstoffeinträge
- Verlagerung von Stickstoff- und Säureinträgen im Sickerraum
- Auswirkungen der Landnutzung und Bewirtschaftung auf die Gewässer
- Entwicklung und Kontrolle der Grund- und Trinkwasserversauerung
- Klimaveränderung und Stoffeintrag
- Stoffbilanz repräsentativer Wassereinzugsgebiete.

Neben den externen Kooperationspartnern werden Wasserwirtschaftsämter und Regierungen regelmäßig informiert, besonders im Zusammenhang mit der Erstellung von Berichten und Gutachten sowie von Materialien für die Öffentlichkeitsarbeit. Darüber hinaus werden Anfragen von privaten Büros und anderen Interessenten bedient. Insbesondere stehen die Daten auch der hydrologischen Forschung offen, denn sie betreibt keine langfristigen Dauermessprogramme und ist diesbezüglich auf die staatlichen Basisaktivitäten angewiesen.

4 Methodik

4.1 Messprogramme

Im Messnetz Stoffeintrag – Grundwasser werden qualitative und quantitative Daten der Wasserkreislaufkomponenten sowie beschreibende Daten der Messgebiete und Messstandorte erhoben und verarbeitet.

4.1.1 Qualitative Programme

Die für alle Wassertypen durchgeführten Messprogramme „Beschaffenheit“ umfassen die routinemäßige Bestimmung der in Tab. 3 aufgeführten Hauptinhaltsstoffe und Leitparameter im Hauptmessprogramm, sowie das Messprogramm Spurenmetalle. Assoziiert ist das Messprogramm Organische Spurenstoffe im Niederschlag.

Im Hauptmessprogramm werden untersucht:

- Parameter zur Charakterisierung des Wassertyps
- Nährstoffe/eutrophierende Stoffe
- Säure und Säurebildner
- Härtebildner
- Parameter des Kalk-Kohlensäuregleichgewichts
- Organische Summenbelastung (z.B. TOC, SPAK)

Für alle Wassertypen werden vor Ort mindestens Temperatur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit ermittelt. Die Analysen wurden überwiegend am Labor des LfW durchgeführt, im Zeitraum 1992 bis 2001 wurden die Parameter Ca, Mg, Na, K, Al, Ba, Zn, Fe, Mn für Niederschlag, Sickerwasser, Quellwasser und Fließgewässer im Labor des Wasserwirtschaftsamtes Bayreuth bestimmt. Sowohl die Messprogramme als auch einzelne Analysenmethoden wurden im Laufe der Untersuchungen verändert und neuen Anforderungen angepasst. So erfolgten größere Änderungen der Messprogramme in den Jahren 1995 und 2001. Die meisten Parameter werden seit 1987 mit unveränderten Verfahren bestimmt. Durch Veränderungen in der Geräteausstattung, Fortentwicklung der Analysemethoden etc. waren die Bestimmungsgrenzen zum Teil Schwankungen unterworfen. Die in den Tabellen 3 und 4 aufgeführten Werte geben den aktuellen Stand wieder.

Die von der LWF betreuten Messstellen wurden auf einen vergleichbaren Parameterumfang hin analysiert.

Methodik

Tab. 3: Hauptmessprogramm Beschaffenheit

Messgröße	Einheit	Bestimmungs- grenze	Analysenverfahren	Wassertyp
pH-Wert (vor Ort)	-		DIN 38404-C5	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
el. Leitfähigkeit 20°C (vor Ort)	µS/cm	1	DIN EN 27888	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Temperatur (vor Ort)	°C		DIN 38404-C4-2	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Färbung (vor Ort)	-			Gw, Q, Rw, F
Trübung (vor Ort)	-			Gw, Q, Rw, F
Geruch (vor Ort)	-			Gw, Q, Rw, F
Sauerstoff (vor Ort)	mg/l	0,2	DIN EN 25814	Gw, Q, Rw, F
pH-Wert (Labor)	-		DIN 38404-C5	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
el. Leitfähigkeit 20°C (Labor)	µS/cm	1	DIN EN 27888	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Säurekapazität pH 4,3	mmol/l	0,05	DIN 38409-H7-1-2	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Basenkapazität pH 8,2	mmol/l	0,05	DIN 38409-H7-2-2	Gw, Rw
Calcium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Magnesium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Natrium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Kalium	mg/l	0,1	DIN EN ISO 11885	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Ammonium-N	mg/l	0,01	DIN EN ISO 11732 Abschn. 1	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Gesamtstickstoff	mg/l	0,3	DIN V ENV 12260	N
Sulfat	mg/l	1	DIN EN ISO 10304-1-2	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Nitrat	mg/l	0,5	DIN EN ISO 10304-1-2	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Nitrit-N	mg/l	0,005	DIN EN ISO 13395	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Chlorid ¹	mg/l	0,5	DIN EN ISO 10304-1-2	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Fluorid ²	mg/l	0,1	DIN 38405-D-4-1	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
o-Phosphat-P	mg/l	0,005	DIN 38405-30	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
TOC	mg/l	0,5	DIN EN 1484	N, Sw, Gw, Q, Rw, F
Kieselsäure	mg/l	0,1	Autom. Analysengerät	Gw, Q, Rw, F
SPAK 254nm	1/m	0,1	Autom. Analysengerät	N, Sw, Gw, Q, Rw, F

¹ab 1997 wurde die Bestimmungsgrenze für Freilandniederschlag von 0,5 mg/l auf 0,1 mg/l gesenkt

²wurde von 1995 – 2001 bestimmt

N	= Niederschlag	Sw	= Sickerwasser
F	= Fließgewässer	Gw	= Grundwasser
Rw	= Rohwasser	Q	= Quellwasser

Im Messprogramm Spurenmetalle (Tab. 4) werden ausgewählte Schwermetalle und Aluminium untersucht. Anthropogene Spurenmetalle und andere werden nach Freisetzung bei Produktions- und Verbrennungsprozessen über die Atmosphäre eingetragen. Sie können jedoch auch geogenen Ursprungs sein. Insbesondere Aluminium und Mangan werden durch Bodenversauerung im Sickerraum mobilisiert und weiter verfrachtet. Beides sind Problemstoffe bei der Trinkwasseraufbereitung. Der Umfang des Messprogramms wurde in Abhängigkeit von den Ergebnissen mehrfach verändert.

Tab. 4: Messprogramm Spurenmetalle

Messgröße	Einheit	Bestimmungs- grenze	Analyseverfahren	Untersuchungszeitraum		
				N	Sw	Gw/F/Q/Rw
Aluminium	mg/l	0,02	DIN EN ISO 11885	ab 1988	ab 1987	ab 1987
Barium	mg/l	0,01	DIN EN ISO 11885	1988-1989, 1995-2000	1987-2000	1987-2000
Beryllium	mg/l	0,001	DIN EN ISO 11885	1988-1989	1987-1995	1987-1995
Cadmium	mg/l	0,0001	DIN EN ISO 5961 Abschn. 3	ab 1988	ab 1987	ab 1987
Chrom	mg/l	0,001	DIN EN 1233 Abschn. 4	1988-2000	1988-1989 1995-2000	1987-2000
Kupfer	mg/l	0,001	DIN 38406-E7-2	1995-2000	1995-2000	1995-2000
Eisen	mg/l	0,01	DIN EN ISO 11885	1988-2000	1987-2000	1987-2000
Mangan ¹	mg/l	0,01	DIN EN ISO 11885	1988, ab 1995	ab 1987	ab 1987
Nickel	mg/l	0,001	DIN 38406-E-11-2	ab 1988	ab 1995	ab 1995
Blei	mg/l	0,001	DIN 38406-E-6-2	ab 1988	ab 1988	ab 1987
Zink	mg/l	0,01	DIN EN ISO 11885	ab 1988	ab 1987	ab 1987

¹ ab 2000 wurde die Bestimmungsgrenze auf 0,001 mg/l gesenkt.

Im Rahmen des Vorhabens „Untersuchungen zur Verteilung von PBSM, Nitrophenolen sowie synthetischen Moschusverbindungen durch den Niederschlag“ wurden seit 1994 monatliche Regen-Mischproben an 8 Standorten (davon liegen 7 Standorte in MSGw-Messgebieten) auf organisch-chemische Stoffe untersucht (Tab. 5). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können mit den Analysen früherer Projekte, „Organische Schadstoffe: Polychlorbiphenyle (PCB) und Pestizide im Kreislauf des Wassers: Bilanzierung und Bewertung“ (BRAUN et al. 1987) und „Neue Untersuchungen zur Analytik und Verbreitung von Polychlorbiphenylen (PCB) und Pflanzenbehandlungsmitteln, 1990“ (BRAUN et al. 1990) zu langen Zeitreihen zusammengefasst werden. So ist es möglich, das Konzentrationsverhalten verschiedener Stoffgruppen und Einzelstoffe im Niederschlag über mehrere Jahre darzustellen und die Wirkungen von Verboten oder Einschränkungen einzelner Stoffe (z.B. Atrazin) aufzuzeigen.

Tab. 5: Stoffklassen und Zeitraum der untersuchten organischen Verbindungen im Niederschlag

Stoffgruppe	Zeitraum	Stoffgruppe	Zeitraum
PCB	1984 – 1989	Herbizide	1987 – 2002 und danach
Insektizide	1984 – 1998	synthetische Moschusverbindungen	2000 – 2001
Nitrophenole	1994 – 2001	Methyl-tert.-buthylether	1999 – 2001

Zur detaillierten Beschreibung der Stoffliste, Bestimmungsgrenzen und Analyseverfahren wird auf den Materialienband Nr. 107 (LFW 2002) verwiesen.

4.1.2 Quantitative Programme

Zur Bestimmung von Stofffrachten und –bilanzen sowie zur Bestimmung des Wasserhaushalts sind neben den Messungen zur Wasserbeschaffenheit die zugehörigen quantitativen Daten zu

Methodik

erheben. Daher werden an den gewässerkundlichen Messstellen folgende quantitativen Parameter erfasst:

- Niederschlagsmenge und -höhe mittels Bulksammlern im Freiland und Wald (Kronentraufe)
- Stammabfluss im Laubholzbestand
- Bodenfeuchte (als Saugspannung)
- Grundwasserstand
- Quellschüttung
- Wasserstand und Abfluss an den Abflusspegeln

4.1.3 Messprogramm Klima

An meteorologischen Messstationen werden Klimaparameter erfasst. Die Messwerte beschreiben das Standortklima. Sie sind Grundlage für die Ermittlung des Bodenwasserhaushalts, der aktuellen und potentiellen Verdunstung und geben Hinweise auf die lokalen Rahmenbedingungen der atmosphärischen Deposition.

Messgrößen:

- Niederschlagshöhe (Hellmann-Regenmesser)
- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Globalstrahlung
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Bodentemperatur
- Höhe der Schneedecke (in schneereichen Messgebieten)

Die Messungen werden in Anlehnung an die Vorgaben des DWD durchgeführt. So erfolgen die Messungen von Globalstrahlung, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und -feuchte in 2 m Höhe. Die Bodentemperatur wird in 5, 10 und 20 cm Tiefe erfasst. Darüber hinaus wird sie in Verbindung mit der Sickerwasserbeobachtung und der Bodenfeuchtemessung in Tiefen bis zu 8 m gemessen.

4.1.4 Waldzustandserfassung

In den forstlich genutzten Wassereinzugsgebieten wird jährlich durch die LWF der Kronenzustand der Bäume auf den Intensivmessflächen angesprochen. Die Erhebungen erfolgen nach dem selben Verfahren und synchron zur bayernweiten Waldzustandserhebung. Auf jeder Fläche werden dabei die markierten Bäume auf ihre Nadel- bzw. Blattverluste und den Vergilbungsgrad angesprochen.

4.1.5 Mess- und Probenahmefrequenzen

Die Mess- und Probenahmefrequenzen (Tab. 6 und 7) richten sich nach:

- Ermittlung von Jahres- und Halbjahreswerten
- Innerjährliche Variation und Dynamik
- Begrenzung des Betreuungs- und Laboraufwandes

Tab. 6: Probenahmefrequenzen der qualitativen Messprogramme

Wasser	Turnus		
	1987 - 2001	2001 - 2002	ab 2003
Niederschlag (Hauptmessprogramm H)	2-wöchentlich	2-wöch. (Mai-Okt.) 4-wöch. (Nov.-April)	2-wöchentlich
Niederschlag (Messprogramm Spurenmetalle S)	2-wöchentlich	4-wöchentlich	2-wöchentlich
Sickerwasser (H und S)	2-wöchentlich	4-wöchentlich	4-wöchentlich
Oberirdische Gewässer (H und S)	2-wöchentlich	4-wöchentlich	2-wöchentlich
Quellen (H und S)	2-wöchentlich	4-wöchentlich	4-wöchentlich
Grund- und Rohwasser (H und S)	2-monatlich	3-monatlich	3-monatlich

Von 1987 bis Frühjahr 2001 wurden alle qualitativen Messprogramme 14-täglich, für Grund- und Rohwasser 2-monatlich durchgeführt. Ab 2001 wurden die Messfrequenzen versuchsweise erheblich reduziert. Nach Prüfung der Auswirkungen auf Messbetrieb und Datenqualität wird ab 2003 ein optimiertes Programm gefahren, das Erfordernisse der Qualitätssicherung und Kostengründe berücksichtigt.

Tab. 7: Aktuelle Messfrequenzen für quantitative Messprogramme und Klimadaten

Parameter	Turnus	Bemerkung
Niederschlagshöhe	14-täglich*	Bulk-Sammler (Messfrequenzen wie Niederschlag Hauptmessprogramm Tab. 6)
Stammabfluss	14-täglich*	Kippschalenmesser (Messfrequenzen wie Niederschlag Hauptmessprogramm Tab. 6)
Bodenfeuchte	10-minütlich	Datensammler
Bodentemperatur	10-minütlich	Datensammler
Grundwasserstand	stündlich	Datensammler
Grundwasserstand	14-täglich	Kontrolle mit Lichtlot
Quellschüttung	14-täglich (bis 2001) 4-wöchentlich (ab 2001)	Messgefäß
Wasserstand und Abfluss	kontinuierlich	Pegelschreiber
Klimadaten	10-minütlich	Datensammler
Schneehöhe	14-täglich	bei Bedarf

*) in 2001 (Nov-Apr) und 2002 (Nov-Apr) 4-wöchentlich

Die Klima- und Bodenwasserdaten werden 10-minütlich als Mittel- bzw. Summenwerte auf der Basis von minütlichen Messungen auf Datensammler gespeichert und im 14-täglichen Turnus ausgelesen. Im Messgebiet Münchener Schotterebene wird gegenwärtig ein online-Verfahren zur

Methodik

Datenfernübertragung getestet, welches ein zentrales und turnusunabhängiges Auslesen ermöglicht. Der Zeitbedarf aller Prozessschritte vom Datensammler bis zum Eintrag in die Datenbank reduziert sich dadurch erheblich. Die Datensammler für den Grundwasserstand werden bei jeder Grundwasserprobenahme, d.h. in 3-monatlichem Rhythmus betreut und ausgelesen.

4.2 Ausstattung der Messgebiete

Die räumlich-hierarchische Zuordnung aller Messstellen im Messgebiet ergibt sich aus Abb. 6.

Zur Ermittlung der atmosphärischen Deposition wurden in allen Gebieten Freilandmessstellen nach den Vorgaben der LAWA (1998) eingerichtet. Hier befindet sich auch die Klimastation. In den Gebieten mit forstlicher Nutzung ist zusätzlich eine Bestandesmessfläche eingerichtet, die nach den Kriterien

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

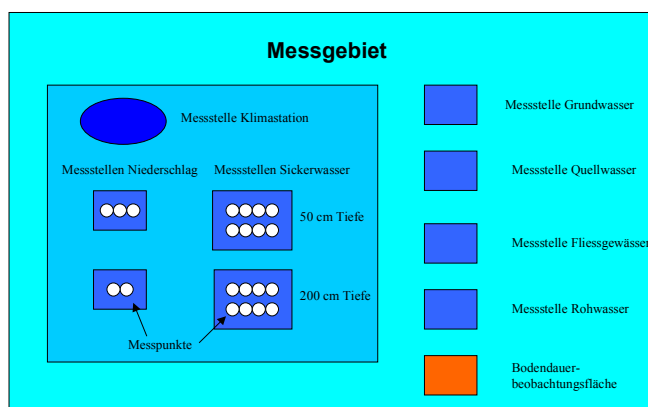


Abb. 6 Schema eines Messgebietes und seiner Ausstattung

ausgewählt wurde. Hier befinden sich auch die Messeinrichtungen für Bodenwasser und Bestandsniederschlag. Auf der abgegrenzten (und i.d.R. eingezäunten) Intensivmessfläche (s. Abb. 7) sind wesentliche Messeinrichtungen aggregiert, insbesondere für den Niederschlag und das Sickerwasser. Hier werden auch Daten zur Landnutzung (Vegetation, Bewirtschaftung) erhoben. Der Intensivmessfläche ist eine Bodendauerbeobachtungsfläche zur Erfassung von Bodenstandsdaten unmittelbar zugeordnet.

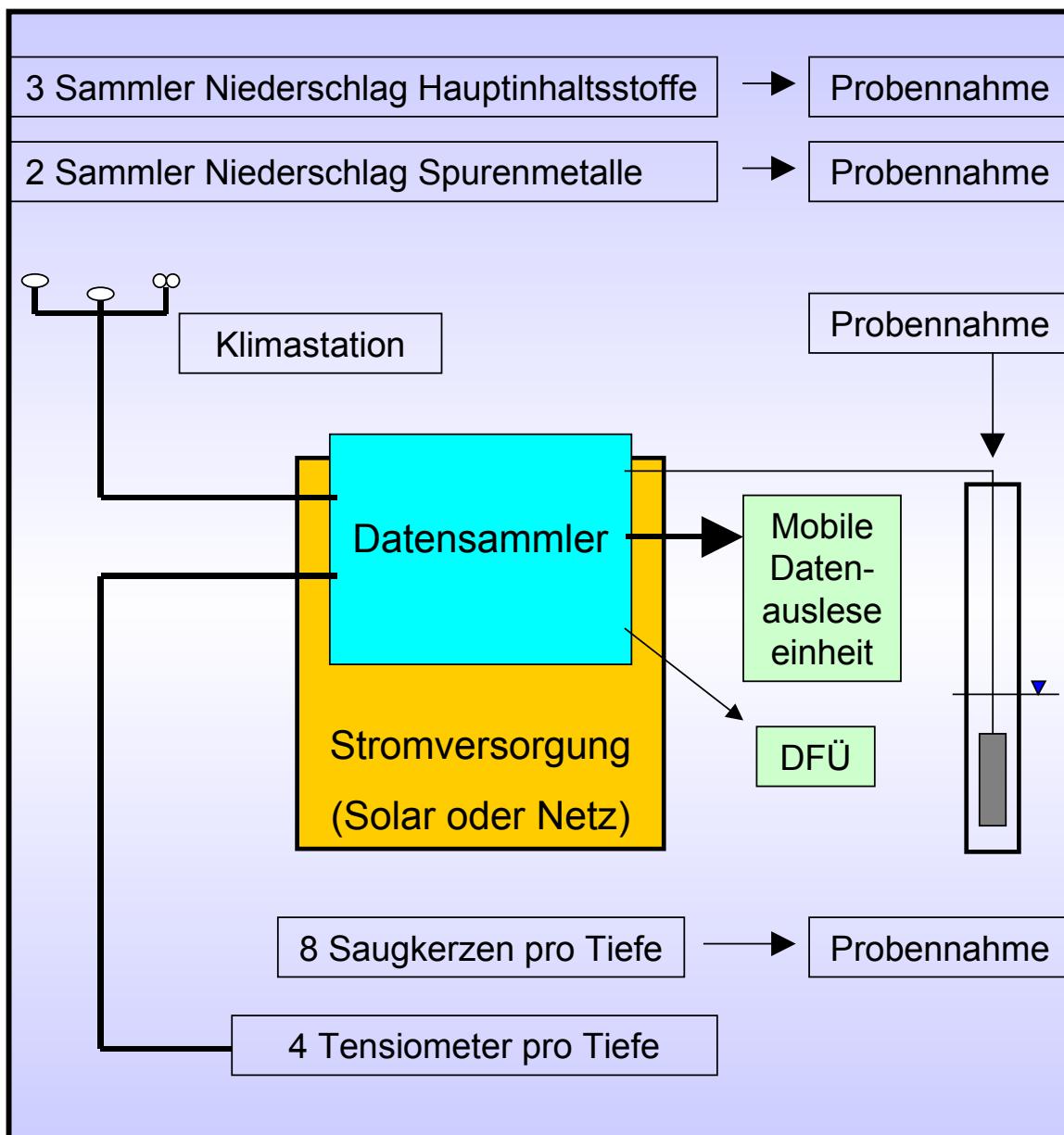


Abb. 7 Standardausstattung einer Intensivmessfläche im Freiland

4.3 Mess- und Probenahmetechnik

4.3.1 Erfassung von Klimadaten

Die fünf Klimastationen sind mit moderner Sensorik ausgestattet (Tab. 8). Die Messwerte werden minütlich erfasst und alle 10 Minuten als Mittelwerte bzw. Summen abgespeichert. Als Datensammler werden DL2- und DL2e-Logger der Firma Delta-T eingesetzt, die sich in der Praxis weltweit für langfristige Umweltmonitoringprogramme bewährt haben. Wo Klimadaten von

Methodik

Dritten zur Verfügung stehen, werden diese übernommen (im Fichtelgebirge: Universität Bayreuth, im Bayer. Wald: Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft).

Tab. 8: Ausstattung der Klimastationen

Messgröße	Messgerät	Hersteller
Relative Luftfeuchte	Feuchtesensor SKH 2013	Skye Instruments LTD.
Lufttemperatur	Temperatursensor SKH 2013	Skye Instruments LTD.
Windgeschwindigkeit	Anemometer A101 M/L	Vektor Instruments
Windrichtung	Windrichtungssensor W200P	Vektor Instruments
Globalstrahlung	Pyranometer CM 11	Kipp&Zonen Delft BV
Niederschlagshöhe	Kippwaage RG 50	Seba Hydrometrie
Bodentemperatur	Temperatursensor SKTS 200	Skye Instruments Ltd.

Die Ermittlung der Niederschlagshöhe erfolgt mit mehreren Methoden (Tab. 9). Meteorologisches Standardverfahren ist die Erfassung mittels Hellmann-Regenmesser. Parallel dazu liefert der Betrieb von Bulk-Sammlern Niederschlagshöhen, die mit den Beschaffenheitsdaten zu Stoffdepositionen verrechnet werden. In schneereichen Gebieten (HSP, BW, FIG) treten besondere Messprobleme auf. Hier werden 60 l – Schneewannen eingesetzt, die eine große Auffangfläche besitzen.

Tab. 9: Methoden zur Ermittlung der Niederschlagshöhe im MSGw

Messgerät	Messmethode	Auffangfläche	Bemerkung
Hellmann-Regenmesser	Kippwaage	200 cm ²	
Hellmann-Regenmesser	Regenschreiber	200 cm ²	im Fichtelgebirge und Bayerischen Wald nur Sommerbetrieb
Bulk-Sammler	Volumetrisch	325 cm ²	Freiland: 3 Wiederholungen
Typ Trichter-Flasche			Waldbestand: 15 Wiederholungen
60 l – Schneewannen	Gravimetrisch	2500 cm ²	2- bis 5-fache Wiederholung, Einsatz in schneereichen Gebieten (insb. im BW)

4.3.2 Erfassung von Stoffeinträgen

4.3.2.1 Atmosphärische Deposition

Die atmosphärische Deposition von Stoffen auf der Erdoberfläche erfolgt in flüssigem, festem oder gasförmigem Zustand als nasse und trockene Deposition (Abb. 8). Bestimmend für die Menge der trocken deponierten Substanzen ist vor allem die Rauigkeit der bewachsenen Geländeoberfläche und die Immissionssituation. Für die Gesamtdeposition haben weitere Faktoren wie Exposition, Geländehöhe und Höhe des Jahresniederschlags Bedeutung. An Waldstandorten, insbesondere in Nadelholzbeständen, werden aufgrund der starken Filterwirkung der Baumkronen höhere Stoffeinträge als im Freiland registriert.

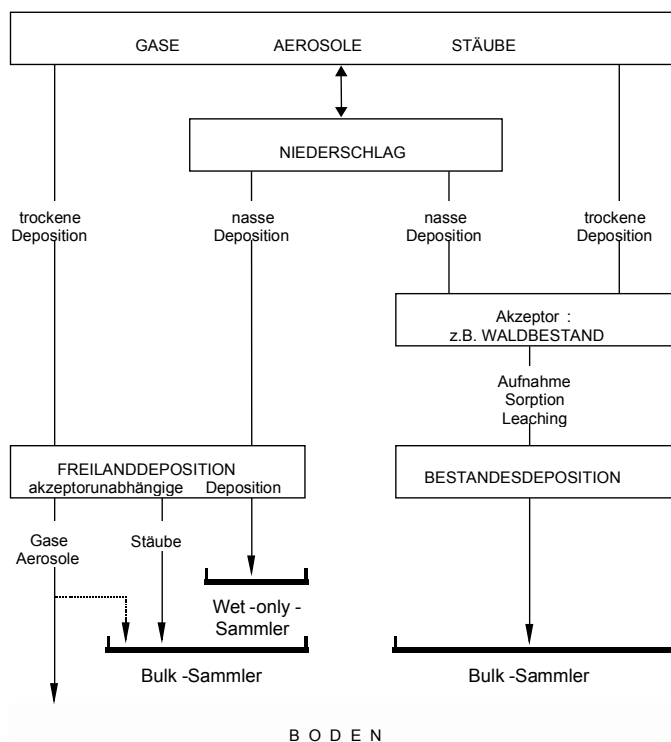


Abb. 8 Schema der Depositionsvorgänge und Erfassungsmethoden (aus LAWA 1998)

Den Methoden zur Erfassung der Deposition liegt die Richtlinie „Atmosphärische Deposition“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 1998) zugrunde. Für die Erfassung anorganischer Stoffe werden zwei Standard-Sammelsysteme eingesetzt.

Probenahme Freifläche

- Sammelsystem 1 (Hauptmessprogramm Niederschlag, plus Cd, Pb und Mn): Probenahme zur Bestimmung von Stoffkonzentrationen und Niederschlagsmengen mittels 3 Trichter-Flasche-Sammlern mit einer Auffangfläche von je 325 cm² (s. Abb. 9). Dieser Sammlertyp wurde von der LWF entwickelt und wird bayernweit in Depositionsmessprogrammen eingesetzt. Probenahme und vor-Ort Messungen erfolgen aus Mischproben der 3

Einzelsammler. Die gesammelte Niederschlagsmenge wird für jeden Sammler einzeln volumetrisch bestimmt. Die gewonnenen Proben werden keiner Vorbehandlung unterzogen. Als Produkt von Niederschlagshöhe (aus gemittelter Menge) und Stoffkonzentration der Mischprobe wird der Stoffeintrag berechnet.

- Sammelsystem 2 (Messprogramm Spurenmetalle): Probenahme zur Bestimmung von Spurenmetallen mittels 2 Topf-Sammlern in Anlehnung an das Bergerhoff-Verfahren (VDI 2119 Bl. 2 1996). Die Topf-Sammler bestehen aus glattwandigen PE-Behältern mit einer Auffangfläche von 85 cm² und einem Volumen von 1 Liter. Die Sammler besitzen keinen Verdunstungsschutz. Es erfolgt daher eine Bestimmung der Stoffdeposition, nicht der Konzentration im Niederschlag. Die Proben werden auf ca. pH 1,0 angesäuert und geschüttelt. Es werden Mischproben aus den 2 Einzelsammlern gebildet, diese wiederum aus zwei aufeinanderfolgenden Probenahmen zu einer Gesamtmischprobe (Monatsprobe) vereinigt.
- Sammelsystem für organische Spurenstoffe: Im „Depositionsmessnetz ausgewählter organischer Substanzen“ wurden zunächst die in früheren Projekten eingesetzten Regensammler

Methodik

überprüft. Die Altsammler werden ca. 80 cm in den Boden eingegraben um die Temperaturspitzen zu dämpfen. Diese Bauart war ursprünglich für den Nachweis von PCB und PBSM konzipiert und kann im Sommer und Winter stromlos betrieben werden. Für den Nachweis von Nitrophenolen (ein zeitweiliger Schwerpunkt der Untersuchung) sind die Altsammler wegen der unzureichenden Kühlung in den Sommermonaten nicht geeignet. Bei unzureichender Kühlung werden besonders die mono-Nitrophenole über biologische Prozesse reduziert (s. Abb. 10).

Für den Nachweis von Nitrophenolen in Niederschlag ist der Einsatz von gekühlten Sammlern mit Temperaturkontrolle mit ausreichend großem Sammelvolumen (mindestens 10 Liter) notwendig. Ausführliche Angaben zu der Konstruktion der Regensammler sind dem Bericht „Untersuchung zur Verteilung von PBSM, Nitrophenolen sowie synthetischen Moschusverbindungen durch den Niederschlag“ (LFW 2002) zu entnehmen.

Probenahme Waldbestand

Sammelsystem 1 (Hauptmessprogramm Niederschlag, plus Cd, Pb und Mn):

In der Messebene Bestand (Wald) wird nur Sammelsystem 1 verwendet. Eingesetzt werden 15 LWF-Sammler. Zur Gewinnung repräsentativer Mischproben sind sie so aufgestellt, dass verschiedene Überkronungssituationen möglichst flächenrepräsentativ erfasst werden (DVWK 1986). Probenahme und vor-Ort Messungen erfolgen aus Mischproben der 15 Einzelsammler. Die gesammelte Niederschlagsmenge wird für jeden Sammler einzeln volumetrisch bestimmt.

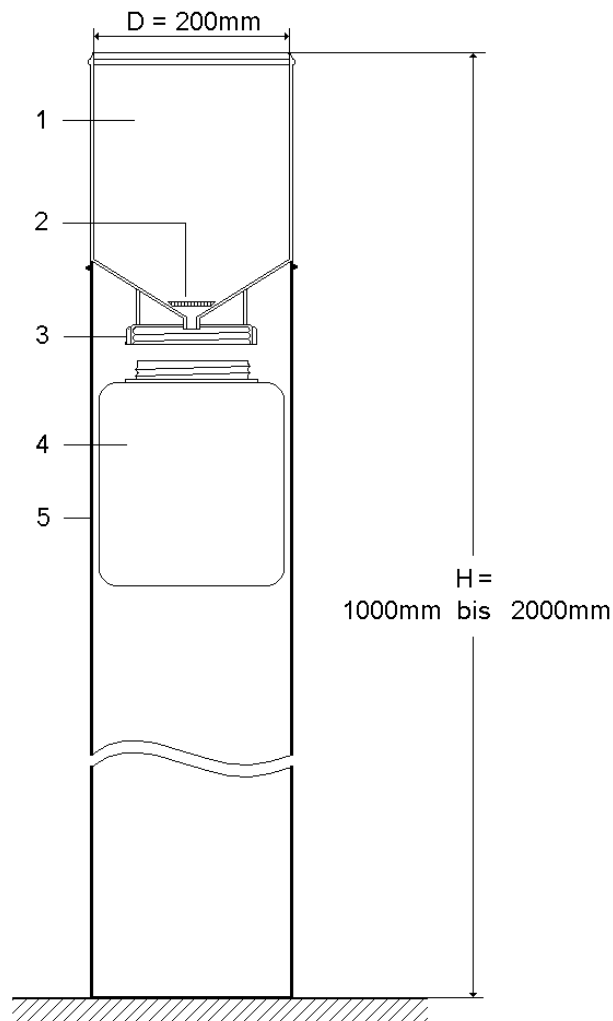


Abb. 9 Schema eines Trichter-Flasche-Sammlers, bestehend aus PE-Trichter (1), Filter (2), Deckel (3) eines 5 l PE-Weithalsbehälters (4), Standrohr (5) (nach LAWA 1998)

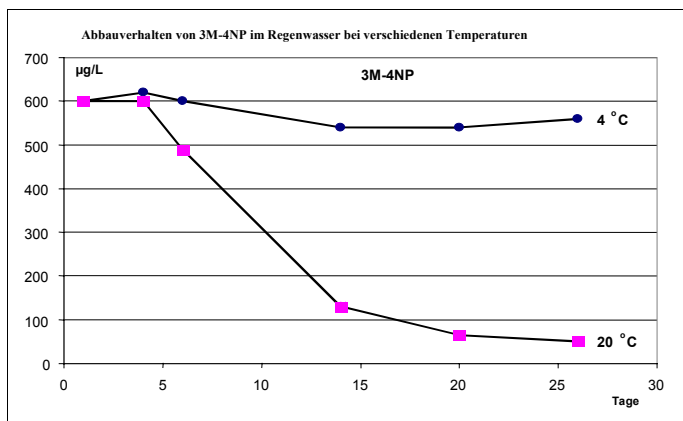


Abb. 10 Abbauverhalten von 3-Methyl-4-Nitrophenol im Regenwasser

Die gewonnenen Proben werden keiner Vorbehandlung unterzogen. Als Produkt von Niederschlagshöhe (aus gemittelter Menge) und Stoffkonzentration der Mischprobe wird der Stoffeintrag berechnet. In Laubholzbeständen (hier Altbuche) wird auch die Deposition mit dem Stammabfluss als zusätzliche Komponente der Bestandesdeposition erfasst. Sie wird mittels Stammablaufrienen an 4 bestandstypischen Bäumen und angeschlossenen Kipp-schalenmesser (DVWK 1986) bestimmt.

4.3.2.2 Stoffeintrag durch landwirtschaftliche Nutzung

Für den Messstandort mit Ackerbau (Messgebiet Donau/Gäuboden) sind die Stoffeinträge aus landwirtschaftlicher Nutzung zu berücksichtigen. Stoffeinträge aus der Bewirtschaftung und Ernteentzüge ergeben sich aus Schlagkarteien, die Angaben zu folgenden Größen enthalten:

- Fruchtfolge
- Erntezeitpunkt, -ertrag
- Düngemittel (Art, Zeitpunkt der Ausbringung, Menge)
- Pflanzenschutz
- Bodenuntersuchungen (z.B. Nmin-Gehalte)

An den 3 Messstandorten mit extensiv genutztem Grünland sind die nutzungsbezogenen Stoffeinträge vernachlässigbar. Dünger wird nicht aufgebracht. In der Regel erfolgt eine 2 – 3 malige Mahd im Jahr und Abfuhr des Mähgutes.

4.3.3 Untersuchungen im Sickerraum

Sickerwasser ist die hier zu untersuchende Komponente des Bodenwassers. Es übernimmt den Transport gelöster, u.U. auch partikelförmiger Substanzen, zum Grundwasser. Seine Registrierung im vorliegenden Luft-Boden-Wasser-Gemisch erfordert besondere messtechnische Ansätze.

Das Bodenwasser wird allgemein nach der Intensität der Bindung an die Bodenmatrix eingeteilt. Haftwasser ist der Anteil, welcher gegen die Einwirkung der Schwerkraft festgehalten wird. Es wird weiterhin unterteilt in Adsorptionswasser und Kapillarwasser. Sickerwasser ist das Boden-

Methodik

wasser, welches sich unter dem überwiegenden Einfluss der Schwerkraft abwärts bewegt. Beim Prozess der Sickerung kann Haftwasser teilweise mit Sickerwasser ausgetauscht und selber zu Sickerwasser werden. Dieses verlässt den Sickerraum und tritt an der Grundwasseroberfläche in das Grundwasser über. Vielfach kommt es zum Aufstau von Sickerwasser, das dann u.U. seitlich als Zwischenabfluss abfließen kann, ohne das Grundwasser zu erreichen.

Das Ausmaß der Wasserbewegung im Boden ist abhängig vom antreibenden Potentialgefälle und der momentanen Wasserleitfähigkeit des Bodens. Die Wasserleitfähigkeit wird im wesentlichen bestimmt von der Anzahl, Größe und Form der wasserleitenden Poren, sowie vom aktuellen Wassergehalt des Bodens. Sehr hohe Wasserleitfähigkeiten werden in Makroporen, Großklüften und Karstbildungen erreicht. Inhomogenitäten des Bodenaufbaus können u.U. zu räumlich unterschiedlicher Verteilung der Sickerwasser-Flussraten beitragen.

4.3.3.1 Probenahme des Sickerwassers

Das Sickerwasser wird mit Hilfe von Saugkerzen (Sonderform unterdruckgesteuerter Lysimeter) aus verschiedenen Tiefen entnommen und auf seine Wasserinhaltsstoffe untersucht (Abb. 11). Die Saugkerzenmembran besteht aus gesintertem bzw. geportem Aluminiumoxid. Aus Kontinuitätsgründen und wegen der robusten Verwendbarkeit ist seit Beginn der Messungen einheitliches Material im Einsatz. Unterschiede ergaben sich bei der Wasserdurchlässigkeit einzelner Chargen. Die Mitte der 90er Jahre eingerichteten Messstandorte wurden mit dem neuen System ausgestattet, die Altstandorte nachgerüstet. Unterschiede sind im folgenden beschrieben.

Durch Anlegen eines Unterdrucks wird Bodenwasser durch die geportete Membran in das System gesaugt. Die physikalische Funktion der Membran entspricht dem Tensiometer (s.u.). Bei einem angelegten Unterdruck von max. 300 hPa wird hauptsächlich die mobile bzw. schwach gebundene Wasserfraktion aus den Grobporen gewonnen, die für die Grundwasserneubildung von Bedeutung ist. Die Unterdrucksteuerung erfolgt diskontinuierlich, z.Z. alle 4 Wochen mit 4-5-tägiger Probenahme. Die seit Beginn der Messungen (1987) verwendete Instrumentierung wurde mit Etablierung des MSGw den Monitoringanforderungen im Dauerbetrieb unter Verwendung von technischen Neuerungen angepasst.

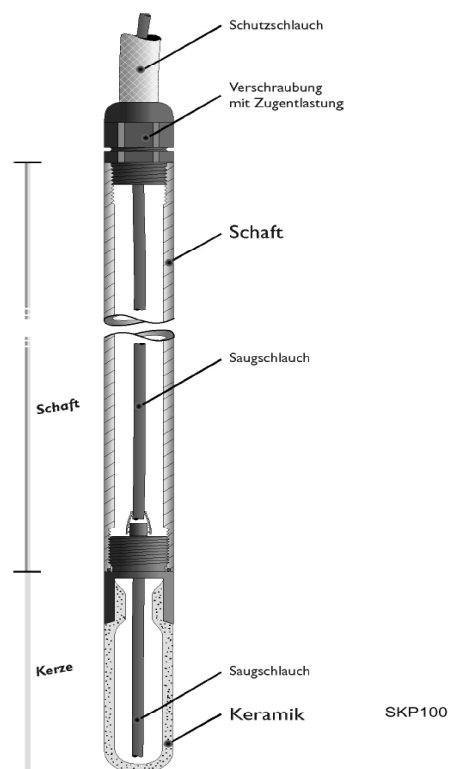


Abb. 11 Aufbau einer Saugkerze

- Saugkerzen-System 1 (alt):

Über einen Zeitraum von 4 – 5 Tagen wird über Vakuumschlüsse manuell ein Unterdruck von ca. 300 hPa angelegt. Die gewonnene Bodenlösung sammelt sich in den lichtundurchlässigen PVC-Schäften der Saugkerzen bei relativ konstanten Bodentemperaturen. Sie wird bei der Probennahme über PE-Schläuche in eine Glasflasche gesaugt. Die Keramikkerzen vom Typ SKA100FF ($l = 60 \text{ mm}$, $\varnothing = 24 \text{ mm}$) sind vertikal mit durchgängigem Bodenkontakt eingebaut und oberirdisch zugänglich. Auch die Sammelsysteme (Schläuche und Sammelflaschen) sind oberirdisch installiert und damit vor allem frostanfällig. Es wurden im Regelfall 4 Wiederholungen pro Messtiefe installiert.

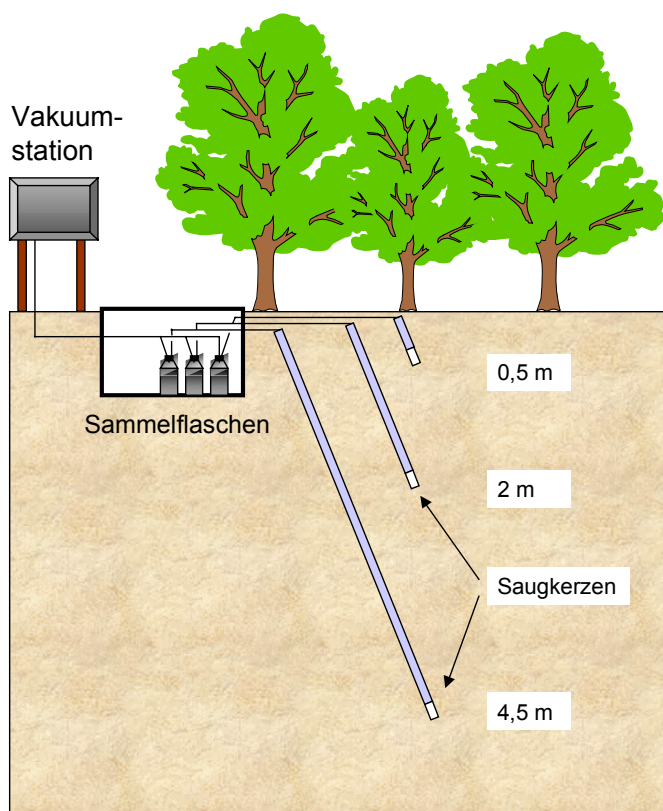


Abb. 12 Schematische Anordnung der Saugkerzen des Systems 2 (neu) im Messgebiet Hochspessart

- Saugkerzen-System 2 (neu): Eine durch eine Jahreszeitschaltuhr gesteuerte Vakuumpumpe legt 4 – 5 Tage vor dem Probenahmetermin den gewählten Unterdruck über PE-Schläuche an den Saugkerzen an. Diese Vakuumschläuche münden in wärmeisolierten Probenahmeboxen, die ca. 1 m tief in den Boden eingelassen sind. In 5 l Boro-Silikat-Sammelflaschen wird das Probenwasser der Einzelkerzen gesammelt, so dass eine Horizontmischprobe entsteht. Die Keramikkerzen vom Typ SKP100 ($l = 54 \text{ mm}$, $\varnothing = 20 \text{ mm}$) sind mit Acrylschäften verbunden. Sie werden i.d.R. über Stützrohre (Rammkernverfahren, Einbauwinkel 22°) in den Boden eingeführt. In grobkörnigen Böden wird der Kapillarkontakt durch Einschlämmen von feinem, gewaschenem Quarzsand verbessert. Sämtliche Bauteile sind weitgehend frostsicher vergraben.

Pro Messtiefe sind 8 Wiederholungen installiert (Abb. 12).

Tab. 10 gibt eine Übersicht der Einsatzbedingungen. Beide Systeme wurden über ca. 2 Jahre parallel betrieben, um evtl. vorhandene Abweichungen quantifizieren zu können. Um diese zu minimieren, wurden beide Systeme in unmittelbarer Nachbarschaft auf demselben Standort eingerichtet. Die Saugkerzen sind in den Standard-Tiefenstufen 50 cm und 200 cm eingebaut. Darüber

Methodik

hinaus wurden Saugkerzen in weiteren Tiefen (bis zu 8 m) an ausgewählten Standorten für spezielle Fragestellungen installiert. Am Ackerstandort (DGB) ist die oberste Messtiefe in 100 cm angelegt, um eine Beschädigung der Messgeräte zu vermeiden.

Die chemischen Analysen erfolgen im Routinebetrieb an Mischproben einer Tiefenstufe.

Tab. 10: Tiefenstufen und Betriebszeiten der eingesetzten Saugkerzensysteme

Messgebiet	Tiefenstufen [cm]	System 1 (alt) Betriebszeiten	System 2 (neu) Betriebszeiten	Bemerkung
Hochspessart (Waldbestand)	50, 200	10.1987 – 02.2001		Tiefenstufen 250, 300, 350 nur 2 Wiederholungen
	250, 300, 350	05.1991 – 02.2001		
	450	08.1989 – 02.2001		
	50, 200, 450		ab 10.1999	
Nationalpark Bayer. Wald (Waldbestand)	50, 100, 150	08.1989 – 10.2003		
	50, 200		ab 10.2001	
Fichtelgebirge (Waldbestand)	50	06.1988 – 10.2003		
	200	07.1989 – 10.2003		
	300	04.1993 – 10.2003		
	50, 200, 300		ab 07.2001	
Münchener Schotterebene (Waldbestand)	50	ab 09.1987		ergänzende Untersuchung von Waldrandeffekten, daher keine Modernisierung ab 2001 von LWF in Kooperation betreut
	200	ab 06.1989		
Münchener Schotterebene (aufgeforstete Windwurffläche)	150	ab 09.1987		
Münchener Schotterebene (Grünland)	50, 200		ab 01.1998	
Nördliches Lechfeld (Grünland)	50, 200		ab 01.1998	
Donau/Gäuboden (Acker)	100, 200, 450,		ab 08.1998	horizontaler Einbau vom Schacht aus
	800			
Südliche Frankenalb (Grünland)	50, 200		ab 10.1998	

4.3.3.2 Messung der Wasserspannung (Bodenfeuchte)

Die Wasserspannung gibt die Summe der Wasserbindungskräfte der Bodenmatrix wieder und steht in direkter Beziehung zum Wassergehalt des Bodens. Kapillarer Wassertransport wird von räumlichen Unterschieden der Wasserspannung gesteuert. Pflanzen müssen die Wasserbindungskräfte überwinden, um Wasser aufnehmen zu können. Die Wasserspannung wird mit Druckaufnehmer-Tensiometern gemessen (s. Abb. 13). Wie bei der Saugkerze stellt die Keramikmembran den hydraulischen Kontakt zwischen Boden und Innensystem her. Sie muss zum einen wasserdurchlässig sein, damit die Wasserspannung des Bodens auf das Tensiometerwasser und über dieses auf den Druckaufnehmer übertragen werden kann, zum anderen gasundurchlässig, damit sich im Tensiometerschaft eine „Wasserspannung“ (ein Unterdruck) aufbauen kann. Tab. 11 gibt eine Übersicht über die verwendeten Tensiometertypen.

- Tensiometer-System:

Im Tensiometerkorpus ist der Druckaufnehmer untergebracht. Nach Anlegen einer Versorgungsspannung registriert er die Wasserspannung des Bodens, die über eine wassergefüllte poröse Keramikkerze übertragen wird und wandelt diese in ein definiertes, kontinuierliches elektrisches Signal um. Das Signal wird vom Datenlogger erfasst. Der Atmosphärendruck als Referenzdruck wird über die luftdurchlässige Membran (in der Messleitung) auf den Druckaufnehmer übertragen. Das System ist bis zu einer maximalen Wasserspannung von 800 – 900 hPa funktionsfähig. Nach stärkerer Bodenaustrocknung muss es ggf. regeneriert bzw. entlüftet werden.

Der Einbau der Tensiometer erfolgt in PVC-Hüllrohren (Schrägeinbau ca. 22°, Rammkernsonde Ø 36 mm). In grobkörnigen Böden wird der Kapillarkontakt zum Boden durch Einschlämmen von feinem Quarzsand verbessert. Das Hüllrohr ermöglicht das Entfernen des Tensiometers zwecks Wiederbefüllung und Wartung, soweit dies nicht im eingebauten Zustand durchgeführt werden kann.

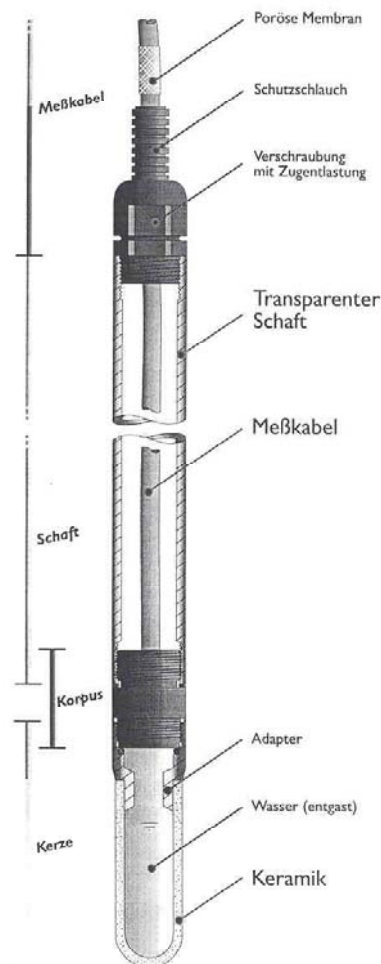


Abb. 13 Aufbau eines Tensiometers

Tab. 11: Eingesetzte Tensiometertypen (Stand 2002)

Messgebiet	Tiefenstufen [cm]	Messgerät	Hersteller
Hochspessart (Waldbestand)	50, 200, 450	T 4 Standard	UMS
Nationalpark Bayerischer Wald (Waldbestand)	50, 200	T 4 Standard	UMS
Fichtelgebirge (Waldbestand)	50, 200	T 4 Standard	UMS
	300	T 4 e	UMS
Münchner Schotterebene (Grünland)	50, 200	T 6 i	UMS
Nördliches Lechfeld (Grünland)	50	T 6 i e	UMS
	200	T 6 i	UMS
Donau/Gäuboden (Acker)	100, 200, 450, 800	T 6 e, T 6 t e (1x pro Tiefe)	UMS
Südliche Frankenalb (Grünland)	50, 200	T 6 i	UMS

t: Temperaturfühler im Tensiometerkorpus integriert

i: Im Korpus integrierter Infrarot-Indikator kontrolliert den Befüllzustand des Tensiometers

e: Das Tensiometer kann im eingebauten Zustand über 2 Leitungen befüllt und entleert werden

Methodik

4.3.3.3 Ermittlung bodenchemischer Daten

An den Waldstandorten erfolgte 1988 die erstmalige Beprobung und 1997 die Wiederholungsbe-
probung (Tab. 12). Ebenfalls 1997 wurden die Freilandstandorte erstmalig beprobt. Standardmä-
ßig erfolgt eine Flächen- und eine Profilbeprobung, z.T. ergänzt durch sog. Tiefenbohrungen in
der Grundwasserüberdeckung. Mit der Probenahme 1997 wurde an allen Standorten in unmittel-
barer Nähe zum Sickerwassermessplatz eine gesonderte Bodendauerbeobachtungsfläche einge-
richtet. Für die Intensivmessfläche Straubing (Donau/Gäuboden) wurden Daten der benachbarten
Bodendauerbeobachtungsfläche von der Landesanstalt für Landwirtschaft übernommen. Die Pro-
filaufnahme mit Bodenansprache im Feld (Bodenart, Gefüge, Farbe, Durchwurzelung, Skelettge-
halt) erfolgt gemäß AG Standortkartierung (1982), die Einrichtung der Probenflächen nach den
Regeln der Bodendauerbeobachtung.

Tab. 12: Bodenprobennahmen im MSGw

Messgebiet (Landnutzung)	Beprobungsart	Zeitraum	Durchführung
Hochspessart (Wald)	Flächen- und Profilbeprobung	1988	LWF
	Tiefenbohrungen	1992	LfW/LWF/GLA
	Flächen- und Profilbeprobung	1997	LWF
	Tiefenbohrungen	1999	Ing.-Büro
Nationalpark Bayr. Wald (Wald)	Flächen- und Profilbeprobung	1988	LWF
	Flächen- und Profilbeprobung	1997	LWF
Fichtelgebirge (Wald)	Flächen- und Profilbeprobung	1988	LWF
	Tiefenbohrungen	1992	LfW/LWF/GLA
	Flächen- und Profilbeprobung	1997	LWF
	Tiefenbohrungen	1996	BITÖK
Münchner Schotterebene (Wald)	Flächen- und Profilbeprobung	1988	LWF
	Flächen- und Profilbeprobung	1997	LWF
Münchner Schotterebene (Grünland)	Flächen- und Profilbeprobung	1998	GLA
Nördliches Lechfeld (Grünland)	Flächen- und Profilbeprobung	1998	GLA
Donau/Gäuboden (Acker)	Flächenbeprobung, Tiefenbohrung	1985/1986	LfL
Südliche Frankenalb (Grünland)	Flächen- und Profilbeprobung	1999	GLA

Waldstandorte

Die Flächenbeprobung 1988 (organische Auflage und Mineralboden bis 30 cm Tiefe) erfolgte
horizontweise an 12 Punkten entlang einer Diagonalen. Die Proben aus den Entnahmestellen 1-5-
9, 2-6-10, 3-7-11 und 4-8-12 vereinigte man zu vier Mischproben je Horizont. Die Probenahme
erfolgte volumetrisch, bei Humusaufgabe und Mineralbodenhorizont bis 5 cm Mächtigkeit mittels
Stechrahmen, bei den weiteren Horizonten bis 30 cm Tiefe mittels Kernbohrer.

Die Profilbeprobung erfasste den Mineralboden in der Regel bis 100 cm Tiefe. Mittels Stechrah-
men wurden horizontweise, jeweils aus der Mitte des Horizontes an der Profilstirnwand sowie
den beiden Seitenwänden, volumengerechte Proben gewonnen. Die drei Einzelproben eines Hori-
zontes wurden zu einer Mischprobe vereinigt.

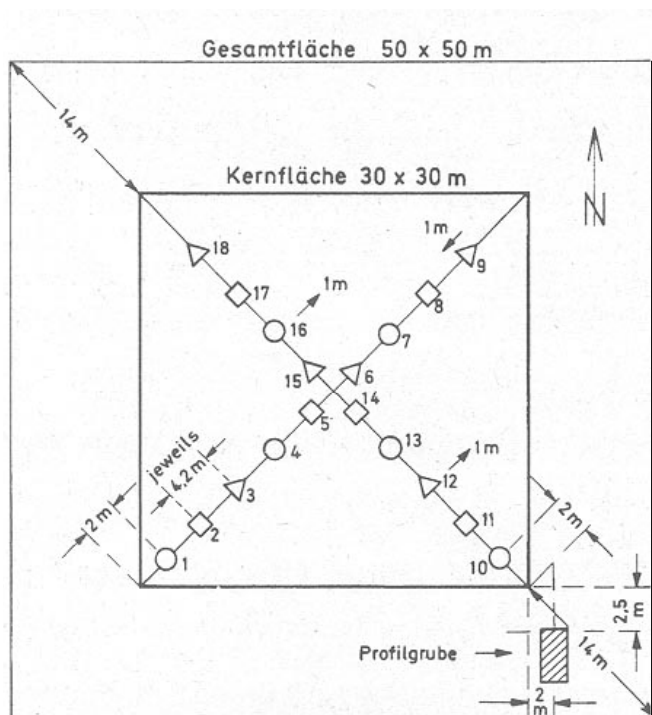


Abb. 14 Entnahme von Bodenproben, Einmessen der Probenahme-punkte/Profilgrube (aus StMLU 1997)

Für die Waldstandorte wurde folgendes Analysenprogramm mit Doppelbestimmungen je Probe durchgeführt:

- pH-Werte in H_2O , 0,01 M $CaCl_2$ und 1 M KCl
- austauschbare Kationen (Schüttelextraktion mit 0,5 M NH_4Cl): Ca, Mg, K, Na, H, Al, Fe, Mn
- Königswasseraufschluss für Elementgesamtgehalte: K, Ca, Mg, Na, Al, H, Mn, Fe, Zn, Cu, P
- Gesamtgehalt an C und N
- P citratlöslich
- Gesamtgehalt an S (nur 1997)

Um Kenntnisse über die Puffereigenschaften des tieferen Untergrundes (bis 4,5 m) zu gewinnen, wurde 1992 in den Messgebieten Hochspessart und Fichtelgebirge ein Hydraulikbohrer eingesetzt (KREBS 1994). Am Bohrkern erfolgte eine Beschreibung der Schichtenabfolge und der Textur (Fingerprobe). In Tiefenstufen von 50 cm wurden Proben aus jeweils 3 – 5 Bohrungen entnommen und pro Tiefenstufe zu einer Mischprobe vereinigt. Das Analysenprogramm beschränkte sich auf die austauschbaren Kationen (NH_4Cl -Extrakt) und die pH-Werte (H_2O , 1 M KCl).

1997 erfolgte die Flächenprobennahme nach den neuen Grundsätzen der Bodendauerbeobachtung (STMLU 1997, Abb. 14). Alle Einzelproben wurden getrennt analysiert und die Daten zu Horizontmittelwerten zusammengeführt.

Methodik

Landwirtschaftliche Standorte

Die Flächenbeprobung erfolgte entlang von 2 Diagonalen an 18 Probenahmepunkten gemäß Abb. 14. Dabei wurden je Punkt zwei oder mehrere Einstiche in Abhängigkeit von der erforderlichen Probemenge durchgeführt. Es wurden je Tiefenstufe 3 Mischproben (Signatur in Abb. 14) aus 3 x 6 Probenahmepunkten erstellt. Die Beprobung erfolgte mit N-min-Bohrern bis max. 40 cm Tiefe in 3 – 4 Tiefenstufen.

Die Profilbeprobung erfasste bis 40 cm die selben Tiefenstufen wie die Flächenbeprobung. Darunter wurde die Einteilung wie folgt vorgenommen: 40-60, 60-90, 90-120, 120-150, 150-200 cm (unter Vorbehalt der Durchführbarkeit des Aushubs). Die Probenahme erfolgte größtenteils mittels Stechzylinder.

Für die landwirtschaftlichen Standorte wurde folgendes Analysenprogramm durchgeführt:

- pH-Wert (CaCl_2)
- austauschbare Kationen: Ca, Mg, K, Na, H, Al, Fe, Mn
- Kohlenstoff, organisch
- Carbonatgehalt
- Gesamt-Stickstoff
- Nährstoffe P, K, Ca, Mg (Totalaufschluss mit HClO_4 -HF- HNO_3 -Gemisch)
- Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Ba, As, Mn, sowie weitere Spurenmetalle (Totalaufschluss mit HClO_4 -HF- HNO_3 -Gemisch)

4.3.3.4 Ermittlung bodenphysikalischer Daten

Die physikalischen Eigenschaften des Bodens bzw. Sickerraums bestimmen das Wasserspeichervermögen und regulieren den Wasser- und Stofffluss nach Menge, Geschwindigkeit und Transportrichtung.

Als bodenphysikalische Parameter wurden bestimmt:

- Dichte des Bodens
- gesättigte Leitfähigkeit
- Porenvolumen
- Porengrößenverteilung (und abgeleitete Speicherparameter).

Bislang sind die Messgebiete Hochspessart, Bayerischer Wald, Fichtelgebirge und Münchener Schotterebene/Wald bodenphysikalisch erfasst. Insgesamt wurden 200 gestörte und ungestörte Proben entnommen (IMMLER 1992). Probenvorbereitung und Untersuchungen wurden nach HARTGE, K.H. und HORN, R. (1989) und KRETZSCHMAR, R. (1989) durchgeführt. Weitere Details sind LFW (1994) zu entnehmen.

4.3.4 Untersuchung des Grund-, Quell- und Rohwassers

Wesentlicher Gegenstand der Untersuchungen ist das Grundwasser mit seinen gebietsbezogenen Wasser- und Stoffumsätzen, insbesondere das stärker gefährdete oberflächennahe Grundwasser und seine Quellaustritte.

In den 7 Messgebieten werden an insgesamt 15 Grundwassermessstellen, 3 Quellen, 5 Trinkwasserbrunnen und 2 Trinkwasserquellen Grundwasseruntersuchungen durchgeführt (Tab. 13, zur Messstellenbezeichnung s. Anhang). Der Ausbau der Grundwassermessstellen erfolgte mit einfach geschlitzten PVC-Filterrohren und PVC-Aufsatzrohren (125 mm Innendurchmesser) sowie einfacher Filterkies-Schüttung und Tonkugeldichtung im Ringraum. Der V2A-Edelstahlkopf ist gegen das Aufsatzrohr vollständig abgedichtet. Je nach örtlicher hydraulischer Situation sind die Messstellen durchgängig oder mehrfach verfiltert.

Tab. 13: Messstellen zur Beobachtung des Grund-, Quell- und Rohwassers im MSGw (Stand 2002)

Messgebiet/Wassereinzugsgebiet	Messstellen	Anzahl
Hochspessart/ Metzenbach	Grundwasserbeschaffenheit mit Gwstand	1
	Grundwasserstand	3
	Quellwasserbeschaffenheit	1
	Rohwasserbeschaff. (Brunnen, aufgebohrte Quelle)	1
Nationalpark Bayerischer Wald/Markungsgraben	Grundwasserbeschaffenheit mit GwStand	1
	Grundwasserstand	2
	Quellwasserbeschaffenheit	1
Fichtelgebirge/Lehstenbach	Rohwasserbeschaffenheit (Quelle)	1
	Grundwasserbeschaffenheit mit GwStand	1
	Grundwasserstand	3
	Quellwasserbeschaffenheit	1
Münchner Schotterebene/Anzing	Rohwasserbeschaffenheit (Quelle)	1
	Grundwasserbeschaffenheit mit GwStand	1
	Grundwasserstand	1
Nördliches Lechfeld/Augsburg	Rohwasserbeschaffenheit (Brunnen)	1
	Grundwasserbeschaffenheit mit GwStand	1
Donau/Gäuboden/Straubing	Rohwasserbeschaffenheit (Brunnen)	1
	Grundwasserbeschaffenheit mit GwStand	1
Südliche Frankenalb/Hemau	Rohwasserbeschaffenheit (Brunnen) mit GwStand	1

Je Gebiet wird eine der Intensivmessfläche zugeordnete Grundwasserbeschaffenheitsmessstelle und eine dem Wassereinzugsgebiet zugeordnete Rohwassermessstelle betrieben. Zur Probenahme werden Unterwasserpumpen verschiedenen Typs ca. 5 m unterhalb des Grundwasserspiegels eingesetzt. Sie fördern Mischwasser aus den verfilterten Bereichen. Die Probenahme erfolgt nach DIN 38402 (1985) Teil 13 „Probenahme aus Grundwasserleitern“. Die untersuchten Quellen sind zum Teil gefasst, zum Teil ungefasst. Hier werden Schöpfproben genommen.

Methodik

Die Grundwasserstände werden an insgesamt 16 Grundwassermessstellen gemessen. Einzelmessungen erfolgen mittels Kabellichtlot. An den Beschaffenheitsmessstellen sind zusätzlich automatisch registrierende Messsonden mit Datensammlern (Typ MDS Insider, Fa. SEBA) im Einsatz.

4.3.5 Untersuchung der oberirdischen Gebietsabflüsse

In den drei nord- und ostbayerischen Messgebieten mit oberirdischem Gebietsabfluss sind Abflusspegel zur Erfassung des Gebietsabflusses und des Stoffaustrages eingerichtet (Tab. 14). Die Betreuung der Pegel erfolgt im Rahmen der quantitativen Hydrologie an oberirdischen Gewässern.

Tab. 14: Abflusspegel der Wassereinzugsgebiete

Messgebiet	Pegelname	Gewässer	Ausbau	Messgerät
Hochspeessart	Bischbrunn	Metzenbach	Dreiecksüberfall	Lattenpegel, Schwimmerpegel
Bayerischer Wald	Racheldiensthütte	Markungsgraben	provisorisches Venturigerinne	Lattenpegel, Druckluftpegel
Fichtelgebirge	Zigeunermühle	Lehstenbach	bis 09.1999 Venturigerinne, ab 10.1999 Dreiecksüberfall	Lattenpegel, Schwimmerpegel

Die Abflusspegel sind zur Aufzeichnung der Wasserstände mit Schreibgeräten ausgestattet. Sie werden in den nächsten Jahren sukzessive mit Datensammlern nachgerüstet. Die Abflussermittlung erfolgt über Abflusskurven, die auf der Basis von Gefäß- und Flügelmessungen erstellt werden. Der Markungsgraben am Pegel Racheldiensthütte hat Wildbachcharakter und konnte – auch wegen der Priorität der Schutzziele im Kernbereich des Nationalparks – nur provisorisch für die Durchflussmessung gestaltet werden. Als Messort dient ein natürlicher Überfall im blockigen Bachbett, der fixiert wurde und sowohl Gefäßmessungen als auch Flügelmessungen erlaubt.

4.3.6 Behandlung und Transport der Wasserproben

Bei ausreichendem Probengut wird ein Probenvolumen von 1000 ml (Niederschlag, Sammelsystem 1) bzw. 500 ml (alle weiteren Wasserproben) in eine entsprechende PE-Flasche abgefüllt. Bei zu geringer Probemenge wird auf die Bestimmung von pH-Wert, Leitfähigkeit und Säurekapazität vor Ort verzichtet sowie ggf. nach einer Prioritätenliste analysiert. Zusätzlich werden zur Bestimmung des TOC 50 ml Probenwasser in eine Glasflasche abgefüllt (Stabilisierung mit HCl). Für die Bestimmung des Gesamt-Stickstoffgehalts im Niederschlag wird zusätzlich eine 50 ml Glasflasche abgefüllt und mit HCl stabilisiert.

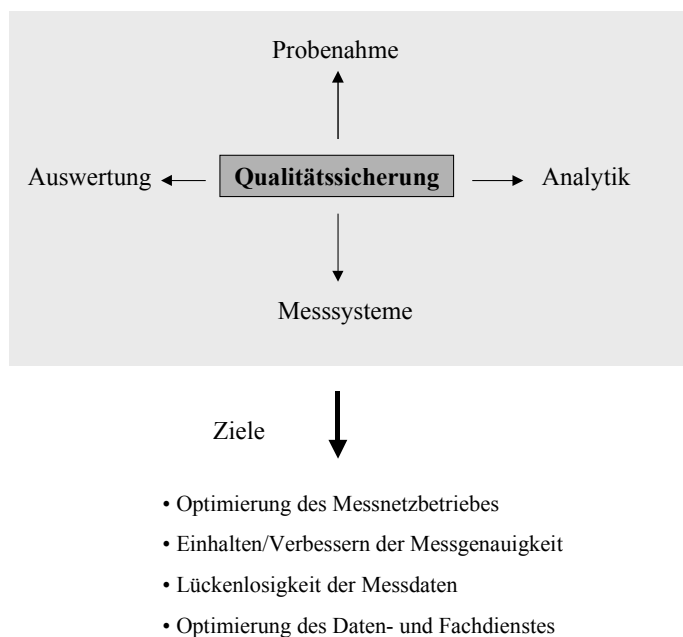
Die Grund- und Rohwasserproben werden vor Ort mit einer mobilen Filteranlage (0,45 µm Membranfilter) filtriert. Hiervon wird die Schwermetallprobe in ein 30 ml-Schwermetallröhrchen

abgezweigt und durch Zugabe von konz. HNO₃ konserviert. Die TOC-Probe wird durch Zugabe von HCl stabilisiert.

Die Proben gehen mit dem Begleitprotokoll im Schnellversand an das LfW. Die Aufbewahrung während der Lagerzeiten erfolgt im Kühlschrank, da Probenveränderungen durch niedrige Temperaturen und Vermeidung von Lichteinfall minimiert werden (BRÜGGEMANN et al. 1991).

4.4 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung (QS) erfolgt nach den internen Vorgaben der Wasserwirtschaftsverwaltung für Messdienste und Laboranalytik (QS-Handbuch, Handbuch Technische Gewässeraufsicht, Merkblätter, Arbeitsanleitungen).



Darüber hinaus werden an einen vergleichsweise komplexen, z.T. mit technischen Neuerungen arbeitenden Messnetzbetrieb besondere Anforderungen gestellt. Im MSGw bezieht sich der Wirkungsbereich der QS (Abb. 15) auf etliche unterschiedliche Probenahmetechniken und Messsysteme. Sie sollen von den betreuenden Stellen in gleicher Weise und zuverlässig gehandhabt werden, um eine möglichst gute, konsistente Datengrundlage für die übergreifenden Auswertungen zu erhalten.

Abb. 15 Schema zur Qualitätssicherung

4.4.1 Probenahme

Die sachgemäße und zuverlässige Probenahme ist eine Grundvoraussetzung für hohe Datenqualität. Im MSGw wird die Probenahme von unterschiedlichen Messteams der zuständigen Wasserwirtschaftsämter durchgeführt. Daher wird auf einheitliche Vorgehensweise und eine gute Koordination der Fachkräfte an WWA und LfW besonders geachtet. Regelmäßige Dienstbesprechungen für die Messteams dienen dem diesbezüglichen Informationsaustausch und der Fortbildung. Vergleichsmessungen mit den vor-Ort-Messgeräten dienen der Fehlererkennung und dem Abgleich mit den QS-Anforderungen der WWÄ.

Methodik

Arbeitsanleitungen sichern vor allem für die Beobachtung des Niederschlags und des Sickerwassers einen einheitlichen Mess- und Probenahmestandard, da die Verfahren erstmals in der Technischen Gewässeraufsicht eingeführt wurden. In die Datenblätter werden die Vor-Ort-Messdaten eingetragen sowie grundsätzlich alle Beobachtungen, die im Rahmen der Plausibilitätsprüfung eine mögliche Beeinflussung der Probenbeschaffenheit erkennen lassen. Die neben der Probenahme erforderlichen Wartungsaufgaben werden nach einer Checkliste durchgeführt.

Bei regelmäßigen vor-Ort-Kontakten der Gebietsbetreuer und der Fachkräfte des LfW werden praktische Hinweise gegeben und Erfahrungen ausgetauscht. Über eine Hotline wird telefonische Unterstützung zum Betrieb der Mess- und Probenahmeeinrichtungen gegeben.

4.4.2 Analytik

Alle Wasseranalysen im MSGw unterliegen der Labor-QS der Wasserwirtschaftsverwaltung. Grundsätzlich sind alle Messungen im analytischen Labor mit einem mehr oder weniger großen Messfehler behaftet. Man unterscheidet zwischen zufälligen, systematischen und „groben“ Fehlern. Die analytische Qualitätskontrolle (aQK) ist eine Qualitätssicherungs-Maßnahme mit dem Ziel, die Sicherheit zu vermitteln, dass gemessene Werte analytisch korrekt erhoben werden. Bei der aQK werden Präzision (zufällige Fehler) und Richtigkeit (systematische Fehler) von Messungen nach folgendem Schema bestimmt (Tab. 15).

Tab. 15: Fehlerarten und Qualitätskontrolle

Fehlerart	Kenngroße	Sicherungssystem
zufälliger Fehler	Präzision (Unpräzision)	interne analytische QS
systematischer Fehler	Richtigkeit (Unrichtigkeit)	externe QS

Grobe Fehler sind häufig menschlichen Ursprungs (Verwechslung von Proben usw.) und können durch die analytische Qualitätskontrolle nicht erkannt werden. Sie sind nur zu vermeiden durch sorgfältiges Arbeiten und durch eine Plausibilitätskontrolle.

Als interne analytische Qualitätskontrolle (iaQK) bezeichnet man diejenige Qualitätskontrolle, die vom Labor in eigener Regie durchgeführt wird. Zu diesem Zweck werden in den Labors der Wasserwirtschaftsverwaltung arbeitstäglich mit Kontrollstandards die Analysensysteme in bestimmten Messbereichen kalibriert.

Die externe analytische Qualitätskontrolle (eaQK) ist länderübergreifend abgestimmt. Jedes mit der Bestimmung von Inhaltsstoffen beauftragte Labor nimmt 1-2 mal pro Jahr an einem länderübergreifenden Ringversuch teil. Zusätzlich führt das LfW 1 mal pro Monat einen Ringversuch für die 24 Wasserwirtschaftsämter durch. Die Ergebnisse werden am LfW ausgewertet.

4.4.3 Automatische Messsysteme und Infrastruktur

Die Messeinrichtungen in den Bereichen Klima und Boden sind mit elektronischen Systemen (Datenlogger, Messsonden, Unterdruckanlagen, Steuer- und Sicherungseinrichtungen, etc.) ausgestattet, für deren zuverlässigen und lückenlosen Betrieb ein qualifizierter Wartungs- und Reparaturbetrieb erforderlich ist. Für aktuell erforderliche Systemreparaturen steht eine zertifizierte Firma zur Verfügung, die auf die Betreuung von umweltanalytischen Messeinrichtungen spezialisiert ist. Diese ist auch mit der Systemwartung an drei Messstandorten beauftragt. Weitere 4 Standorte werden von einem speziell geschulten Techniker des LfW betreut. Von jeder Wartung wird ein ausführliches Protokoll erstellt.

Messgeräte und Messsonden werden regelmäßig (1/4- bis 2-jährlich) ausgetauscht und im Labor bzw. Werk kalibriert. Bei einfachen Problemstellungen erfolgt eine Kalibrierung vor Ort.

Im Messgebiet Münchner Schotterebene wird zur Zeit die Auslesung der Logger-Daten durch Datenfernübertragung getestet. Hiermit wird die Fehlererkennung und entsprechende Reaktion wesentlich beschleunigt, denn bei den langen Ausleseintervallen für die Chipkarte können mehrwöchig Daten verloren gehen. Eine Erweiterung des DFÜ-Systems ist zunächst für 3 weitere Standorte geplant (Hochspessart, Donau/Gäuboden, Nördl. Lechfeld).

4.4.4 Fachliche Plausibilitätsprüfung Beschaffenheitsdaten

Bis zur geplanten Anbindung an das Laborinformationssystem werden die laborgeprüften Einzeldaten auf den die Proben begleitenden Datenblättern festgehalten. Nach der Laborprüfung ist eine fachliche Plausibilitätsprüfung zwingend erforderlich. Im Einzelnen werden für die Plausibilitätsprüfung folgende Verfahren eingesetzt (LFW 1994a):

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

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

Die berechnete elektrische Leitfähigkeit nach ROSSUM (1974) wird der gemessenen gegenübergestellt und so die Qualität der Gesamtanalyse bewertet. Erheblich unterscheiden sich Wässer mit saurem Charakter und geringer Leitfähigkeit von den karbonatisch geprägten Wässern. Berechnete und gemessene elektrische Leitfähigkeit dienen bei elektrolytarmen, sauren Wässern zur

Methodik

Überprüfung der pH-Werte, da hier die Hydroniumionen aufgrund ihrer hohen Äquivalentleitfähigkeit maßgeblich die elektrische Leitfähigkeit bestimmen. Bei der Berechnung der Mindestleitfähigkeit der vor Ort gemessenen Protonenkonzentration wird die starke Temperaturabhängigkeit ihrer Äquivalentleitfähigkeit berücksichtigt. Übersteigt die berechnete Mindestleitfähigkeit die gemessene Gesamtleitfähigkeit (vor Ort und Labor), so liegt in der Regel eine fehlerhafte pH-Messung vor.

Als Grundkriterium für Ausreißer wird die vierfache Standardabweichung angesetzt. Die Prüfung wird den zeitlichen Konzentrationsänderungen der verschiedenen Wassertypen angepasst. Sie wird daher fallweise auf die Daten eines hydrologischen Jahres oder des gesamten Untersuchungszeitraumes angewandt.

4.5 Wasser- und Stoffbilanzen

Anhand ihrer Wasser- und Stoffbilanzen werden die Messgebiete in weitgehend standardisierter Form charakterisiert. Grundlage ist die Erfassung der Wasserhaushaltsgrößen nach der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung:

$$\text{Niederschlag} = \text{Verdunstung} + \text{Abfluss} + \text{Vorratsänderung}$$

Bei hinreichend langer Beobachtung oder bei Annahme gleicher Speicherfüllung am Anfang und am Ende des Messzeitraums kann die Vorratsänderung vernachlässigt werden. Die Auswertungen erfolgen überwiegend auf der Basis des hydrologischen Jahres (1. November–31. Oktober), womit sowohl langjährige als auch saisonale Charakteristiken möglich sind. Kleinere Anpassungen der Ergebnisse aus den Messintervallen waren methodenbedingt erforderlich.

4.5.1 Bestimmung der Wasserhaushaltskomponenten

4.5.1.1 Niederschlagshöhe

Grundlage für die Beschreibung der Niederschlagshöhe ist der im Freiland mittels Bulk-Sammler ermittelte Wert, der für alle Messgebiete durchgängig vorliegt. Eine Korrektur dieser Niederschlagsdaten, wie sie für Messungen mit dem Hellmann-Regenmesser inzwischen üblich ist, erfolgte nicht. Auf Grund der geringen Gebietsflächen wird der an einem Punkt ermittelte Freiland-Niederschlag in der Regel als Gebietsniederschlag verwendet. Wegen des ausgeprägten Höhengradienten wird allein für das Messgebiet Bayerischer Wald ein aus mehreren Messpunkten abgeleiteter Gebietsniederschlag berechnet. Für die Waldgebiete stehen zusätzlich Messreihen für den Niederschlag mit der Kronentraufe zur Verfügung. Neben den Aussagen zum Interzeptionsverlust der Waldbestände ermöglichen sie vor allem die Abschätzung der aus der Atmosphäre abgefangenen und in den Waldboden eingetragenen Stofffrachten.

Für jedes Gebiet werden zum Vergleich die Niederschlagsdaten der nächstgelegenen DWD-Station herangezogen. Die Daten der Hellmann-Regenmesser an den MSGw-Klimastationen sind für die Ermittlung des langjährigen Wasserhaushalts zum Teil noch nicht ausreichend. Ein methodischer Vergleich der beiden Messmethoden zeigt, dass mit den Bulk-Sammlern etwas höhere Werte gemessen werden (Abb. 16).

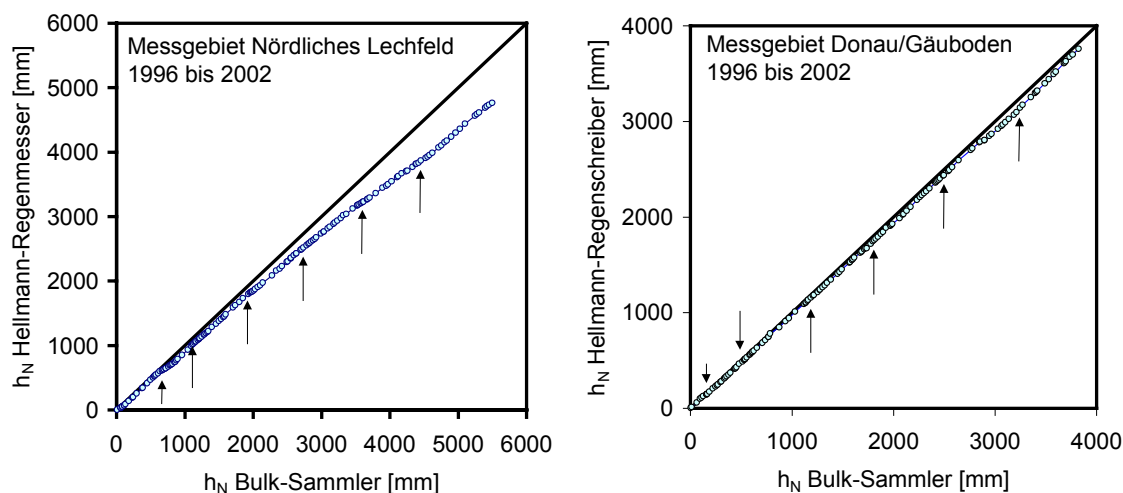


Abb. 16 Doppelsummenkurven der Niederschlagshöhe für Hellmann-Regenmesser (unkorrigiert) und Bulk-Sammler an 2 Standorten (Donau/Gäuboden: Regenmesser unbeheizt, Nördliches Lechfeld: Regenmesser beheizt, die Pfeile geben die Jahreswechsel an)

In der kalten Jahreszeit scheint die Beheizung der Hellmann-Regenmesser zu Verlusten bei der Niederschlagserfassung zu führen. Nichtbeheizte Hellmann-Regenmesser (Solarstation) weisen deutlich bessere Übereinstimmungen mit den Werten der Bulk-Sammler auf, obwohl hier mit Verfälschungen durch Bildung von Schneehauben und Eisansatz zu rechnen ist.

4.5.1.2 Potentielle Verdunstung nach Haude

Im Ergebnisteil wird die Verdunstung mit mehreren Methoden auf der Basis von Jahreswerten vergleichend dargestellt. Der potentiellen Verdunstung (Evapotranspiration ET_p) nach dem Verfahren von HAUDE (1955) liegen die berechneten Tageswerte zu Grunde. Hierfür finden Daten der jeweils nächstgelegenen DWD-Klimastation für die Mittagstermine von relativer Luftfeuchte und Lufttemperatur Verwendung, da die eigenen Messreihen noch nicht ausreichen. Die Haude-Werte beschreiben für das jeweilige Standortklima die potentiell mögliche Verdunstung eines niedrigen Grasbewuchses bei permanent ausreichender Wasserversorgung.

4.5.1.3 Tatsächliche Verdunstung und Bodenwasserhaushalt nach Renger & Wessolek

Die tatsächliche (reale) Verdunstung ET_a wird mit dem Verfahren nach RENERG & WESSOLEK (1990) ermittelt, das den Bodenspeicher und die Landnutzung berücksichtigt (DVWK

Methodik

1996). In dieses empirische Verfahren gehen die Halbjahresniederschläge, die Halbjahresverdunstung nach HAUDE und die nutzbare Feldkapazität ein. Dabei gilt die Annahme, dass der Bodenwasservorrat im Frühjahr auf Feldkapazität aufgefüllt ist. Das hier angewandte Basisverfahren ist streng genommen nur auf ebene bzw. leicht geneigte, grundwasserferne Standorte anwendbar. In diesem Fall entspricht die aus Niederschlag und Verdunstung abgeleitete Sickerwasserrate aus dem Boden der Grundwasserneubildung. Näherungsweise trifft dies auf die meisten MSGw-Messstandorte zu, auf Abweichungen wird im Ergebnisteil eingegangen.

Die Daten der nutzbaren Feldkapazität wurden mittels Bodenanalyse ermittelt oder aus den Tabellen der bodenkundlichen Kartieranleitung herangezogen (AG BODENKUNDE 1995). Sie beziehen sich je nach Entwicklungs- und Duchwurzelungstiefe der Böden auf Mächtigkeiten von 50 bis max. 100 cm. Für die Messgebiete Hochspessart, Bayerischer Wald, Fichtelgebirge und Münchener Schotterebene (Wald) wurden die Daten mit den Flächenanteilen der Standortseinheiten gewichtet. In den Messgebieten Münchener Schotterebene (Grünland), Donau/Gäuboden, Nördliches Lechfeld und Südliche Frankenalb ist nur die Intensivmessfläche charakterisiert.

4.5.1.4 Gebietswasserhaushalt

In den Messgebieten mit oberirdischem Abfluss wird die Gebietsverdunstung als Unterschiedshöhe von Niederschlag und Abfluss berechnet. Der Gebietsabfluss wird aus den Wasserstandsmessungen mittels Abflusskurve errechnet und geht auf der Basis von Tagesmitteln in die Wasserhaushaltsberechnungen ein.

4.5.1.5 Bodenwasserhaushalt nach Chloridmethode

Mittels des Chloridverfahrens (u.a. LAWA 2003, BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2000) können Sickerwasserraten auf der Intensivmessfläche unterhalb des Wurzelraums (hier meist in 200 cm Tiefe) bestimmt werden. Dieses Verfahren baut auf dem weitgehend inerten Verhalten von Chlorid auf. Bei bekanntem Chlorid-Eintrag ist es möglich, aus der Einengung der Chloridkonzentration durch die Verdunstung sowohl diese als auch die Sickerwasserrate abzuschätzen. Wechselwirkungen mit der Pflanzenoberfläche und der Bodenfestphase werden dabei vernachlässigt. Für langjährige Betrachtungen ergeben sich brauchbare Werte. Liegen weitere Chloridquellen vor, deren Quantität nicht bekannt ist, wie z.B. Straßensalzung, wird der Einsatz des Verfahrens grundsätzlich eingeschränkt. Kritisch sind auch Standorte mit eingeschränkter vertikaler Versickerung und starkem Interflow. Da die Methode in der Praxis eingeführt ist, werden trotz der Einschränkungen standardmäßig mit diesem Verfahren ermittelte Werte angegeben.

4.5.2 Bestimmung der Stofffrachten und Stoffbilanzen

Wenn für die Komponenten des Wasserhaushalts sowohl die Wasserflüsse als auch die Stoffkonzentrationen bekannt sind, können Stofffrachten berechnet bzw. abgeschätzt werden. In den Messgebieten werden standardmäßig die folgenden langjährigen Stofffrachten ermittelt:

- Deposition mit dem Freilandniederschlag (alle Gebiete)
- Deposition mit dem Bestandesniederschlag (Waldgebiete, Kronentraufe und Gesamtdeposition)
- Stoffverlagerung mit dem Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone (meist in 2 m Tiefe)
- Stoffaustrag mit dem Grundwasser
- Stoffaustrag mit dem Gebietsabfluss (Waldgebiete)

Aus den Eintrags- und Austragsfrachten werden flächen- oder gebietsbezogene Stoffbilanzen abgeleitet. Sie dienen der Identifikation von Stoffquellen und -senken und charakterisieren das Gesamtverhalten eines Gebietes bezüglich der umgesetzten Stoffmengen.

4.5.2.1 Atmosphärische Stoffdeposition

Der atmosphärische Stoffeintrag wird für jedes Sammelintervall als Produkt von Stoffkonzentration und zugehöriger Niederschlagshöhe ermittelt. Beide Größen werden mit dem Bulk-Sammler erhoben. Summenbildung innerhalb des hydrologischen Jahres ergibt die Jahresfracht. Ausfälle werden über quantitative Vergleichsdaten, i.d.R. des Hellmann-Regenmessers, hochgerechnet. In den Waldgebieten ermöglichen Korrelationen zwischen Freilanddeposition und Bestandesdeposition eine Hochrechnung der Ausfallzeiten, soweit für mindestens eine der beiden Messstellen Messdaten vorliegen. In seltenen Fällen muss bei Ausfall aller Messsysteme auf Daten Dritter zurückgegriffen werden. Weitere Details zur Ermittlung der Stoffdeposition sind in LFW (1994) beschrieben.

Für die Ermittlung der tatsächlichen Gesamtdeposition in Waldgebieten muss die Wechselwirkung mit dem Kronenraum berücksichtigt werden. Hierfür wurde das Kronenraummodell nach ULRICH (1991) unter Verwendung von Natrium (quantitativer Indikator der trockenen Deposition) eingesetzt. Das Modell wurde auch auf die Stickstoffparameter angewandt, wohl wissend, dass es biogene Stickstoffumsätze im Kronenraum nicht ausreichend berücksichtigt. Die Werte sind in den Ergebnistabellen dementsprechend in Klammern gesetzt.

4.5.2.2 Stoffeintrag aus der Landwirtschaft

Für die Intensivmessfläche Acker im Messgebiet Donau/Gäuboden stehen aus der Bodendauerbeobachtung und der Betriebsschlagkartei Bewirtschaftungsdaten zur Verfügung. Die eingetragene Netto-Stofffracht ergibt sich aus dem Saldo von Düngerausbringung und Ernteentzug.

4.5.2.3 Stoffaustrag mit dem Sickerwasser

Für den Stoffaustrag mit dem Sickerwasser wird die aus der klimatischen Wasserbilanz (Niederschlag minus Verdunstung) ermittelte jährliche Sickerwasserrate (Grundwasserneubildung) mit der mittleren Jahres-Stoffkonzentration des Sickerwassers verrechnet.

Methodik

4.5.2.4 Stoffaustrag mit dem Gebietsabfluss

Stoffausträge mit den Gebietsabflüssen werden durch Verrechnung der Stoffkonzentrationen mit den mittleren Tagesabflüssen ermittelt. Zur Optimierung der Frachtenbestimmung und ggf. Reduzierung des erforderlichen Messaufwands wurden verschiedene Verfahren vergleichend bewertet (Abb. 17):

- Stoffaustrag abflussgewichtet:

$$\text{Jährlicher Stoffaustrag} = (\sum \text{Stoffaustrag am Probenahmetag}) * \text{Jahresabflusssumme} / \sum \text{Abflusssumme am Probenahmetag}$$
- Konstante Stoffkonzentration während eines Probenahmeintervalls
- Ermittlung von Regressionen zwischen Abfluss und Stoffkonzentration (cQ-Beziehung):

$$\text{Jährlicher Stoffaustrag} = \sum (Q_{\text{Tag}} * c_{\text{ber}}) \quad \text{mit } c_{\text{ber}} = f(Q_{\text{Tag}})$$

Anhand der Ionenbilanzen der Stoffflüsse zeigen die Regressionsverfahren die belastbareren Ergebnisse. Soweit brauchbare cQ-Beziehungen vorliegen, bilden daher diese die Grundlage für die Berechnung der täglichen Stoffkonzentration (s. Tab. 16 - 18). Bei Vorliegen von Trends wurden die cQ-Beziehungen abschnittsweise angepasst. Für einzelne Stoffe bzw. Zeitabschnitte ergaben sich keine hinreichend straffen cQ-Beziehungen. Hier wurde das Verfahren der konstanten Stoffkonzentration zwischen zwei Probenahmen angewandt.

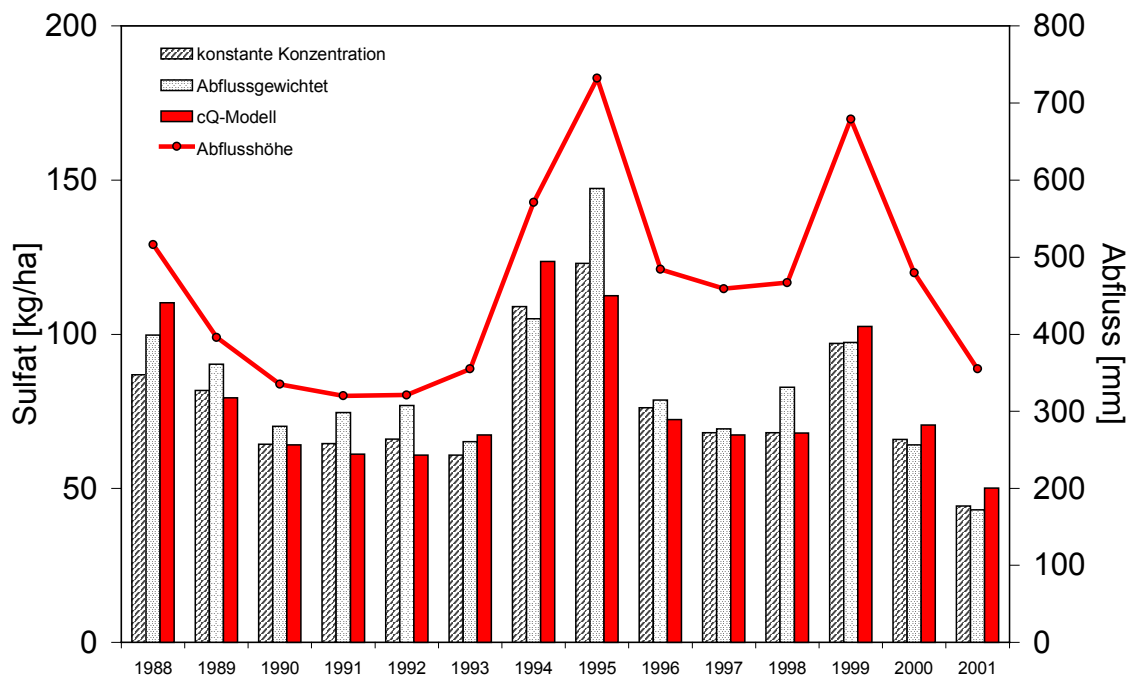


Abb. 17 Methodischer Vergleich der Frachtenberechnung am Beispiel der Sulfatausträge im Wassereinzugsgebiet Lehstenbach, Messgebiet Fichtelgebirge

Für die Parameter Chlorid, Ammonium und ortho-Phosphat sowie weitere untersuchte Spurenmoleküle wurden an allen drei Abflusspegeln keine Zusammenhänge zwischen Abfluss und Konzentration gefunden. Für diese Parameter wird grundsätzlich das Verfahren der konstanten Konzentration im Messintervall angewandt. Die täglichen Stofffrachten als Produkt aus berechneter Tageskonzentration und mittlerem Tagesabfluss werden zu Jahresstofffrachten aufsummiert.

Tab. 16: Verwendete cQ-Beziehungen am Pegel Lehstenbach, Messgebiet Fichtelgebirge

Parameter	cQ-Funktion	r ²	gültig für
Al	$c = -0,6097 * \log_{10}(Q)^2 + 3,8617 * \log_{10}(Q) - 3,7212$	0,79	1987 – 1994
	$c = -0,5064 * \log_{10}(Q)^2 + 2,8451 * \log_{10}(Q) - 2,6073$	0,81	1995 – 2002
Ca	$c = -2,1282 * \log_{10}(Q)^2 + 8,4917 * \log_{10}(Q) - 4,2024$	0,31	1987 – 1994
	$c = -1,0841 * \log_{10}(Q)^2 + 3,6025 * \log_{10}(Q) + 0,5383$	0,32	1995 – 2002
K	kein cQ-Modell		1987 – 2002
Mg	$c = -0,6281 * \log_{10}(Q)^2 + 2,4957 * \log_{10}(Q) - 1,3048$	0,47	1987 – 1994
	$c = -0,3488 * \log_{10}(Q)^2 + 1,222 * \log_{10}(Q) - 0,0645$	0,29	1995 – 2002
Mn	$c = -0,0498 * \log_{10}(Q)^2 + 0,2771 * \log_{10}(Q) - 0,2313$	0,64	1987 – 1994
	$c = -0,0648 * \log_{10}(Q)^2 + 0,2916 * \log_{10}(Q) - 0,2355$	0,55	1995 – 2002
Na	$c = -1,697 * \log_{10}(Q)^2 + 5,2822 * \log_{10}(Q) + 1,7884$	0,13	1987 – 1994
	$c = -2,2118 * \log_{10}(Q)^2 + 7,1113 * \log_{10}(Q) + 1,1199$	0,23	1995 – 2002
NO ₃	kein cQ-Modell		1987 – 2002
pH-Wert	$c = -1,577 * \log_{10}(Q)^3 + 10,59 * \log_{10}(Q)^2 - 24,09 * \log_{10}(Q) + 22,29$	0,78	1987 – 1994
	$c = -0,863 * \log_{10}(Q)^3 + 6,571 * \log_{10}(Q)^2 - 16,82 * \log_{10}(Q) + 18,29$	0,85	1995 – 2002
SO ₄	$c = -8,631 * \log_{10}(Q)^2 + 44,192 * \log_{10}(Q) - 31,274$	0,72	1987 – 1994
	$c = -6,7353 * \log_{10}(Q)^2 + 29,459 * \log_{10}(Q) - 16,147$	0,46	1995 – 2002

Tab. 17: Verwendete cQ-Beziehungen am Pegel Markungsgraben, Messgebiet Bayerischer Wald

Parameter	cQ-Funktion	r ²	gültig für
Al	$c = 0,1854 * \log_{10}(Q)^2 - 0,0644 * \log_{10}(Q) - 0,0722$	0,74	1988 – 1996
	$c = -0,2696 * \log_{10}(Q)^2 + 1,553 * \log_{10}(Q) - 1,2714$	0,54	1997 – 2002
Ca	Kein cQ-Modell		1988 – 2002
K	$c = 0,1458 * \log_{10}(Q)^2 - 0,2702 * \log_{10}(Q) + 0,4622$	0,21	1988 – 1996
	$c = -0,0319 * \log_{10}(Q)^2 + 0,3802 * \log_{10}(Q) + 0,2708$	0,16	1997 – 2002
Mg	Kein cQ-Modell		1988 – 2002
Mn	$c = -0,0036 * \log_{10}(Q)^2 + 0,043 * \log_{10}(Q) - 0,034$	0,52	1988 – 1996
	$c = -0,0127 * \log_{10}(Q)^2 + 0,0657 * \log_{10}(Q) - 0,0292$	0,16	1997 – 2002
Na	$c = 3,0067e - 0,4438 * \log_{10}(Q)$	0,46	1988 – 1996
	$c = 2,6266e - 0,3816 * \log_{10}(Q)$	0,38	1997 – 2002
NO ₃	$c = -1,6249 * \log_{10}(Q)^2 + 6,6833 * \log_{10}(Q) + 0,0962$	0,13	1988 – 1996
	kein cQ-Modell		1997 – 2002
pH-Wert	$c = -2,0677 \ln(\log_{10}(Q)) + 5,9484$	0,55	1988 – 1996
	$c = -1,1356 \ln(\log_{10}(Q)) + 5,4402$	0,31	1997 – 2002
SO ₄	$c = 2,921 * \log_{10}(Q) - 0,7957$	0,55	1988 – 1996
	$c = 2,5735 * \log_{10}(Q) - 0,3802$	0,25	1997 – 2002

Methodik

Tab. 18: Verwendete cQ-Beziehungen am Pegel Metzenbach, Messgebiet Hochspessart

Parameter	cQ-Funktion	r ²	gültig für
Al	$c = 0,0000079 * (Q)^2 + 0,0020999 * (Q) + 0,0125811$	0,49	1988 – 1990
	kein cQ-Modell		1991 – 1993
	$c = -0,0000033 * (Q)^2 + 0,0014539 * (Q) + 0,0152497$	0,24	1994 – 1998
	$c = -0,0000086 * (Q)^2 + 0,0016987 * (Q) + 0,0316555$	0,17	1999 – 2002
Ca	kein cQ-Modell		1988 – 2002
K	kein cQ-Modell		1988 – 2002
Mg	kein cQ-Modell		1988 – 2002
Mn	$c = 0,00001 * (Q)^2 + 0,00076 * (Q) + 0,01603$	0,49	1988 – 1990
	kein cQ-Modell		1991 – 1993
	kein cQ-Modell		1994 – 1998
	$c = -0,0000027 * (Q)^2 + 0,0005068 * (Q) + 0,0134282$	0,17	1999 – 2002
Na	kein cQ-Modell		1988 – 2002
NO ₃	$c = 0,4694 * \log_{10}(Q)^2 + 0,5862 * \log_{10}(Q) + 2,3177$	0,45	1988 – 1990
	$c = 1,0571 * \log_{10}(Q)^2 - 0,0426 * \log_{10}(Q) + 2,5235$	0,15	1991 – 1993
	$c = -0,1836 * \log_{10}(Q)^2 + 0,837 * \log_{10}(Q) + 1,9947$	0,29	1994 – 1998
	$c = 0,1464 * \log_{10}(Q)^2 + 0,3757 * \log_{10}(Q) + 1,6667$	0,44	1999 – 2002
pH-Wert	$c = -0,1067 * \log_{10}(Q)^2 - 0,3372 * \log_{10}(Q) + 6,2965$	0,46	1988 – 1990
	kein cQ-Modell		1991 – 1993
	$c = -0,092 * \log_{10}(Q)^2 - 0,1332 * \log_{10}(Q) + 6,4525$	0,22	1994 – 1998
	$c = -0,1788 * \log_{10}(Q)^2 + 0,0225 * \log_{10}(Q) + 6,5302$	0,64	1999 – 2002
SO ₄	$c = 1,3991 * \log_{10}(Q)^2 - 0,7835 * \log_{10}(Q) + 17,555$	0,38	1988 – 1990
	$c = 2,1527 * \log_{10}(Q)^2 - 2,7308 * \log_{10}(Q) + 18,347$	0,22	1991 – 1993
	$c = 0,7945 * \log_{10}(Q)^2 - 0,3668 * \log_{10}(Q) + 16,73$	0,15	1994 – 1998
	kein cQ-Modell		1999 – 2002

5 Ergebnisse der Messgebiete

5.1 Messgebiet Hochspessart

5.1.1 Regionale Gegebenheiten

Der Spessart ist das walddreichste Mittelgebirge Deutschlands. Laubwälder und ihre Gewässer bilden wertvolle Ökosysteme. Im Süden vom Main umschlossen, im Norden und Nordosten von Kinzig und Sinn begrenzt, ist sein Kerngebiet ohne größere Städte. Der Buntsandstein-Spessart birgt lokal bedeutende Grundwasservorkommen, die auf Grund der großräumigen Landnutzung Wald meist nitratarm sind. Damit kommt ihnen im Raum Unterfranken mit seinen bayernweit höchsten Nitratbelastungen trotz der geringen Ergiebigkeiten große Bedeutung zu. Die Kombination von silikatischem Gesteinschemismus und basenarmen Böden mit hohen Niederschlägen und forstlicher Landnutzung führt vor allem im Hochspessart zu Versauerungserscheinungen von Fließgewässern und Grundwasser. Der Erhalt naturnaher Gewässer, Einflüsse der Waldbewirtschaftung und die Entwicklung der Versauerung gehören daher zu den lokalen Schwerpunkten der Untersuchung.

5.1.1.1 Landschaft, Klima und Geologie

Tiefe Täler, sanfte Hänge und Höhen charakterisieren die Landschaft im Spessart. Zwischen dem Maintal im Osten bei Gemünden mit 160 m ü.NN und im Westen bei Hanau mit 100 m ü.NN erheben sich die Spessarthöhen. Die höchste Erhebung ist der Geiersberg mit 586 m ü.NN. Kinzig, Sinn, Hafenlohr, Elsava, Lohr, Kahl und Aschaff entwässern das Gebiet nach allen Himmelsrichtungen, letztendlich münden alle in den Main. Für den Hochspessart ist ein weitmaschiges Netz tief eingeschnittener Täler mit meist nur kleinen Bächen charakteristisch.

Geschlossener Wald bedeckt weite Flächen, nur die Feldfluren als Rodungsinseln um die Ortschaften sind waldfrei. Während im Sandsteinspessart Laubholz mit Buchen und Eichen die Waldbestände dominiert, findet man im kristallinen Vorspessart häufiger Fichtenkulturen. Berühmtheit haben die Bestände der uralten Spessarteichen erlangt, die man am Rohrberg oder in Eichhall völlig ungestört wachsen lässt, während sie ansonsten intensiv z.B. als Furniereichen genutzt werden.

Der Spessart gehört mit seinem niederschlagsreichen und mäßig kühlen Klima und milden Wintern zur am stärksten atlantisch geprägte Zone in Bayern. Die Randzonen des Spessarts sind wegen der mildernden Einflüsse des Maintals und seiner Nebentäler im Vergleich zu den Hochlagen und zentral liegenden Bereichen begünstigt. Die Sonne scheint in den Hochlagen durchschnittlich 1500-1600 h pro Jahr, die Jahresmitteltemperatur (1951–1980) beträgt 6–8 °C (im Maintal: 8-9 °C), die Jahresschwankung der Lufttemperatur (Differenz wärmster Monat – kältester Monat) erreicht nur 18 °C. Das langjährige Mittel des Jahresniederschlags (1961-1990) liegt im Bereich von 750–1100 mm, wobei 200–500 mm davon oberirdisch abfließen (BAYFORKLIM 1996). Die Niederschläge nehmen aufgrund der Stauwirkung von West nach Ost zu und erreichen im Hochspessart ihr Maximum mit etwa 1100 mm/a (östl. Leeseite: Abnahme bis 600 mm/a). Je

Ergebnisse der Messgebiete

nach Höhenlage fallen 15 - 20 % des Jahresniederschlags als Schnee, im Hochspessart gibt es jährlich durchschnittlich 70 - 80 Schneetage.

Eine nach Südosten leicht geneigte Buntsandsteinplatte mit einer Mächtigkeit bis zu 400 – 500 m bildet die geologische Ausgangssituation für den Grossteil des Naturraums Spessart. Sie gliedert sich in Oberen, Mittleren und Unteren Buntsandstein, wovon der Obere im Südosten, der Untere im Nordwesten ansteht. Weiter nordwestlich schließt sich das kristalline Rumpfbirge des Vorderen Spessarts an, das vorwiegend aus kristallinen Schiefen und gneisartigen Gesteinen aufgebaut ist. Es wird über das weite Aschafftal zum Main hin entwässert.

Im Bereich des Buntsandsteins haben sich anlehmige bis lehmige Sandböden gebildet. Die Böden sind meist flach bis mäßig tiefgründig mit wechselndem Gehalt an Steinen. Sie sind überwiegend als podsolige Braunerden ausgebildet und zeigen vorwiegend saure Reaktion. Der Nährstoffgehalt der Sandsteinböden ist gering.

5.1.1.2 Wasserversorgung

Der Trink- und Brauchwasserbedarf der Region wird überwiegend aus dem vorhandenen Grundwasser gedeckt. Der Buntsandstein, der den größten Teil einnimmt, ist ein mäßig ergiebiger Kluftgrundwasserleiter und wird von zahlreichen Kommunen sowie Zweckverbänden im Spessart und Odenwald zur Wassergewinnung genutzt. Die Eigenschaften des Grundwassers und seine Verwendbarkeit werden von der Untergrundbeschaffenheit und der Landnutzung bestimmt. Größte und überörtliche Bedeutung für die Wasserversorgung besitzen die aus quartären Sanden und Kiesen bestehenden Porengrundwasserleiter in der Mainebene. Im kristallinen Vorspessart lassen die dichten Gesteine, von wenigen Klüften abgesehen, kaum eine Grundwasseransammlung entstehen. Die wenigen ganzjährig schüttenden Quellen im Hochspessart befinden sich in den Taleinschnitten, meist im Bereich wasserführender Störungszonen. Bei geringen Niederschlägen können unter den gegebenen hydrogeologischen Bedingungen Phasen von Wassermangel auftreten. Besonders wertvoll sind die zur Wasserversorgung genutzten Grundwässer im Buntsandstein-Spessart, da das Rohwasser auf Grund der flächigen forstlichen Landnutzung nur sehr geringe Nitratkonzentrationen aufweist. Andererseits sind die Grundwasservorräte gerade hier begrenzt.

5.1.1.3 Umweltmessprogramme

Mit folgenden Behörden und Facheinrichtungen bestehen Kooperationen bzw. eine gegenseitige Nutzung der Informationen:

- Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: Waldklimastation Rothenbuch, 1 Bodendauerbeobachtungsfläche direkt im Messgebiet, 1 weitere Fläche ca. 6,5 km südlich
- Landesamt für Umweltschutz: Dauerbeobachtungsfläche des Immissionsökologischen Messnetzes (direkt auf der Freilandfläche vom MSGw)
- Wasserversorgungsunternehmen: Zweckverband Marktheidenfelder Gruppe

Im Messgebiet Hochspessart kommt den Kontakten zur Forstverwaltung besondere Bedeutung zu, da das Gebiet überwiegend forstlich genutzt wird.

5.1.2 Wassereinzugsgebiet Metzenbach

Das Wassereinzugsgebiet Metzenbach ist eines der Intensivmessgebiete, die seit 1986 zur integrierenden gewässerkundlichen Beobachtung und fachübergreifenden Nutzung von Daten und Einrichtungen betrieben werden. Eine Beschreibung langfristiger hydrologischer Charakteristiken und Entwicklungen ist hier bereits heute möglich.

5.1.2.1 Lage und Ausstattung

Das Wassereinzugsgebiet Metzenbach liegt ca. 13 km nordwestlich von Marktheidenfeld im Lee des Geiersberges, der höchsten Erhebung im Spessart. Es erstreckt sich von 381 bis 586 m ü.NN mit einer Fläche von 2,4 km² (Abb. 19) Das in West-Ost-Richtung verlaufende Metzenbachtal weist mit einer mittleren Hangneigung von 20 % relativ steile Talflanken auf. Nach einer Lauf-länge von 2,2 km mündet der Metzenbach in den Heinrichsbach, der nach Mündung in den Wagenbach der Hafenlohr zufließt.



Abb. 18 Blick in das Metzenbachtal

Im Entwicklungsvorhaben „Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser“ wurden im Hochspessart 2 benachbarte Einzugsgebiete (Metzenbach und Birkwasser) mit 8 Intensivmessflächen und einem dichten Messnetz für Quell-, Bach- und Grundwasser untersucht (LFW 1994a). Hiervon wurde das Wassereinzugsgebiet Metzenbach mit einer Intensivmessfläche und Messstellen zur Beobachtung von

Grund- und Quellwasser sowie Fließgewässer für die Dauerbeobachtung übernommen. Eine Übersicht der derzeit betriebenen Messstellen bietet Tabelle 19.

Ergebnisse der Messgebiete

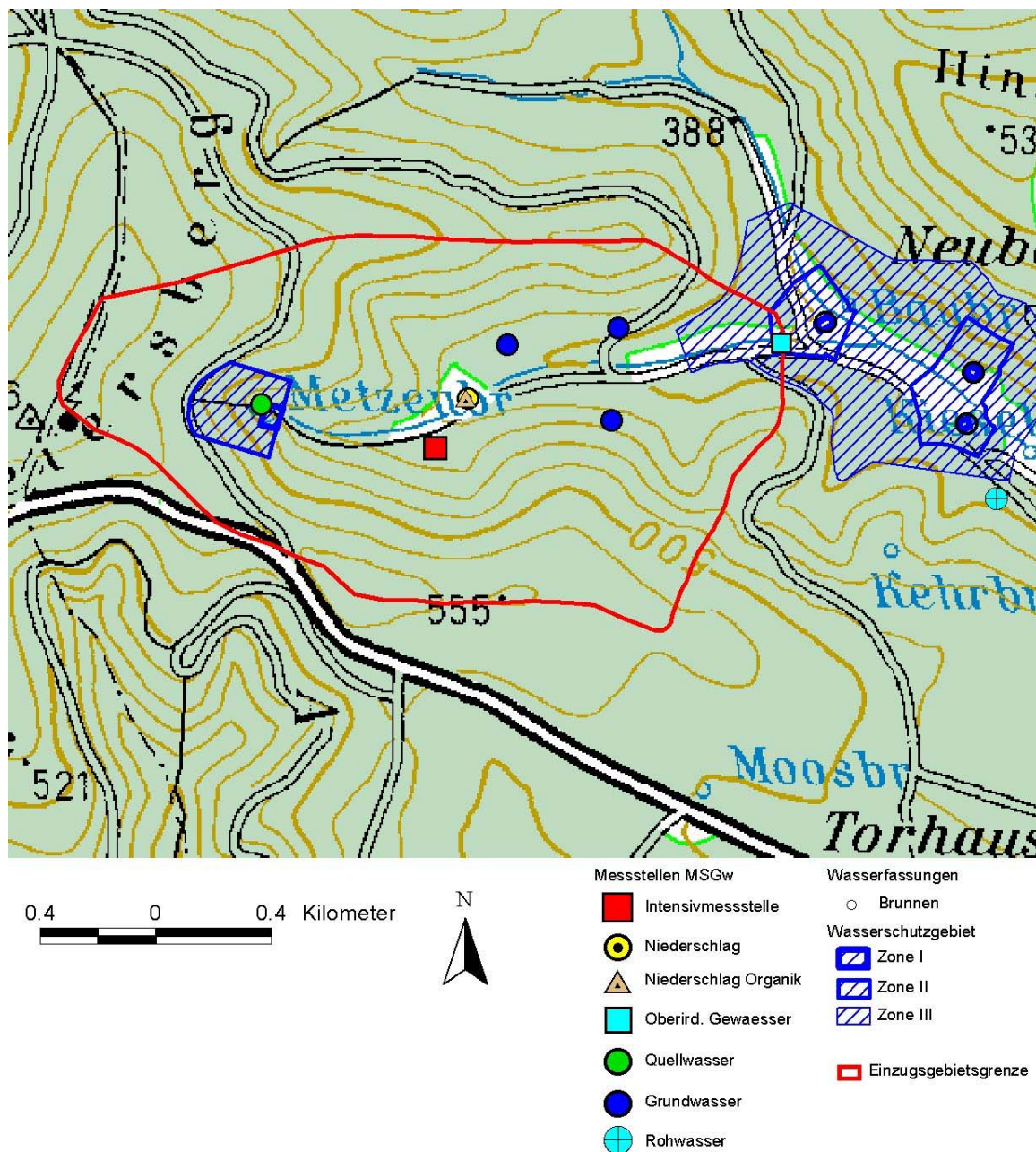


Abb. 19 Wassereinzugsgebiet Metzenerbach und Lage der Messstellen

Tab. 19: Messstellen im Wassereinzugsgebiet Metzenbach (Messstellen auf der Intensivmessfläche fett)

Messobjekt	Messprogramm	Messstelle	Betrieb ab	Höhe ü. NN [m]	Bemerkung
Niederschlag	qual./quan.	Freiland	06.1987	420	
Niederschlag	qual./quan.	Buchenbestand	06.1987	430	
Niederschlag	qual./quan.	Stammabfluss	08.1989	430	
Niederschlag	qualitativ	Freiland,	11.1994	420	spez. Depositionsmessnetz für organ. Problemstoffe
		Organ. Spurenstoffe			
Sickerwasser	qualitativ	50 cm Tiefe	10.1987	430	altes System, bis 02.2001
Sickerwasser	qualitativ	200 cm Tiefe	10.1987	430	altes System, bis 02.2001
Sickerwasser	qualitativ	250 cm Tiefe	05.1991	430	altes System, bis 02.2001
Sickerwasser	qualitativ	300 cm Tiefe	05.1991	430	altes System, bis 02.2001
Sickerwasser	qualitativ	350 cm Tiefe	05.1991	430	altes System, bis 02.2001
Sickerwasser	qualitativ	450 cm Tiefe	08.1989	430	altes System, bis 02.2001
Sickerwasser	qual./quan.	50 cm Tiefe	10.1999	430	neues System
Sickerwasser	qual./quan.	200 cm Tiefe	10.1999	430	neues System
Sickerwasser	qual./quan.	450 cm Tiefe	10.1999	430	neues System
Grundwasser	qual./quan.	Messstelle 01	04.1987	423	5“ Rohr, bis 20 m ausgebaut
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 02	04.1987	410	5“ Rohr, bis 22 m ausgebaut
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 03	04.1987	411	5“ Rohr, bis 38,5 m ausgebaut
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 04	04.1987	401	5“ Rohr, bis 31,5 m ausgebaut
Quellwasser	qual./quan.	Metzenbachquelle	02.1987	457	Überlauf einer ausgebauten Quelle, ehemals zur Wasserv. genutzt
Fließgewässer	qual./quan.	Metzenbach, Pegel	02.1987	381	Dreiecksüberfall
		Bischbrunn			
Rohwasser	qualitativ	zugeordnete Wasser- versorgung	11.1987	375	Forstratsbrunnen, bis 30,5 m ausgebaut
Klima	quantitativ	Freifläche	01.1996	420	

5.1.2.2 Klima und Landnutzung

Abb. 20 zeigt das Klimadiagramm für die Klimanormalperiode 1961 – 1990 für die Klimahauptstation des DWD in Bischbrunn. Die Station liegt in einer Entfernung von 3,5 km südöstlich vom Wassereinzugsgebiet Metzenbach auf einer Höhe von 411 m ü.NN. Die mittlere jährliche Niederschlagssumme beträgt für Bischbrunn 966 mm. Der Jahresgang zeigt ein ausgeprägtes Maximum im Winter und eines im Juni. 30 % des Jahresniederschlags fallen in den Monaten November bis Januar. Der trockenste Monat ist der September mit nur 61 mm. Schnee fällt an 40 – 50 Tagen im Jahr. Sein Anteil am Gesamtniederschlag beträgt nur 10 – 15 %. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt trotz der Mittelgebirgslage moderate 7,5 °C, womit ein subatlantischer Klimacharakter gekennzeichnet wird. Nur im Januar und Februar treten mittlere Temperaturen unter 0 °C auf. Wärmster Monat mit 16,3 °C ist der Juli.

Ergebnisse der Messgebiete

Das Wassereinzugsgebiet ist von Mischwald mit einem Buchenanteil von 81 % und einem Eichenanteil von 19 % bedeckt. Die Altersverteilung dominieren junge Bestände unter 60 Jahren. Die forstliche Nutzung ist intensiv, wie ein fast vollständiges Fehlen von Beständen über 150 Jahren zeigt. Übliche Hiebspraxis ist der Saumschlag mit Alteichen als Überhälter zum Schutz des Jungwuchses. Die potentiell natürliche Pflanzengesellschaft ist auf Grund der Standortverhältnisse eine Buchenwaldgesellschaft.

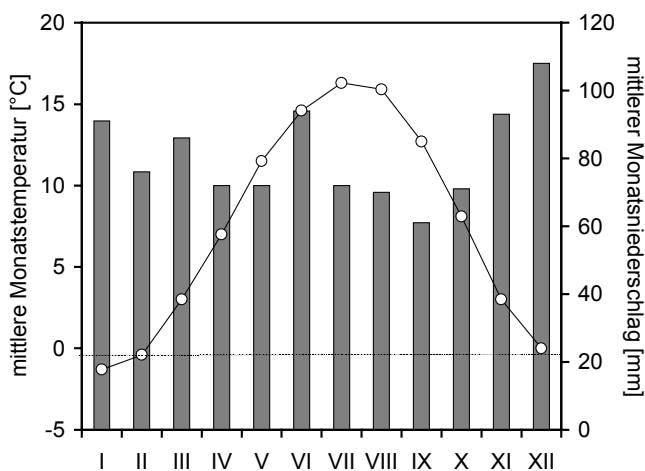


Abb. 20 Klimadiagramm für die Klimahauptstation Bischbrunn für 1961-90 (Daten DWD)

5.1.2.3 Geologie und Böden

Das Wassereinzugsgebiet ist von den bis zu 190 m mächtigen Schichten des Mittleren Buntsandsteins geprägt. Der Buntsandstein wird aus Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen aufgebaut. Die Gesteinsfolge besteht aus fein- bis grobkörnigen, teils quarzitisch gebundenen, klüftigen Sandsteinen, in die zum Teil geringmächtige Tonsteinlagen eingeschaltet sind. Die Schichtfolge fällt leicht nach Südosten ein. Sie wird vom ca. 280 m mächtigen Unteren Buntsandstein unterlagert, dessen unterster Abschnitt den StauhORIZONT des gesamten Buntsandstein-Grundwasserleiters bildet. Die oberen 10 – 12 m des Buntsandsteins sind als Folge der tiefgreifenden tertiären Verwitterung entfestigt und wirken daher eher als Porengrundwasserleiter.

Die quartären Deckschichten bestehen aus hangparallel verfrachtetem Untergrundmaterial mit typischen Merkmalen periglazialer Solifluktuationsdecken. Aus den schwach lehmigen Sanden bis sandigen Lehmen der Hangbereiche sind Braunerden mittlerer bis größerer Entwicklungstiefe hervorgegangen. Die Böden enthalten eine geringe äolische Komponente aus schluffigem Material. Zweischichtige Böden kommen auf den Plateaulagen und in Verebnungen am Hang und Unterhang vor. Sie nehmen nur geringe Flächenanteile ein.

5.1.2.4 Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt des Wassereinzugsgebietes Metzenbach wird für die 15 Messjahre 1988 – 2002 dargestellt (Tab. 20). Kleinräumige Niederschlagsmessungen an mehreren Standorten im Wassereinzugsgebiet aus den Jahren 1988 bis 1994 zeigen, dass die Messdaten der Standardmessflächen Freiland/Waldbestand repräsentativ für das Gebiet sind (LFW 1994a).

Tab. 20: Jährliche Wasserflüsse [mm] im Messgebiet Hochspessart, Wassereinzugsgebiet Metzenbach

Hyd. Jahr	h_N^*	h_{FN}	h_{BN}^{**}	ETa	h_{AO}	h_A	$h_{FN} - h_A$
1988	1065	1039	771	592	268	447	592
1989	929	938	627	573	147	365	572
1990	862	829	599	572	104	257	572
1991	<u>670</u>	<u>761</u>	<u>563</u>	514	113	<u>247</u>	<u>514</u>
1992	1125	1169	834	613	127	556	613
1993	823	857	584	564	145	293	564
1994	1163	1283	897	676	219	<u>606</u>	677
1995	1245	<u>1308</u>	<u>979</u>	<u>709</u>	287	599	<u>709</u>
1996	876	840	647	<u>489</u>	100	351	489
1997	835	806	582	544	161	262	544
1998	1183	1104	818	571	<u>92</u>	533	571
1999	973	972	729	633	<u>344</u>	344	628
2000	1112	1183	860	635	171	548	635
2001	1027	1052	779	601	201	451	601
2002	<u>1273</u>	1121	849	603	277	518	603
MW 88-02	1011	1017	741	593	241	425	592

* DWD Station Bischbrunn ** nur Kronentraufe

Die mittlere Niederschlagshöhe der DWD-Station Bischbrunn entspricht fast der im Gebiet Metzenbach. Mit 1011 mm/a liegt sie im Untersuchungszeitraum wenig über dem Mittel der Normalperiode 61-90. Die Schwankungsbreite der jährlichen Gebietsniederschläge bewegt sich zwischen 761 und 1308 mm/a. Trockenjahre waren 1990, 1991, 1996 und 1997. Ab dem Jahr 2000 traten drei nasse Jahre in Folge auf.

Der Gebietsabfluss wird am Pegel nicht vollständig erfasst. Wie im Buntsandstein-Spessart häufig beobachtet werden kann, entwässern höher liegende Gebiete zum Teil unterirdisch in tieferliegende Einzugsgebiete bis hin in das Maintal (MATTHESS & MURAWSKI 1978). Daher musste neben dem messtechnisch erfassten Abfluss h_{AO} der unterirdische Abflussverlust abgeschätzt werden, um den Gesamtabfluss h_A zu ermitteln. Dieser wurde als Differenz des Niederschlags und der Summe aus tatsächlicher Verdunstung und gemessenem Abfluss berechnet. Es ergeben sich jährliche Gesamtabflusshöhen von 262 bis 606 mm (Mittelwert: 425 mm), was Abflussbeiwerten von 0,32 bis 0,47 entspricht. Der Anteil des unterirdischen Abflusses (= Abflussverlust) am Gesamtabfluss beträgt im 15-jährigen Mittel 57 %, bei erheblichen Schwankungen in den Einzeljahren.

Die Unterschiedshöhe ($h_{FN} - h_A$) von 592 mm/a kann für den Betrachtungszeitraum der mittleren Gebietsverdunstung gleichgesetzt werden (Tab. 21). Sie stimmt sehr gut mit der modellierten tatsächlichen Evapotranspiration überein. Aus der Differenz von Freilandniederschlag und Bestandesniederschlag (Kronentraufe + Stammabfluss) ergibt sich eine Interzeptionsverdunstung von 202 mm/a für Buchenaltbestände bzw. 34 % der Gesamtverdunstung. Somit verbleiben für Transpiration und Bodenverdunstung 390 mm/a bzw. 66 % der Gesamtverdunstung.

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 21: Langjähriger Wasserhaushalt im Messgebiet Hochspessart, Wassereinzugsgebiet Metzenbach

Parameter	Mittelwerte 88 – 2002	
	[mm]	[l/s*km ²]
h_{FN}	1017	32,2
h _{BN}	815	25,8
h _I	202	6,4
h_A	425	13,5
ET _P (Haude)	620	19,7
ET _a (Renger&Wessolek)	593	18,8
h_{FN} – h_A	592	18,8
h _{FN} – Eta	425	13,5
SW ₂₀₀ (Chloridmethode)*	396	12,6
h _{FN} – ET _a – h _A	(0)	(0)

* 89 - 2002

Für die Intensivmessfläche wird mit der Chloridmethode eine Sickerwasserrate (200 cm Tiefe) von 396 mm/a ermittelt und damit etwas weniger als die aus der klimatischen Wasserbilanz berechnete Sickerwasserrate/Grundwasserneubildung von 425 mm/a. Die Summe von Gebietsverdunstung und Sickerwasserrate (Cl-Methode) unterschreitet die gemessene mittlere Niederschlagshöhe nur um 28 mm/a.

Das Abflussregime am Pegel Metzenbach/Bischbrunn ist typisch für Mittelgebirgsstandorte mit hohen Abflüssen im Winter und geringen im Sommer. In Trockenzeiten kann der Bach völlig versiegen, so geschehen im Herbst der Jahre 1990 bis 1994 und 1998. Der gemessene mittlere Abfluss beträgt 14 l/s entsprechend einer oberirdischen Abflusspende von 5,7 l/s*km². MATTHESS & MURAWSKI (1978) geben als Mittel für den südlichen Buntsandstein-Spessart auf der Basis von Strichprobenmessungen einen Wert von 2,4 l/s*km² an, bei allerdings erheblichen Schwankungen (Heinrichsbach: 1,39 l/s*km², verschiedene Messpunkte an der tiefergelegenen Hafenlohr 5-10 l/s*km²).

Tab. 22: Gewässerkundliche Hauptwerte für den Metzenbach, Pegel Bischbrunn (hydrolog. Jahre 1988 bis 2002)

	Abfluß [l/s]	Datum
NNQ	0	mehrfach
MNQ	2	
MQ	13,9	
MHQ	133	
HHQ	299	26.1.1995

Der höchste Abfluss für den Metzenbach von 299 l/s ist geschätzt, da der Bach bei solchen Hochwässern das Messwehr und den Talboden überströmt. Solche Ereignisse traten an wenigen Hochwassertagen in den Jahren 1988, 1995, 1998 und 2002 auf.

5.1.2.5 Stoffhaushalt

Stoffeintragsdaten werden für Freiland und für den gebietsrepräsentativen Buchenbestand ermittelt. Für Buchenbestände ist der Stoffeintrag mit dem Stammabfluss mit zu berücksichtigen (Bestandesdeposition = Kronentraufe + Stammabfluss). Der Stammabfluss wird aus Messungen der Jahre 2000 und 2001 hergeleitet und stoffspezifisch zur Kronentraufe hinzugerechnet. Der Stoffaustrag am Abflusspegel wird über Konzentrations-Abfluss-Beziehungen berechnet, soweit diese signifikant sind. Die Anpassungen erfolgten getrennt für vier verschiedene Zeiträume, da die Stoffdynamik sich langfristig ändert, und zudem die kurzfristige Auswirkung eines Windwurfes im Jahre 1990 (KÖLLING und MORITZ 1995) zu berücksichtigen war (s. Tab. 18). Für die meisten Parameter lagen keine Konzentrationsabhängigkeiten zum Abfluss vor, so dass von Probenahme zu Probenahme konstante Konzentrationen angenommen wurden. Für die Abschätzung des unterirdischen Gebietsaustrags kann die Grundwasserbeschaffenheit des beprobten Brunnens der Wasserversorgung verwendet werden, der nur ca. 150 m unterhalb des Abflusspegels liegt. Diese Stoffkonzentrationen werden mit der aus der klimatischen Wasserbilanz stammenden unterirdischen Abflusshöhe verrechnet.

Tab. 23: Stoffhaushalt im Messgebiet Hochspessart, Wassereinzugsgebiet Metzenbach [kg/ha*a] (Mittelwerte von 1988 – 2002, kursive Einträge Mindestschätzung, da häufig Werte < NWG)

Parameter	Freiland-deposition	Bestandes-deposition	Gesamt-deposition*	Austrag oberirdisch	Austrag unterirdisch	Bilanz
Protonen	0,35	0,25	0,52	0,004	0,008	0,51
o-Phosphat-P	0,25	2,01	0,66	0,003	0,031	0,63
Chlorid	6,75	9,70	9,70	6,46	6,54	-3,30
Sulfat-Schwefel	8,38	8,96	10,09	10,80	11,59	-12,30
Nitrat-N	6,07	6,23	(7,01)	1,31	1,68	4,02
Ammonium-N	7,72	6,77	(8,70)	0,05	0,04	8,61
Norg **	1,44	1,09	-	-	-	-
Calcium	4,60	6,47	5,14	12,01	12,73	-19,60
Magnesium	0,60	1,32	0,67	2,47	3,04	- 4,84
Natrium	5,13	5,64	5,64	4,19	5,05	- 3,60
Kalium	2,87	20,48	3,14	3,91	5,26	- 6,03
Aluminium	0,31			0,14	0,01	0,16

* berechnet nach ULRICH (1991) ** 1995-2002

Für die Berechnung des Stoffhaushaltes (Tab. 23) werden die langjährigen Wasserhaushaltsdaten aus Tab. 20 herangezogen. Der geringe Protoneneintrag wird im Gebiet vollständig abgepuffert. Schwefel wird im Gebiet freigesetzt, der Austrag ist etwa doppelt so hoch wie der Eintrag. Während die Gesamtdeposition von Schwefel im Verlauf des Untersuchungszeitraums stetig von 15 auf 5 kg/ha*a sank, schwankten die oberirdischen Austräge in Abhängigkeit von der Abflusshöhe zwischen 5 und 20 kg/ha*a ohne Trend. Stickstoff wird auf Grund der hohen Aufnahmekapazität von Laubwald fast vollständig zurückgehalten. In der Kronentraufe werden neben 16 kg/ha*a anorganischen Stickstoff auch etwa 1 kg/ha*a organischer Stickstoff ermittelt. Bei einem Gebietsaustrag von etwa 3 kg/ha*a werden etwa 80 % der Stickstoffdeposition in Vegetation und

Ergebnisse der Messgebiete

Böden gespeichert. Auch Phosphat wird nahezu quantitativ im System zurückgehalten. Für Calcium, Magnesium und Kalium wird dagegen eine erhebliche Freisetzung im Untergrund beobachtet. Auch für diese Stoffe steht dem zurückgehenden atmosphärischen Eintrag ein von der Abflusshöhe abhängiger Austrag ohne Trend gegenüber. Insgesamt sind für Schwefel und die Basenkationen zunehmende Stoffverluste aus dem Gebiet zu verzeichnen (ALEWELL et al. 2001).

Da die Chloridbilanz nicht ganz ausgeglichen ist, müssen anthropogene Einflüsse und/oder Unsicherheiten bei der Bestimmung der Bilanzglieder, insbesondere für die Abschätzung des unterirdischen Austrags angenommen werden. Keine der Grundwasser- und Quellschichten des relativ dichten Beobachtungsnetzes Ende der 80er Jahre gab einen Hinweis auf künstliche Chlorideinträge wie sie z.B. aus der Straßensalzung der im Süden des Gebietes verlaufenden Bundesstrasse oder durch Abwasserversickerung am Geiersberg zu vermuten wären, so dass anthropogene Einflüsse ausgeschlossen werden. Unter dieser Annahme würde eine ausgeglichene Chloridbilanz, bezogen auf eine mittlere Chloridkonzentration im Grundwasserabstrom von 3,1 mg/l, eine unterirdische Abflusshöhe von nur 104 mm/a erfordern (gegenüber 211 mm/a nach dem klimatischen Ansatz).

5.1.2.6 Organische Stoffe aus der Atmosphäre

Insgesamt sind für den Waldstandort Hochspessart nur geringe Belastungen für die untersuchten organischen Substanzen aus der Luft festzustellen. Von den PSM wurde 1996 einmal Isoproturon mit 300 ng/l nachgewiesen, bei dieser Konzentration ist eine Anwendung in der Nähe zu vermuten. Diese Substanz konnte in dieser Konzentration nur einmal, andere PSM nur in geringen Spuren nachgewiesen werden. Im Verhältnis zu anderen Standorten finden sich erhöhte Werte (Konzentrationen und Frachten) an Nitrophenolen. Hierfür sind möglicherweise Auswirkungen der nahegelegenen Autobahn sowie Flugzeugabgase (Warteschleifen zum Frankfurter Flughafen) verantwortlich.

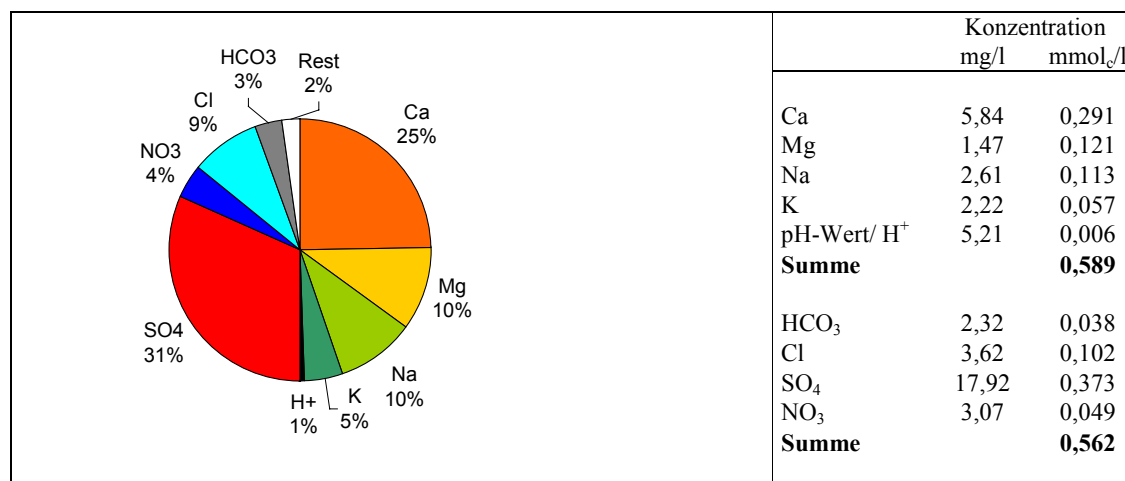


Abb. 21 Mittlere Grundwasserbeschaffenheit (1987-2002), Messstelle Gw01, Messgebiet Hochspessart

5.1.2.7 Grundwasserverhältnisse

Mit einer mittleren Leitfähigkeit von $69 \mu\text{S}/\text{cm}$ ist das Grundwasser an der Messstelle Gw01 im Wassereinzugsgebiet des Metzenbachs mineralarm. Es ist nach FURTAK&LANGGUTH (1967) als „normal erdalkalisch, überwiegend sulfatisch“ einzustufen. Die Erdalkalien und Natrium machen 90 % der Kationensumme aus. Sulfat ist mit 62 % das Hauptanion (Abb. 21). Hydrogencarbonat spielt nahezu keine Rolle. Der mittlere pH-Wert des sauren Wassers beträgt 5,2. Mit einer Härte von 1°dH ist das weiche Grundwasser dem Härtebereich 1 nach Waschmittelgesetz zu zuordnen.

Die Nitratkonzentrationen von Grund- und auch Bachwasser liegt deutlich unter $10 \text{ mg}/\text{l}$, wie es für ein Laubwaldgebiet mit relativ niedriger atmosphärischer Belastung zu erwarten ist (Abb. 22). Seit Mitte der 90er Jahre weisen die verschiedenen Messstellen sinkende Nitratkonzentrationen auf. Maximalwerte im Fließgewässer sind die Folge von bachnahen Windwürfen 1990 (KÖLLING & MORITZ 1995).

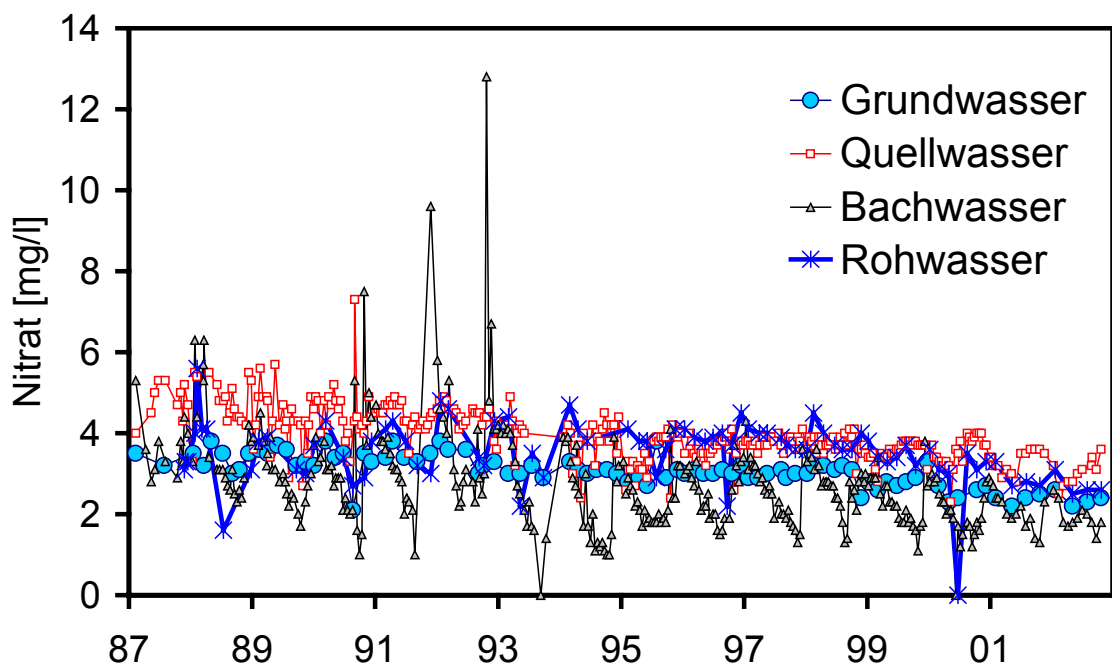


Abb. 22 Ganglinien der Nitratkonzentrationen im Bach- und Grundwasser, Messgebiet Hochspessart

Der Buntsandstein, der an Kuppen und Oberhängen in geringer Tiefe ansteht, bildet im tieferen Untergrund einen wenig ergiebigen Kluftgrundwasserleiter. In den Tal- und unteren Hanglagen bildet die obere entfestigte Zone des Buntsandsteins einen 8–10 m mächtigen Porengrundwasserleiter, der maßgebliche Bedeutung für den Grundwasserumsatz im Gebiet hat. Eingelagert in diese Zone sowie im Übergangsbereich zum nicht entfestigten, unverwitterten Sandstein treten

Ergebnisse der Messgebiete

Mürbsandsteinlagen auf, deren Gesteinsdurchlässigkeit deutlich erhöht ist. Quellaustritte sind an stärker wasserleitende Kluft- und Störungszonen im Bereich der Taleinschnitte gebunden. Als effektives Porenvolumen, berechnet mit dem Verfahren von UDLUFT & BLASY (1975), welches den Auslaufkoeffizienten des Basisabflusses und die mittleren Grundwasserstände verwendet, wurden 7,6 % ermittelt.

Mit der 6 MoMnQ-Methode (KÖPF & ROTHASCHER 1980) zur Ermittlung des langfristig verfügbaren Grundwassers wird am Pegel Metzenbach ein Wert von 39 mm/a ermittelt. Hinzu kommt der erhebliche unterirdische Abflussanteil, der je nach methodischem Ansatz zwischen 100 und 220 mm/a abgeschätzt wird. MATTHES & MURAWSKI (1978) geben für den Buntsandstein-Spessart 100 – 250 mm/a Grundwasserneubildung an. Neuere Berechnungen mit längeren Zeitreihen, die ebenfalls mit oben genannter Methode durchgeführt wurden, ergeben für die Region Spessart Grundwasserneubildungsraten in Höhe von 100 – 150 mm/a (LFW 1996).

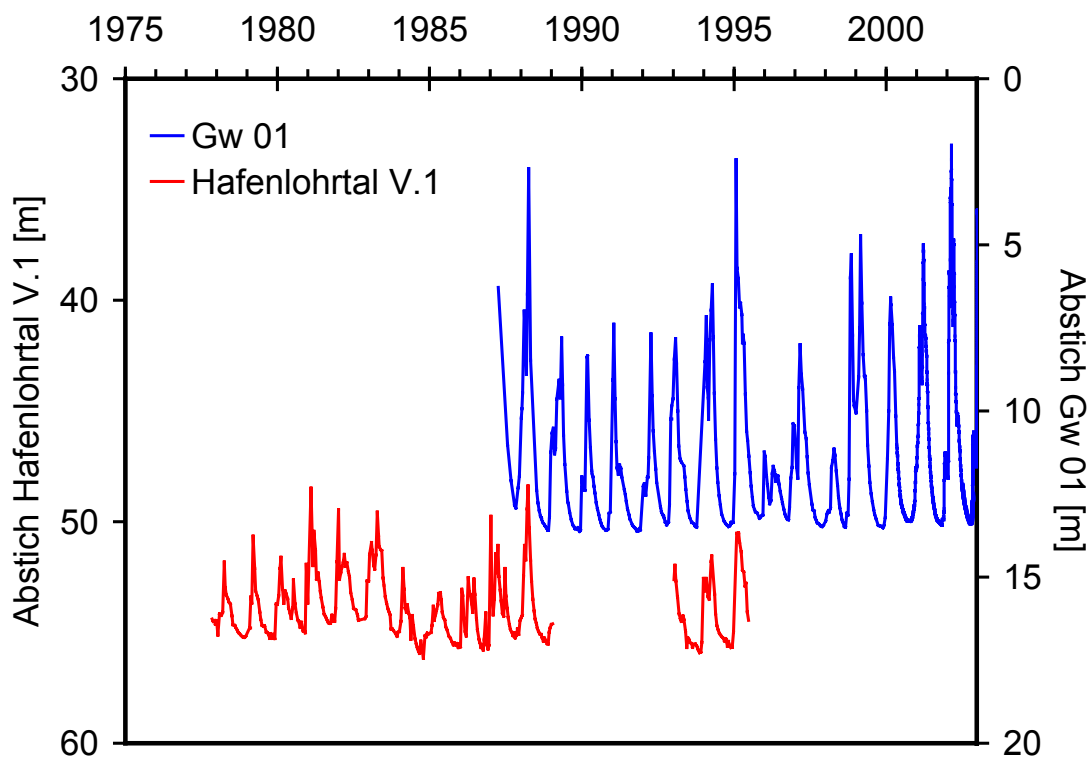


Abb. 23 Langjährige Entwicklung des Grundwasserstands (MSGw-Messstelle Gw01) im Spessart

Die Dynamik der Grundwasserstände im Wassereinzugsgebiet Metzenbach ist auf Grund der geringen effektiven Hohlraumanteile erheblich. Sie beinhaltet eine schnelle und eine langsame Grundwasserkomponente. Es werden ausgeprägte saisonale Schwankungen von mehreren Metern beobachtet (Abb. 23), wobei sich die Grundwasserstände überwiegend im entfestigten Gesteins-

bereich bewegt. In den Jahren 1996 und 1998 führten trockene Frühjahrsmonate zu auffallend geringer Grundwasserneubildung. Die Vergleichsmessstelle im Hafenlohrtal weist eine ähnliche Charakteristik der Grundwasserstände auf. Hier wurden Anfang der 80er Jahre etwas höhere Grundwasserstände während herbstlicher Niedrigwasserphasen registriert.

5.1.2.8 Wasserversorgung

Östlich des Wassereinzugsgebietes Metzenbach befinden sich im Heinrichstal 3 Trinkwasserbrunnen zur Versorgung der Stadt Marktheidenfeld. Einer davon, der Forstratsbrunnen, liegt etwa 150 m östlich des Pegels Metzenbach im Bereich einer tektonischen Störungszone unterstromig zum Messgebiet. Mit einer Ausbautiefe von 30,5 m erschließt er den mittleren Buntsandstein bis auf die Basis. Filterstrecken sind von 9,5 m bis 18,5 m sowie 21,5 m bis 29,5 m realisiert und erschließen die Volpriehausener Wechselfolgen. Teilweise stammt das hier gewonnene Grundwasser auch aus Kluft- und Störungszonen des Unteren Buntsandsteins. Das Wasserschutzgebiet hat eine Größe von 0,74 km². Das Einzugsgebiet aller drei Brunnen ist für eine maximale Förderleistung von 52 l/s mit 14 km² anzusetzen. Eine genehmigte Entnahmemenge von 18 l/s für den Forstratsbrunnen erlaubt bei einer täglichen Betriebsdauer von 12 h die Entnahme von 284.000 m³ im Jahr. Insgesamt wurde vom Betreiber in den letzten Jahren aus allen drei Brunnen durchschnittlich 750.000 m³/a gewonnen. In niederschlagsarmen Phasen kann es zur Einstellung des Förderbetriebes kommen, da Trübungen auftreten können. Das Rohwasser aller drei Brunnen wird einer naheliegenden Anlage zugeführt, wo über rückspülbare Dolomit-Filter die Aufbereitung erfolgt.

5.1.3 Intensivmessfläche Metzenbach

5.1.3.1 Lage

Die Intensivmessfläche des Wassereinzugsgebietes Metzenbach ist ein am Hangfuß liegender nordexponierter Buchenaltbestand (Messfläche 01 in LFW 1994a). Die Ausdehnung der umzäunten Messfläche beträgt etwa 1800 m². Ihre Höhenlage ist 430 m ü.NN. Direkt nach Westen anschließend wurde 1997 die zugehörige Bodendauerbeobachtungsfläche eingerichtet.

5.1.3.2 Waldbestockung

Die Forstinventur der Messfläche fand 1988 in Zusammenhang mit einer Befliegung des gesamten Wassereinzugsgebietes statt (LFW 1994a). Der Bestand hatte 2002 ein mittleres Alter von 131 Jahren. Die entsprechenden Daten sind für den Messbestand in Tab. 24 zusammengestellt.

Im Zuge routinemäßiger Durchforstung fand im April 2002 eine Hiebsmaßnahme auf der Fläche statt, um die Repräsentativität für den umgebenden Bestand zu erhalten. Es wurden 17 Buchen und 1 Fichte äußerst vorsichtig unter Schonung des Bodens und der Messeinrichtungen entnommen. Die Depositionsmessung berücksichtigt diese Bestandsauflockerung, da von 15 Bulk-Sammlern 4 mehr oder weniger freigestellt wurden.

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 24: Forstinventurdaten, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach, 1988

Parameter	Inventurdaten	Bemerkung
Alter	116	
Flächengröße [ha]	0,1830	
Zahl der Bäume / ha	Fichte: 5 (3 %) Buche: 208 (97 %)	(Kraftklassen 1 + 2)
Baumhöhe [m]	33,95	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Kronenlänge [m]	12,32	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Höhe d. Kronenansatzes [m]	21,58	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Brusthöhendurchmesser [m]	0,354	arith. Mittel d. Bäume der Kraftklassen 1 + 2
Kreisfläche [m ² /ha]	34,479	Mittel aller Bäumen nach BITTERLICH (1952)
Vorrat [Efm.o.R./ha]	480,97	Berechnung nach KRENN (1950) in Erntefestmeter ohne Rinde

Die Durchforstung im Umfeld der Messfläche wurde auf ca. 13 ha durchgeführt, wobei ca. 20 % des Baumbestandes bzw. 15 % der Holzmenge entnommen wurde (FORSTAMT MARKTHEIDENFELD 2002). Der Blattverlust des untersuchten Messbestandes schwankt zwischen 18,7 und 32,4 %. (Abb. 24), wobei sich in Einzeljahren deutliche Abweichungen zum bayernweiten Mittelwert (LWF 2002) abzeichnen. Teilweise liegt der Blattverlust deutlich über dem landesweiten von Buchenbeständen, teilweise liegt er darunter. Während der Untersuchungsperiode bis 1994, in der 7 Bestände beobachtet wurden, war die jetzige Intensivmessfläche im Mittel die mit den höchsten Blattverlusten. Bei der Befliegung 1988 wurden höhere Schädigungsgrade nur für die Hochlagen des Messgebietes vor allem im Westen am Geierkopf festgestellt.

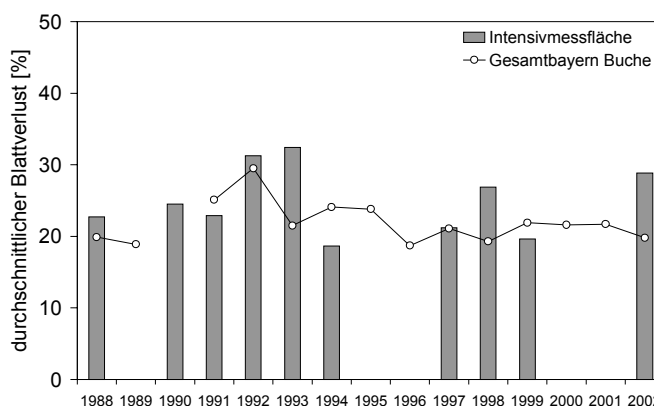


Abb. 24 Entwicklung des mittleren Blattverlustes auf der Intensivmessfläche im Vergleich mit bayernweiten Daten aus dem Waldzustandsbericht (LWF 2002), Intensivmessfläche Metzenbach

5.1.3.3 Profilbeschreibung

Den geologischen Untergrund der Intensivmessfläche bildet der untere Abschnitt der Volpriehausen-Wechselfolge im mittleren Buntsandstein. Sie wird von Fließerden aus Materialien der gesamten oberhalb anstehenden Buntsandsteinfohle überlagert. Hieraus ist eine ca. 70 cm mächtige podsolige Braunerde mit lehmig-sandiger bis sandig-lehmiger Körnung hervorgegangen. Staunäsemerkmale im Unterboden deuten auf gehemmten Sickerwasserfluss.



Abb. 25 Bodenprofil Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach 1997

Der erbohrte Sandstein ist bis 10 m Tiefe entfestigt mit einer Wechselfolge aus schwach schluffigen bis schwach tonigen Fein- bis Grobsanden und eingeschalteten Steinlagen. Bis 20 m finden sich Sandsteinlagen mit wechselnden tonigen und unverfestigten, sandigen Einschaltungen. Der Grundwasserspiegel schwankt zwischen 5 und 13 m unter Gelände.

5.1.3.4 Bodenfestphase

Der Boden ist tiefgründig versauert, wie die durchgängig niedrigen pH-Werte (H₂O) unter 4,6 erkennen lassen. Während im Aeh-Horizont mit einem Wert von 3,3 das sauerste Milieu anzutreffen ist, steigt er in größerer Tiefe nicht über 4,6 (Tab. 25). Auch bis in eine Tiefe von 4,5 m bleibt der pH-Wert unter 5,0 (LFW 1994a). Die C/N-Verhältnisse liegen im humushaltigen Boden sowie im Stauhizont zwischen 10 und 22.

Tab. 25: Kenndaten für pH, C, P und N, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach , 1997

Bodentyp: podsolierte Braunerde Humusform: Rohhumusartiger Moder											
Horiz.	Tiefe [cm]	Textur	Skelett [Gew. %]	dB _F [g/cm ³]	C [%]	N [%]	C/N	P _{citrat} [mg/kg]	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (CaCl ₂)
OLF(H)	5 - 0		21	0,18	41,7	1,9	22		3,64	2,85	3,05
Aeh	0 - 3	Sl3	14	0,58	11,4	0,6	19	38	3,31	2,77	2,89
Bsh	3 - 5	Sl4	4	0,94	2,5	0,1	18	16	3,63	3,10	3,24
Bv1	5 - 28	Ls4	14	1,26	1,0	0,1	13	20	4,31	3,98	4,02
Bv2	28 - 54	Ls4	15	1,19	0,3	0,03	10	3	4,49	4,20	4,23
Sw	54 - 70	Sl3	2	1,53	0,1	0,03	4	19	4,57	4,32	4,31
Cv	70 - 74	sS		1,83	0,04	0,03	2	4	4,50	3,88	3,92
CvSd	74 - 90	Ls3	3	1,66	1,3	0,08	16	30	4,52	4,18	4,14

Die effektive Kationen-Austauscherkapazität ist auf den nährstoffarmen Sandsteinstandorten sehr gering. Während sie in der Auflage über 200 mmol/kg beträgt, fällt sie im Mineralboden und tieferen Untergrund auf weit unter 50 mmol/kg, vor allem in den sandigen Schichten. Die Austauscherbelegung wird von sauren Kationen hauptsächlich Protonen, Aluminium und Mangan dominiert, so dass sich Basensättigungen weit unter 10 % einstellen (Tab. 26). Für die Pufferung von Säuren stehen kaum noch austauschbare Basen-Kationen zur Verfügung. Saures Sickerwasser kann also sehr weit in den tiefen Untergrund vordringen.

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 26: Austauschbar gebundene Kationen, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach, 1997

Bodentyp: podsolierte Braunerde Humusform: Rohumusartiger Moder										
Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK_e [%]								AK_e	BS
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn	[mmol _c /kg]	[%]
OLF(H)	34,1	6,4	5,4	0,4	19,0	25,8	2,2	6,7	214,0	46,3
Aeh	3,4	2,4	2,0	0,2	63,3	20,6	7,6	0,5	108,7	8,0
Bsh	1,6	1,0	1,1	0,1	76,6	12,3	6,9	0,5	61,3	3,8
Bv1	0,8	0,0	1,4	0,0	93,0	2,3	0,3	1,6	33,3	2,8
Bv2	0,8	0,0	2,5	0,0	94,1	1,5	0,5	0,7	24,5	3,3
Sw	0,0	0,0	2,6	0,0	95,4	1,9	0,0	0,0	14,1	2,6
Cv	0,0	0,0	2,9	0,0	88,0	9,0	0,0	0,0	10,7	2,9
CvSd	0,0	0,0	2,7	0,0	93,2	4,1	0,0	0,0	10,7	2,7

Aluminium und Eisen sind die Hauptbestandteile der Festphase (Tab. 27). Die Vorräte an Stickstoff im Mineralboden sind mit 6600 kg/ha hoch, wobei ca. 500 kg/ha für die Auflage zusätzlich zu berücksichtigen sind. Gegenüber den Stickstoffvorräten (bis 100 cm Tiefe) aus der Aufnahme 1988 (6570 kg N/ha), hat sich keine signifikante Änderung ergeben. Der Schwefelvorrat beträgt etwas über 1000 kg/ha, wovon die Hälfte im Bv-Horizont und ein weiteres Viertel im unteren Stauhizont angereichert sind. Die Vorräte an Basen-Kationen sind mit ca. 1600 kmol_c/ha insgesamt gering, wobei Magnesium davon zwei Drittel ausmacht und der Vorrat an Natrium nur 40 kmol_c/ha beträgt.

Tab. 27: Gesamtvräte [kg/ha], Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach, 1997

Bodentyp: podsolierte Braunerde Humusform: Rohumusartiger Moder										
Horizont	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	N	P	S
OLF(H)										
Aeh	33	142	236	10	1632	1255	12	774	77	89
Bsh	35	171	282	19	2044	1624	16	328	61	42
Bv1	451	3054	4731	225	44352	23427	425	2002	526	350
Bv2	603	3381	4691	236	30112	25211	419	655	314	210
Sw	380	2567	3708	190	17851	16424	238	594	190	71
Cv	125	594	1092	59	3923	3820	59	183	59	15
CvSd	387	2373	3818	181	32784	18391	593	183	619	284
Summe	2013	12281	18557	920	132697	90153	1763	6601	1846	1061

Der gesamte Sickerraum ist tiefgründig versauert, wie 11 in den 90er Jahren durchgeführte Tiefbohrungen in den beiden Einzugsgebieten Metzenbach und Birkwasser ergaben (KREBS 1994, LFW 1997). Unterhalb von 2 Metern steigen die Basensättigungen je nach Standort unterschiedlich stark an, wobei die Grenze von 80 %, die definitionsgemäß die Lage der Versauerungsfront charakterisiert (BENECKE 1995) nur an 3 von den 11 Bohrpunkten erreicht wurde. Die Versauerungsfront liegt somit im Bereich von mindestens 2 – 6 Metern und tiefer. Insbesondere in den Hochlagen ist die Front bereits tief vorgedrungen. Auch im Nahbereich der Intensivmessstelle wurde neben den beiden Profilbeprobungen der Bodendauerbeobachtung zwei Tiefbohrungen

durchgeführt, 1992 von der Wasserwirtschaft (LFW 1997) und 1999 im Rahmen des Projektes AcidProgress (MALESSA & MÜLLER 2001). Im Bereich der Intensivmessstelle liegt die Versauerungsfront demnach tiefer als 7 m (Basensättigung < 80 %, s. Abb. 26).

Die zweifache Beprobung der Bodendauerbeobachtungsfläche in den Jahren 1988 und 1997 lässt erste Aussagen zur zeitlichen Entwicklung zu. Einschränkend ist auf eine unterschiedliche Horizontansprache und der Wechsel der Probenfläche hinzuweisen. Demnach ist die Basensättigung bis 1 Meter Tiefe deutlich gesunken. Die Ergebnisse aus der Flächenaufnahme decken sich 1997 bis zum Sw-Horizont sehr gut mit denen des Messprofils. Die pH-Werte blieben weitgehend konstant, mit Ausnahme einer signifikanten Abnahme im Aeh-Horizont.

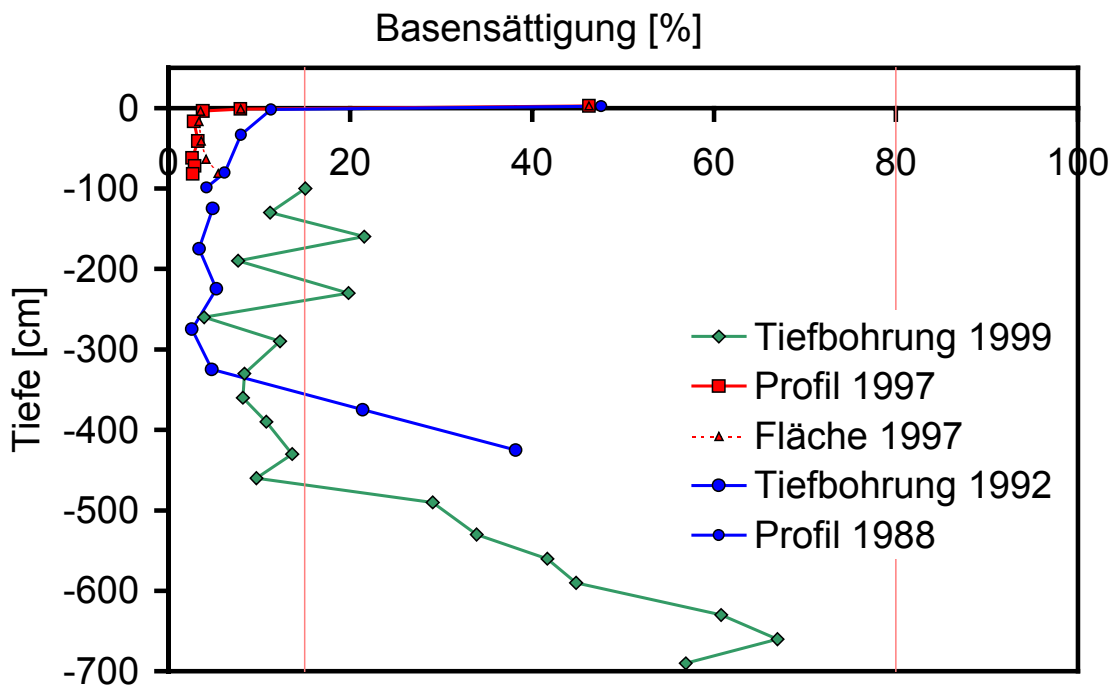


Abb. 26 Tiefenverlauf der Basensättigung im Bereich der Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach

Mit zunehmender Lagerungsdichte sinkt das Gesamtporenvolumen im Profilverlauf (Tab. 28). Den A-Horizont kennzeichnet ein Porenvolumen von nahezu 60 %, wobei gut die Hälfte hiervon aus Grobporen besteht (Abb. 27). Die nutzbare Feldkapazität schwankt zwischen 6 und 11 %. Auf 1 m Bodentiefe stehen nur ca. 66 mm als langfristig pflanzenverfügbare Wasserspeicher zur Verfügung. Der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert des Cv-Horizonts von $3,5 \cdot 10^{-4}$ cm/s charakterisiert den oberen entfestigten Bereich des anstehenden Buntsandsteins, somit auch den Schwankungsbereich des Grundwasserstandes. Im tieferen Untergrund ist von niedrigeren Durchlässigkeiten des dortigen Trennfugensystems auszugehen.

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 28: Bodenphysikalische Kenndaten, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach

Horizont	Tiefe [cm]	Struktur			Hydrologische Parameter			
		Trocken- substanz [Vol.%]	Lagerungs- dichte [g/cm ³]	Gesamt- porenvol. [Vol.%]	Luft- kapazität [Vol.%]	Feld- kapazität [Vol.%]	nutzbare Feldkap. [Vol.%]	k _f -Wert* [cm/s]
Aeh, Bsh	0 – 8	43,5	1,13	56,5	29,6	26,9	11,3	9,0 * 10 ⁻³
Bv1, Bv2	8 – 68	55,0	1,46	45,0	27,4	17,6	6,1	
Sw, CvSd	68 – 103							
Cv	103–140	56,5	1,5	43,5	28,3	15,3	8,8	3,5 * 10 ⁻⁴

* k_f-Werte nicht von Intensivmessfläche, sondern gemittelt von mehreren Messflächen im Einzugsgebiet

Einzelmesswerte von 4 untersuchten Standorten schwanken zwischen $1,5 \cdot 10^{-3}$ cm/s und $4,0 \cdot 10^{-6}$ cm/s, wobei die hohen Werte den entfestigten aber dicht gelagerten Sand, die tiefen Werte tonige Zwischenschichten kennzeichnen.

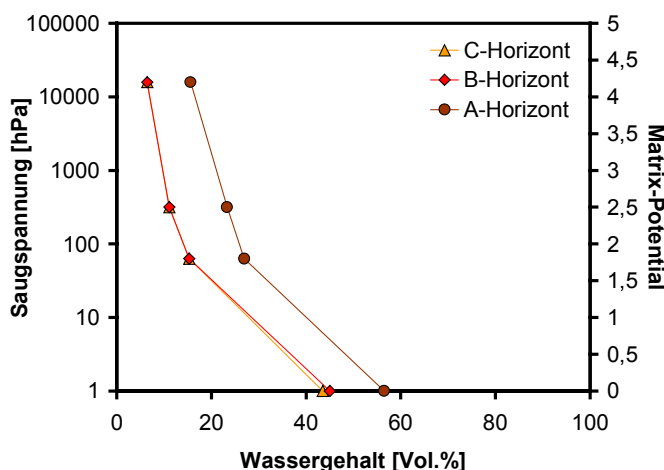


Abb. 27 pF-WG-Beziehung, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach

5.1.3.5 Bodenlösungsphase (Sickerwasser)

Die Beschaffenheit des Sickerwassers spiegelt die geringe Mineralausstattung und schwache Löslichkeit des Buntsandsteins wider. Die Leitfähigkeit erreicht in 200 cm Tiefe 90 % des Niveaus von $56 \mu\text{S}/\text{cm}$ in 450 cm (Tab. 29). Entsprechend dem Versauerungsgradienten der Bodenfestphase ist der Chemismus des Sickerwassers geprägt. Die pH-Werte bewegen sich zwischen pH 4,0 und 5,0. Hinter der langjährigen mittleren Konzentrationen von Sulfat (7 bis 18 mg/l) verbergen sich abnehmende Trends in allen Tiefen, eine Reaktion auf die nachlassende Immissionsbelastung. Gleichzeitig kommt es auf der Sickerstrecke zu einer Freisetzung von Sulfat, wie das Verhältnis von Sulfat zu Chlorid zeigt. Die Folge ist ein – wenn auch in seiner Dynamik geringeres – Fortschreiten der Versauerung des tieferen Untergrundes. Im oberen Sickerraum wird die Freisetzung von Aluminium durch Sulfat gesteuert

Tab. 29: Beschaffenheit des Sickerwassers, Wassereinzugsgebiet Metzenbach (Mittelwerte 1988 – 2002, unter Verwendung von beiden Messplätzen, s. Tab. 10 und 19)

Tiefe [cm]	LF [$\mu\text{S/cm}$]	pH-Wert	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	Al _{tot} [mg/l]
50	32	4,59	1,5	7,6	1,4	0,4	0,2	0,8	0,4	0,003	1,36
200	50	4,43	1,9	14,3	< 0,5	0,4	0,2	0,9	0,6	< 0,002	2,21
250*	53	4,61	2,4	16,4	< 0,5	1,6	1,5	1,2	1,0	< 0,002	1,13
300*	54	4,65	2,0	16,7	< 0,5	1,7	2,3	1,3	0,9	0,002	0,58
350*	54	4,73	1,8	16,6	0,7	1,6	2,5	1,2	1,0	0,004	0,52
450	56	5,14	2,4	17,7	1,5	3,4	2,1	1,3	2,3	0,004	0,33

* Mittelwert 1991 – 2001

Trotz durchgängig sehr geringer Basensättigungen steigen im tieferen Untergrund die Konzentrationen von Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium auf Kosten von Aluminium. Entsprechend steigen die langjährigen mittleren Alkalinitäten (berechnet nach REUSS und JOHNSON 1986) von –160 und –268 $\mu\text{mol/l}$ in 50 bzw. 200 cm Tiefe auf 35 $\mu\text{mol/l}$ in 450 cm Tiefe.

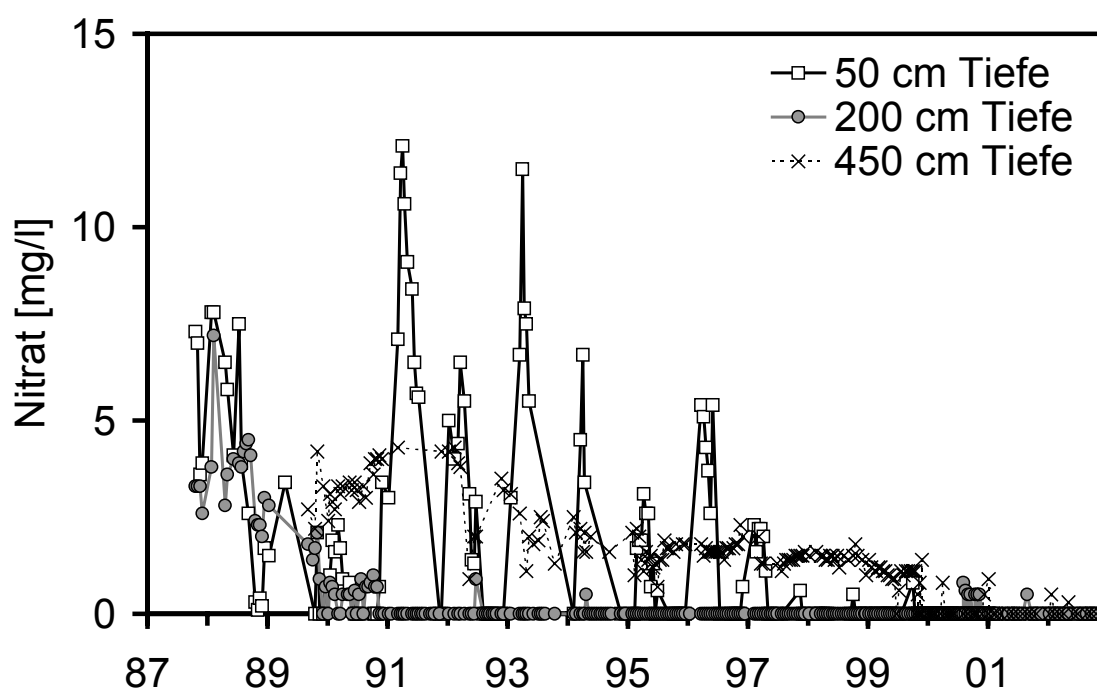


Abb. 28 Nitratkonzentration im Sickerwasser auf der Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach

Die Nitratkonzentrationen im Bodensickerwasser sind sehr gering, was auf die generell günstigen Eigenschaften der Laubholzbestockung hinsichtlich des Gewässerschutzes hinweist (Abb. 28). Der langjährige Verlauf weist einen deutlich negativen Trend auf. Es bleibt abzuwarten, inwieweit die Durchforstungsmaßnahmen des Jahres 2002 im oberhalb gelegenen Hangbereich der Intensivmessfläche eine verstärkte Humusmineralisierung und zunehmende Nitratkonzentrationen

Ergebnisse der Messgebiete

im Sickerwasser bewirken. Das Sickerwasser der alten und neuen Messplätze ist für die Tiefen 50 und 200 cm sehr ähnlich, so dass eine direkte Fortsetzung der Zeitreihen vertretbar ist. Abweichend verhält sich die Messtiefe 450 cm des neuen Messplatzes, wo das Sickerwasser deutlich stärker versauert ist als das des alten Messplatzes (nicht dargestellt).

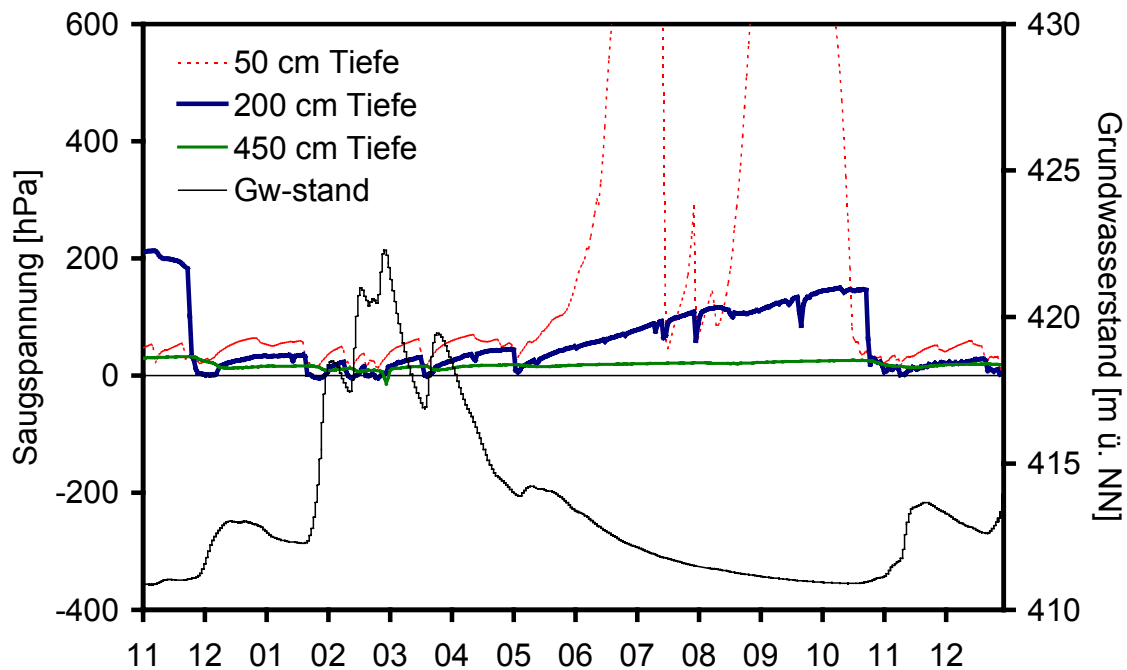


Abb. 29 Bodensaugspannung in 50, 200 cm und 450 cm Tiefe und Grundwasserstand (1.11.2001 bis 31.12.2002), Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Metzenbach

Die für das Jahr 2002 dargestellte Bodensaugspannung verläuft typisch saisonal (Abb. 29). Grundwasserneubildung findet überwiegend im Spätwinter und Frühjahr statt, 2002 insbesondere im Februar mit über 200 mm Niederschlag und anhaltender Wassersättigung des Bodens. Als Folge der niederschlagsarmen Monate Juni und September kommt es zur Austrocknung des Oberbodens, mit Saugspannungswerten bis 900 hPa in 50 cm Tiefe. Dies entspricht einer Reduktion des im Bv-Horizont ohnehin geringen pflanzenverfügbarem Wassergehaltes auf unter 3 %. Die ausgeprägten Sättigungserscheinungen in der Tiefe von 200 cm sind ein deutlicher Hinweis auf die Bildung von Zwischenabfluss im Hangbereich. Die Verzögerung von Niederschlagssignalen lässt sich gut beobachten. In 50 cm Tiefe sinkt die Saugspannung innerhalb von wenigen Stunden, in 200 cm Tiefe kann es je nach Vorfeuchte mehrere Tage dauern. Die Messebene in 450 cm Tiefe weist Bodensaugspannungen zwischen 10 und 40 hPa auf, die jedoch Anfang März einige Tage unterhalb 0 hPa absinken, synchron zum Maximum des Grundwasserstandes. Offenbar wurden hier die Sensoren in dieser Tiefe vom Grundwasser überstaut (s. auch Abb. 23).

5.2 Messgebiet Bayerischer Wald

5.2.1 Regionale Gegebenheiten

Die zahlreichen Gewässer des Bayerischen Waldes werden von den Silikatgesteinen des kristallinen Grundgebirges geprägt. Hohe Niederschläge in Verbindung mit hohem Schadstofftransport bedingen hohe atmosphärische Belastungen für die Ökosysteme der walddreichen Region. Die sauberen mineralarmen Oberläufe der Gewässer sind häufig versauert. An den Mittel- und Unterläufen mit anthropogener Beeinflussung aus landwirtschaftlicher Nutzung sowie Kläranlagen und Industriebetrieben tritt die Säurebelastung aber schnell in den Hintergrund.

5.2.1.1 Landschaft, Klima und Geologie

Als Bayerischer Wald wird die Landschaft zwischen Donau und der Grenze zu Tschechien bezeichnet mit dem Vorderen Bayerischen Wald im Westen und dem Hinteren oder Inneren Bayerischen Wald im östlichen Teil. Dieses Grenzgebirge gehört bereits zur Landschaftseinheit Böhmerwald. Der Bayerische Wald ist Teil des Einzugsgebiets der Donau. Während nach Nordosten zu der Regen die Wässer der zahlreichen von den Höhenzügen kommenden Bäche aufnimmt, entwässert die Ilz die Region nach Südosten hin.

Im Inneren Bayerischen Wald wurde 1970 der Nationalpark Bayerischer Wald eingerichtet, der den engeren Bereich der Untersuchungen darstellt. Er erstreckt sich seit 1997 auf einer Fläche von 243 km² von Finsterau im Südosten bis Bayerisch-Eisenstein im Nordwesten. Die höchsten Erhebungen sind im nordwestlichen Teil der Falkenstein mit 1315 m Höhe, im Südosten der Rachel (1543 m) und der Lusen (1373 m). Das Gebiet ist überwiegend bewaldet, natürliche freie Flächen findet man nur dort, wo Moore oder Blockfelder eine Bewaldung verhindern. Während man in den Tal- und Hanglagen ursprünglich Bergmischwald mit Fichte, Tanne und Buche vorfand, stocken in den kalten Hochlagen reine Fichtenbestände, die sich bis in die Gipfelregionen erstrecken.

Das Klima liegt im Übergangsbereich des planetarischen Westwindgürtels zu dem kontinental geprägten östlichen Klimaraum. Insbesondere bei Westwetterlagen kommt es im Bayerischen Wald, als Teil der ostbayerischen Gebirgskette, durch Hebungs- und Staueffekte zu einer Verstärkung der Niederschläge (Luv- und Leewirkung). Ein weiteres prägendes Element sind die Vb-Wetterlagen, die feuchte Luft aus dem Mittelmeerraum heranbringen und tagelange intensive Regenfälle (Staulage) bescheren können. In den Hochlagen sind lange Winter und hohe Schneedecken nicht selten. Die mittlere jährliche Sonnenscheindauer summiert sich verbreitet auf 1600-1800 h, gebietsweise werden aber auch nur 1400-1500 h erreicht. Die Jahresmitteltemperatur (1951–1980) beträgt 3–8 °C, die Jahresschwankung 16-17 °C und das langjährige Mittel des Jahresniederschlags (1961-1990) 850–1499 mm. Davon gelangen 400–1299 mm zum Abfluss (BAYFORKLIM 1996).

Ergebnisse der Messgebiete

Die Geologie des Nationalparks Bayerischer Wald ist geprägt von kristallinen Serien (Granite, Gneise), wobei die Granite die stratigraphisch jüngeren Serien darstellen, die erst im Laufe der variszischen Gebirgsbildung während des Karbons in die älteren Gneise intrudierten. Das unverwitterte Gestein ist selten aufgeschlossen, da es großflächig durch Verwitterungsdecken und/oder quartäre Sedimente bedeckt wird. Die Böden sind in der Region auf Grund des basenarmen Ausgangsmaterials meist nährstoffarm und sauer.

5.2.1.2 Wasserversorgung

Das Speichervolumen der Grundwasserleiter im Bayerischen Wald ist nicht besonders hoch, wird aber durch den Niederschlagsreichtum schnell wieder aufgefüllt. Höhere Porenvolumen und damit stärker grundwasserführend sind die Überdeckungen des Gesteins wie Schuttüberdeckungen und quartäre Mulden- und Talfüllungen. Diese Porengrundwasserleiter sind die wichtigsten Speicherräume für das genutzte Grundwasser.

Die Gebirgszüge von Vorderem und Innerem Bayerischen Wald sind durch eine Vielzahl von Quellaustritten charakterisiert, die häufig zur öffentlichen Wasserversorgung genutzt werden. Die Nutzung dieser Quellen kann im Sommer und Herbst quantitative Probleme mit sich bringen. In der Regel müssen die weichen kalkaggressiven Wässer aufbereitet werden. Die natursauren Grundwässer müssen in geeigneten Aufbereitungsanlagen seit jeher entsäuert werden. In neuerer Zeit kann durch die Gewässerversauerung bedingt auch eine Entfernung von Metallen wie Mangan, Aluminium und Eisen erforderlich sein.

Die vielen kleinen örtlichen Wasserversorgungen können häufig die Trinkwasserversorgung aus eigener Kraft nicht sicherstellen. Mit der Wasserversorgung Bayerischer Wald, die die Region über die Trinkwassertalsperre Frauenau seit 1984 überregional mit Trinkwasser versorgt konnte die Entwicklung insbesondere auch des Fremdenverkehrs im Bayerischen Wald gesichert werden. Die Jahresabgabe der Talsperre beträgt zwischen 8 und 9 Millionen Kubikmeter bei einer maximalen Speicherkapazität von 15 Millionen Kubikmeter.

5.2.1.3 Umweltmessprogramme

Im Bayerischen Wald und angrenzenden Böhmerwald werden umfangreiche Untersuchungen von Behörden und Instituten durchgeführt. Ende der 70er Jahre etablierte sich der Forschungsschwerpunkt „Hydrologie Große Ohe“, ein Zusammenschluss der Forstverwaltung, der Wasserwirtschaftsverwaltung und universitären Einrichtungen. Ziel ist die langfristige Beobachtung des Stoff- und Wasserkreislaufs im Einzugsgebiet Große Ohe, in dem auch das Wassereinzugsgebiet Markungsgraben des Messnetzes Stoffeintrag-Grundwasser liegt. Derzeit bestehen im Messgebiet Bayerischer Wald fachliche Verbindungen zu den folgenden Kooperationspartnern:

- Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald: Betreiber des UN-ECE Programm ICP Integrated Monitoring (ECE IM), Einzugsgebiet Forellenbach, Koordination der Forschung im Nationalpark
- Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: Forschungsverbund „Hydrologie Große Ohe“, Waldklimastation Mitterfels, 2 Messflächen der Bodendauerbeobachtung
- Umweltbundesamt: Messstation zur Beobachtung von Immissionen und Stoffeinträgen am Brotjacklriegel im Vorderen Bayerischen Wald
- Landesamt für Umweltschutz: Immissionsökologisches Messnetz - Depositionsmessstelle am Pegel Taferlruck
- Wasserwirtschaftsverwaltung: 3 Abflusspegel im Einzugsgebiet der Großen Ohe, Pegel Taferlruck/Große Ohe Teil des Landesmessnetzes Fließgewässerbeschaffenheit und Schwebstoffmessnetz, Messnetz Versauerung oberirdischer Gewässer (VoG): 4 Messstellen, die gleichzeitig Teil des UN-ECE Programmes ICP Freshwater sind.



Abb. 30 Totholzflächen am Markungsgraben

Ein aktuell von der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft betriebenes befristetes Verbundprojekt mit dem Titel „Wasser- und Stoffhaushalt einer sich verändernden Naturlandschaft im Nationalpark Bayerischer Wald“ soll die Entwicklungen hinsichtlich Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten der Talsperre Frauenau und der Großen Ohe erfassen und bewerten.

5.2.2 Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Das Wassereinzugsgebiet Markungsgraben ist eines der Intensivmessgebiete, das seit 1986 zur integrierenden gewässerkundlichen Beobachtung und fachübergreifenden Nutzung von Daten und Einrichtungen betrieben wird. Sie ermöglichen bereits jetzt die Beschreibung langfristiger hydrologischer Charakteristiken und Entwicklungen.

Ergebnisse der Messgebiete

5.2.2.1 Lage und Ausstattung

Das Wassereinzugsgebiet Markungsgraben liegt im Kerngebiet des Nationalparks Bayerischer Wald zwischen Rachel und Lusen. Es erstreckt sich über einen Höhenbereich von 890 bis 1355 m Höhe über NN bis an die deutsch-tschechische Grenze. Die Zonen der oberen Hanglagen und der Hochlagen machen je etwa die Hälfte des Gebietes aus. Es ist südwest-exponiert und hat ein ausgeprägtes Relief mit einer mittleren Hangneigung von 27 %.

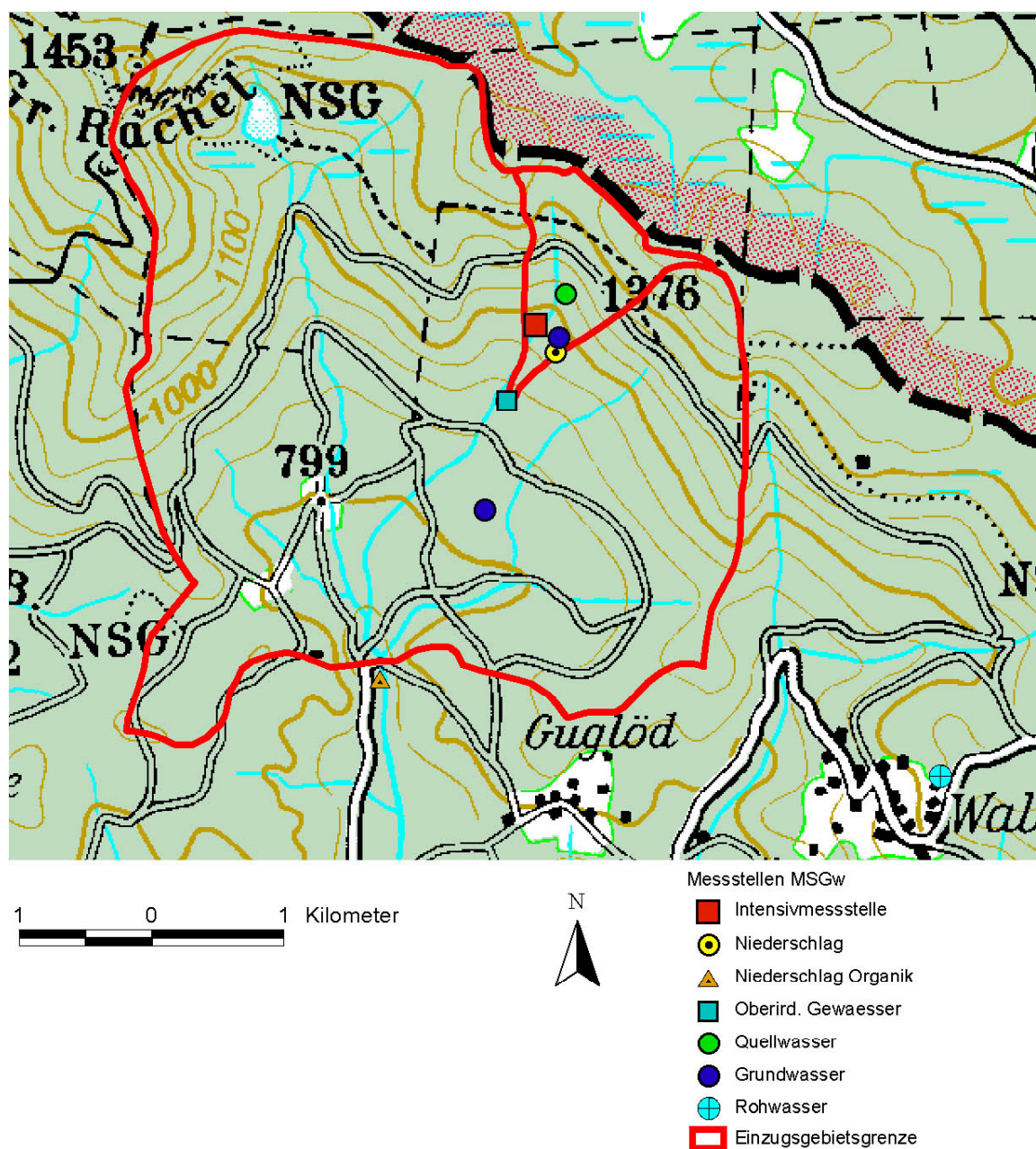


Abb. 31 Wassereinzugsgebiet Markungsgraben und Lage der Messstellen innerhalb des Einzugsgebietes der Großen Ohe

Sein oberirdisches Einzugsgebiet hat eine Größe von 1,1 km² (Abb. 31). Es ist Teil des 19 km² großen hydrologischen Referenzgebietes der Grossen Ohe, das seit 1978 in einem Forschungsverbund intensiv beobachtet wird (BRAUN et al. 1999). Der Markungsgraben hat eine Länge von 1,9 km und entwässert über den Hinteren Schachtenbach und den Seebach in die Grosse Ohe, die ihrerseits Quellfluss der Ilz ist.

Im Entwicklungsvorhaben „Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser“ wurden 4 Intensivmessflächen und weitere Messstellen für Quell-, Bach- und Grundwasser beobachtet (LFW 1994a), von denen je eine im MSGw übernommen wurde. Eine Übersicht der derzeitigen Messstellen zur Probengewinnung von Wasser bietet Tabelle 30.

Tab. 30: Messstellen im Wassereinzugsgebiet Markungsgraben (Messstellen auf der Intensivmessfläche fett)

Messobjekt	Messprogramm	Messstelle	Betrieb ab	Höhe ü. NN [m]	Bemerkung
Niederschlag	qual./quan.	Freiland	09.1988	970	Verlegung im Okt.1995 um ca. 50 m hangabwärts
Niederschlag	qual./quan.	Fichtenbestand	09.1988	970	1997 nach Käferbefall abgestorben
Niederschlag	qualitativ	Freiland, Organ. Spurenstoffe	06.1995	770	außerhalb des Einzugsgebietes am Pegel Taferlruck
Sickerwasser	qualitativ	50 cm Tiefe	08.1989	970	altes Messsystem, Bezugsbäume starben 1990 nach Borkenkäferbefall ab, Betrieb bis Ende 2003
Sickerwasser	qualitativ	100 cm Tiefe	08.1989	970	altes Messsystem, Bezugsbäume starben 1990 nach Borkenkäferbefall ab, Betrieb bis Ende 2003
Sickerwasser	qualitativ	150 cm Tiefe	08.1989	970	altes Messsystem, Bezugsbäume starben 1990 nach Borkenkäferbefall ab, Betrieb bis Ende 2003
Sickerwasser	qual./quan.	50 cm Tiefe	10.2001	960	neues Messsystem
Sickerwasser	qual./quan.	200 cm Tiefe	10.2001	960	neues Messsystem
Grundwasser	qual./quan.	Messstelle 01	10.1987	970	5“ Rohr, bis 16,5 m ausgebaut
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 02	10.1987	970	5“ Rohr, bis 16,5 m ausgebaut
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 21	09.1989	820	2“ Rohr, außerhalb des Gebietes
Quellwasser	qualitativ	Quelle 32	10.1987	1010	perennierende Quelle, nicht gefasst
Fließgewässer	qual./quan.	Markungsgr., Pegel Racheldiensthütte	03.1987	890	ausgebautes Gerinne mit Druckluftpegel
Rohwasser	qualitativ	zugeordnete Wasser- versorgung	04.1989	1030	Quellwasserversorgung, ca. 4 km SÖ des Messgebietes gelegen
Klima		Messfeld Taferlruck		770	Betrieb durch Forstverwaltung

Die Intensivmessfläche mit zugehöriger Bodendauerbeobachtungsfläche befindet sich im unteren Gebietsteil auf einer Höhe von 970 m ü. NN. Bei Messbeginn 1987 stockte auf dieser Fläche ein Fichtenaltbestand. Die zugehörigen Freiflächenmessungen wurden bis Oktober 1995 auf einer Windwurffläche durchgeführt, anschließend auf eine Schneise der Forststrasse verlegt. Im Ein-

Ergebnisse der Messgebiete

zugsgebiet der Grossen Ohe selbst liegt keine Einrichtung der Trinkwasserversorgung. Daher erschließt die zugeordnete Wasserversorgung Quellwasser in einer vergleichbaren hydrologischen Situation. Am Gebietsauslass des Einzugsgebietes der Grossen Ohe wird der Pegel Taferluck von der Wasserwirtschaftsverwaltung als Hauptmessstelle betrieben. In direkter Nachbarschaft dazu befindet sich die von der Forstverwaltung betreute Klimastation, deren Daten für MSGw verwendet werden. Auch die Erhebungen des direkt südöstlich an den Markungsgraben anschließenden Einzugsgebietes Forellenbach stehen MSGw zur Verfügung.

5.2.2.2 Klima und Landnutzung

Zur Beschreibung des lokalen Klimas können die langjährigen Messreihen der ca. 2 km südöstlich des Wassereinzugsgebietes gelegenen Klimahauptstation des DWD in Waldhäuser herangezogen werden. Auf Grund ihrer Exposition und Höhenlage auf 945 m Höhe ü. NN ist sie dazu geeigneter als die Klimastation Taferluck, die den häufigen Inversionswetterlagen in der Tallage ausgesetzt ist. Die mittlere Lufttemperatur kann für die Reihe 1971 bis 1990 mit 5,6 °C bei einem Monatsmaxima von 14,1 im Juli und einem Minimum von -2,6 °C im Januar angegeben werden.

Die Niederschlagshöhe von 1309 mm/a verteilt sich je zur Hälfte auf Sommer und Winter des hydrologischen Jahres mit Maxima im Juli und im Dezember (Abb. 32). Für das Einzugsgebiet der Grossen Ohe gab THUMS (1993) für die hydrologische Dekade 1980-89 eine Gebietsniederschlagshöhe von 1628 mm/a an. Mit steigender Höhe nehmen die Niederschläge zu, so dass für das Wassereinzugsgebiet Markungsgraben mit höheren Gebietsniederschlägen zu rechnen ist. In den Hochlagen nimmt oberhalb von 900 m die Bedeutung des Nebelniederschlages zu (BAUM-

GARTNER 1958). Dort können die mit Nebel verbundenen Anteile am Gesamtniederschlag über 50 % betragen. Etwa 30 – 40 % des Jahresniederschlages fallen als Schnee. Geschlossene Schneedecken bilden sich von Oktober bis Mai, wobei die südwest exponierten Hanglagen im Mittel 1 Monat weniger schneebedeckt sind als die kalte Hochlage. Mit maximale Schneehöhen bis über 2 m können erhebliche Wasseräquivalente in der Schneedecke gespeichert sein. (Abb. 33).

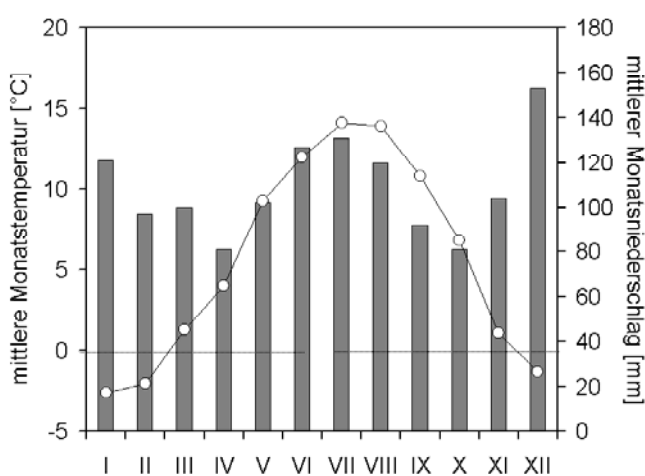


Abb. 32 Klimadiagramm für die Klimahauptstation Waldhäuser für 1961-90 (Temperatur nur 71-90, Daten DWD)

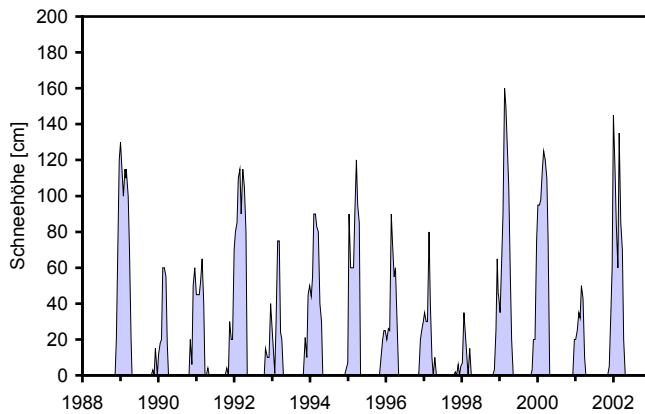


Abb. 33 Ausbildung der Schneedecke in 970 m Höhe ü. NN (obere Hanglage) im Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Das Gebiet ist nahezu vollständig bewaldet mit reinen Fichtenbeständen in den kalten Hochlagen und Bergmischwald (Fi-Ta-Bu) in den Hanglagen. In der Erstinventur 1988 wurde durch Auswertung von 110 Stichprobepunkten eine Baumartenverteilung von 73 % Fichte und 27 % Buche ermittelt, wobei auf rund 50 % der Gebietsfläche reine Fichtenbestände stockten. Der Waldzustand war in den 80er und 90er Jahren gekennzeichnet von hohen Schädigungsgraden. Vor allem in den Hochlagen waren die Nadelverluste erschreckend hoch.

erschreckend hoch.

Im Nationalpark können die natürlichen Prozesse im Kerngebiet ungehindert ablaufen, so dass Mitte der 90er Jahre mehrere Tausend Hektar Wald einer Borkenkäfergradation zum Opfer fielen. Befliegungsergebnisse der Forstverwaltung zur Befallssituation ergaben für das Wassereinzugsgebiet Markungsgraben einen Totholzanteil von 81 %, was praktisch der gesamten mit Fichten bestockten Fläche entspricht (ZIMMERMANN et al. 1999, BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2000). Die verbleibenden Bestände bestehen überwiegend aus Laubhölzern (Buche und Ahorn), so dass die abgestorbene Fläche nicht weiter anwachsen wird. Derzeit entwickeln sich die Bestände hin zu einem naturnahen Bergmischwald. Während in den relativ warmen Hanglagen die Verjüngung rasch vonstatten gehen, verzögern widrige Standortverhältnisse (niedrige Temperaturen, Reitgrasflur, hoher Skelettanteil) diese in der Hochlage. Grundsätzlich gibt es an einer Wiederbewaldung der jetzt als Totholzflächen landschaftsprägenden Gebiete keinen Zweifel (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 1998).

5.2.2.3 Geologie und Böden

Der geologische Untergrund im Wassereinzugsgebiet Markungsgraben besteht im mittleren Teil aus Granit, in der Hochlage und in dem am tiefsten gelegenen südlichen Teil aus Gneis, der reich an Biotit ist. Während des Tertiärs wurden die kristallinen Gesteine einer tiefgründigen Verwitterung ausgesetzt, so dass eine bis zu mehrere 10er Meter mächtige Vergrusungszone entstand. Die Granite sind meist tiefgründiger vergrust als die Gneise. Die Vergrusungszone hat als Wasserspeicher eine große Bedeutung.

Ergebnisse der Messgebiete

Im Einzugsgebiet der Grossen Ohe finden sich Spuren pleistozäner Vergletscherung. So ist der Rachelsee ein typischer Karsee. Spuren der Vergletscherung finden sich auch im Gebiet des Markungsgrabens. Als charakteristisches pleistozänes Sediment prägt verfestigter Schutt („Firneisgrundscht“) weite Flächen des Einzugsgebietes. Dieser Schutt kann im Sinne der für viele Mittelgebirge geltenden Hangschichtungen als Basisfolge angesprochen werden und ist Ergebnis von Solifluktionsvorgängen unter periglazialen Bedingungen. Die Mächtigkeit dieser Basisfolge nimmt mit zunehmender Gebietshöhe ab. In der Hochlage steht der verfestigte Schutt in 30 – 60 cm Tiefe an, in der Hanglage trifft man ihn in tieferen Schichten bis 100 cm an. Er wirkt durchwurzelungshemmend und wirkt bei hohen Sickerwasserraten stauend, was zu lateralem Wasserzug führt.

Die Standortkartierung unterscheidet drei Bodenformen im Untersuchungsgebiet Markungsgraben: Fels- und Blockböden, Lehm Böden und Nassböden. Die Fels- und Blockböden erstrecken sich an den steileren Hangpartien und bedecken ca. ein Viertel des Gebietes. Die Variationen reichen vom reinen Blockfeld im äußersten Nordosten, bis hin zu Block-Humus-Böden, deren Zwischenräume mit Humus und mineralischem Feinmaterial gefüllt sind. Etwa auf der Hälfte der Einzugsgebietsfläche finden sich Sand- und Lehm Böden. In der Hochlage wird tiefgründiger Lehm über verfestigtem Schutt angetroffen. Sein Gefüge ist bröckelig und schmierig und lässt die krümelige Struktur der Lockerbraunerde vermissen, wie sie im unteren Gebietsteil dominierend ist. Bei den Lehm Böden herrscht der Bodentyp Braunerde vor, die in der Hochlage podsoliert sein kann. Mineralische Nassböden werden bachbegleitend angetroffen. Streckenweise ist der Taleinschnitt von dichten Blocklagen überlagert, so dass der Bach quasi unterirdisch fließt. Moore finden sich nur auf kleineren Arealen. So entspringt der Markungsgraben in einem kleinen Quellmoor. Im unteren Gebietsteil finden sich zwei kleinere Niedermoore, die zumeist nur geringe Mächtigkeit (bis 60 cm) aufweisen. Nassböden machen insgesamt etwa ein Viertel des Gebietes aus.

5.2.2.4 Wasserhaushalt

Das ausgeprägte Relief des Gebietes muss bei der Ermittlung des Gebietswasserhaushaltes (Tab. 31) berücksichtigt werden. Dem Freilandniederschlag h_N in 970 m Höhe ist der Bestandesniederschlag h_{BN} im benachbarten Waldbestand gegenübergestellt. Zum Vergleich sind die Niederschlagsdaten der DWD-Station Waldhäuser angegeben, die den dokumentierten Zeitraum im Mittel als niederschlagsreicher als die Periode 1961-1990 ausweisen. Nur 4 der 15 Messjahre weisen Niederschlagshöhen unter dem 30-jährigen Mittel auf. In der Hochlage betreibt die Forstverwaltung einen Totalisator mit monatlicher Leerung innerhalb des Wassereinzugsgebietes. Der mit seiner Hilfe errechnete Gebietsniederschlag h_{NG} ist im Mittel 10 % höher als der auf der Freifläche in 970 m Höhe gemessene Niederschlag, was auf den ausgeprägten Höhengradienten zurückzuführen ist. Die Wasserflüsse für den Bestandesniederschlag und des Abflusses sowie die Unterschiedshöhe weisen einen deutlichen Trend auf, der in Zusammenhang mit den massiven Bestandesstörungen durch den flächenhaften Borkenkäferbefall steht.

Tab. 31: Jährliche Wasserflüsse [mm] im Messgebiet Bayerischer Wald, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Hyd. Jahr	h_N^*	h_{FN}	h_{BN}	h_{NG}	ETa	h_A	$h_{NG} - h_A$
1989	1354	1431	1073	1604	695	1073	531
1990	1165	<u>1280</u>	<u>972</u>	<u>1396</u>	682	<u>916</u>	480
1991	<u>1069</u>	1300	1026	1436	667	985	451
1992	1330	1543	1211	1675	716	978	697
1993	1454	1622	1264	1775	810	1136	639
1994	1382	1696	1287	1831	785	1059	<u>772</u>
1995	1710	2047	1685	2245	919	1649	596
1996	1214	1362	1089	1513	<u>640</u>	901	612
1997	1278	1369	1126	1512	710	1273	239
1998	1518	1557	1285	1725	729	1339	386
1999	1399	1539	1385	1764	775	1720	<u>44</u>
2000	1595	1763	1600	1971	812	1642	329
2001	1462	1580	1415	1707	679	1355	352
2002	<u>2041</u>	<u>2083</u>	<u>1965</u>	<u>2315</u>	<u>958</u>	<u>1656</u>	660
MW 89-02	1427	1584	1313	1748	755	1263	595

* DWD Station Waldhäuser

Daher werden die Betrachtungen für die beiden Zeiträume 1989 bis 1996 (ungestörter Zustand) und 1997 bis 2002 (Totholzflächen) gesondert vorgenommen (Tab. 32). Bei intaktem Waldbestand beträgt die Unterschiedshöhe, die der Gebietsverdunstung entspricht, 597 mm/a. THUMS (1993) ermittelte für das Gebiet der Grossen Ohe eine mittlere Unterschiedshöhe von 595 mm/a für die hydrologische Dekade 1980 – 89. Das Absterben der Waldbestände führte zu einem Rückgang der Unterschiedshöhe auf 334 mm/a.

Zum Vergleich können Ergebnisse aus Modellrechnungen der Verdunstung unter Zuhilfenahme von klimatischen Ansätzen dienen. Die potentielle Gebietsverdunstung ET_P nach Haude liefert einen Wert von 449 mm/a. Der Ansatz nach RENGGER&WESSOLEK, der für dieses Gebiet an seinen Anwendungsbereich stößt, liefert für die tatsächliche Verdunstung ETa 755 mm/a. Verantwortlich für die Überschätzung der ETa dürften Faktoren wie hoher Jahresniederschlag, Einfluss der Schneedecke, Überbewertung der winterlichen Verdunstung sowie die Veränderung des Waldbestandes sein, die von dem Modell nicht ausreichend abgebildet werden. Aus anderen Untersuchungen stehen für den Markungsgraben weitere Modellierungen der Verdunstung zur Verfügung. So ergab die Berechnung der tatsächlichen Evapotranspiration ETa mit Hilfe des Modells BROOK90, das eine modifizierte Form des PENMAN-MONTEITH-Verfahrens verwendet, für den ungestörten Zeitraum 1989 bis 1996 einen Wert in Höhe von 570 mm/a (ZIMMERMANN et al. 2000), der sich gut mit der ermittelten Unterschiedshöhe deckt.

Für die mit der Chloridmethode berechnete Sickerwasserrate wurde die Messtiefe 150 cm verwendet, da keine Erhebungen aus 2 m vorlagen.

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 32: Langjähriger Wasserhaushalt im Messgebiet Bayerischer Wald, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Parameter	gesamter Zeitraum (1989 – 2002)		vor Bestandesstörung (1989 – 1996)	nach Bestandesstörung (1997 – 2002)
	[mm]	[l/s*km ²]	[mm]	[mm]
h_{NG}	1748	55,4	1684	1832
h _N	1584	50,2	1535	1649
h _B	1313	41,6	1201	1463
h _I	271	8,6	334	186
h_A	1263	40,0	1087	1498
ET _P (Haude)	449	14,2	447	453
ET _a (Renger&Wessolek)	755	23,9	739	777
h_{NG} – h_A	485	15,4	597	334
h _{NG} – ET _a	865	27,4	945	1055
Sw ₁₅₀ (Chloridmethode)	909	28,8	756	1112
h _{NG} – ET _a – h _A	-270	- 8,6	-142	-443

Für den ungestörten Zeitraum wird ein Wert von 756 mm/a ermittelt, der verrechnet mit dem Niederschlag h_N eine Abschätzung der Verdunstungshöhe auf Bestandesebene von 928 mm/a ergibt. Nach Verlust des Altbestandes steigt die Sickerwasserrate auf Grund der verringerten Evapotranspiration auf 1112 mm/a an.

Das Abflußregime am Pegel Racheldiensthütte ist von Maxima während der Schneeschmelze und schnellen Reaktionen auf sommerliche Niederschläge geprägt. Zur Beschreibung der Abflussverhältnisse können die gewässerkundlichen Hauptwerte in Tab. 33 herangezogen werden. Der mittlere Abfluss beträgt 46 l/s, das entspricht einer Abflussspende von 40,0 l/s*km². Das sind 10 l/s*km² mehr als für das Einzugsgebiet der Großen Ohe angegeben werden kann, was die deutlich höhere Abflussbildung in den Hanglagen (größere Niederschläge, geringere Verdunstung) dokumentiert. Das angegebene HHQ von 1980 l/s ist auf Grund des provisorisch ausgebauten Gerinnes nur eine Annäherung an die Realität.

Tab. 33: Gewässerkundliche Hauptwerte für den Markungsgraben, Pegel Racheldiensthütte (hydrol. Jahre 89 - 2002)

	Hauptwert [l/s]	Datum
NNQ	8	9.3.1996
MNQ	12	
MQ	46	
MHQ	932	
HHQ	1980	12.08.2002

Hier kann eine Abflussbestimmung durch Markierungsversuche bei Hochwasser die Abflusskurve noch verbessern. Der Abfluss ist stark saisonal geprägt mit deutlichem Einfluss der Schneeschmelze, die überwiegend in den April fällt (MQ: 94 l/s). Der August ist der Monat mit den geringsten Abflüssen (MQ: 28 l/s).

5.2.2.5 Stoffhaushalt

Der Stoffhaushalt des Wassereinzugsgebietes wird durch den Stoffeintrag mit dem Freilandniederschlag, den Stoffeintrag unter Wald mit der Kronentraufe sowie den Stoffaustrag mit dem Abfluss beschrieben. Mit der Gesamtdosition, die die Wechselwirkungen im Kronenraum berücksichtigt (Leachingprozesse, Nährstoffaufnahme, Ionenaustausch) wird für den untersuchten Waldbestand der tatsächliche Stoffeintrag abgeschätzt. Der Stoffaustrag am Abflusspegel wird über Konzentrations-Abfluss-Beziehungen berechnet. Die Anpassungen erfolgten getrennt für die Zeiträume 1989 - 1996 (ungestörter Zeitraum) und 1997 – 2002 (Bestandesstörung), da die Stoffdynamik sich deutlich veränderte (s. Tab. 17).

Tab. 34: Stoffhaushalt im Messgebiet Bayerischer Wald, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben [kg/ha*a], Mittelwerte 1989 – 2002, kursive Einträge Mindestschätzung, da häufig Werte < NWG

Parameter	Freiland-deposition	Bestandes-deposition	Gesamt-deposition*	Austrag	Bilanz
Protonen	0,49	0,83	1,16	0,27	0,89
o-Phosphat-P	<i>0,026</i>	0,144	0,144	0,009	0,135
Chlorid	<i>3,0</i>	8,4	8,4	9,7	-1,3
Sulfat-Schwefel	8,81	17,0	17,0	16,2	0,8
Nitrat-N	7,1	8,9	(12,3)	26,9	-14,6
Ammonium-N	8,6	7,2	(15,0)	0,32	14,7
Norg **	0,95	2,37	-	-	-
Calcium	3,3	10,4	5,6	27,6	-22,0
Magnesium	<i>0,4</i>	2,0	0,6	6,3	-5,7
Natrium	3,5	5,9	6,0	16,7	-10,7
Kalium	1,8	18,3	3,4	8,0	-4,6
Aluminium	0,19			6,45	-6,26

* berechnet nach ULRICH (1991) ** 1995-2002

In Tab. 34 sind die Mittelwerte für den gesamten Beobachtungszeitraum aufgeführt. Die Chloridbilanz ist ausgeglichen, so dass von einer guten Erfassung der Stoffflüsse ausgegangen werden kann. Dies gilt insbesondere unter dem Aspekt des niedrigen Konzentrationsniveaus von Chlorid in allen untersuchten Wässern. Im Mittel wird 75 % des Protoneneintrags im Gebiet abgepuffert. Für Schwefel und Stickstoff ist die langjährige Bilanz ausgeglichen, für die Alkali- und Erdalkalimetalle ist eine Freisetzung im Gebiet zu beobachten. Stickstoff unterliegt einer Aufnahme im Kronenraum, vor allem von Ammonium-Stickstoff. Während der Stickstoffeintrag zu mehr als 50 % als Ammonium erfolgt, findet sich nach der Bodenpassage im Bachwasser nur mehr Nitrat-Stickstoff. Die Basen-Kationen gehen überwiegend im Grundwasseraquifer in Lösung, da die Austauscherbelegungen in den Böden so gering sind, dass dort nur wenig freigesetzt werden kann. Die hohen Aluminiumausträge sind die Folge der starken Bodenversauerung. Aluminium stammt zu einem wesentlich höheren Anteil von den Austauscherplätzen der Böden als die Basen-Kationen (s. Tab. 37).

Ergebnisse der Messgebiete

Die mittleren Austräge geben nicht die z.T. extreme Dynamik der Stoffausträge durch die Phase der Bestandesstörung wider. So lag der mittlere Stickstoffaustrag bis 1996 bei 16,5 kg/ha*a und stieg in den 4 Jahren danach auf knapp 50 kg/ha*a an. Mit Nitrat wurden entsprechende Mengen an Basen-Kationen ausgetragen. Für Schwefel konnte nach deutlicher Reduktion der atmosphärischen Deposition um ca. 70 % während des Untersuchungszeitraumes (von 30 kg/ha*a auf 1989 auf 7,5 kg/ha*a 2002) der Übergang von der Schwefelspeicherung zur Schwefelfreisetzung im Gebiet beobachtet werden. Der Austrag von Sulfat-Schwefel schwankte zwischen 12 und 27 kg/ha*a.

5.2.2.6 Organische Stoffe aus der Atmosphäre

Die Belastung mit chemisch- organischen Stoffen war im Messgebiet im Untersuchungszeitraum gering. Sowohl für PBSM lagen die meisten Werte unterhalb der Nachweisgrenze. Dieser Befund hängt sicher mit der emittententfernen Lage der Messstelle innerhalb des größten zusammenhängenden Waldgebietes in Bayern zusammen.

5.2.2.7 Grundwasserverhältnisse

Das Grundwasser im Wassereinzugsgebiet Markungsgraben ist mineralarm, nach FUR-TAK&LANGGUTH (1967) als „normal erdalkalisch, überwiegend sulfatisch“ einzustufen. Es dominieren die Kationen Natrium und Calcium mit 72 % der Kationensumme (Abb. 34). Sulfat und Nitrat sind mit ebenfalls 66 % die Hauptanionen, Hydrogencarbonat macht nur 10 % der Anionen aus. Der mittlere pH-Wert des sauren Wassers beträgt 5,4 bei einer Leitfähigkeit von nur 30 µS/cm. Entsprechend gering ist die Härte mit 1 ° dH, womit das Grundwasser dem Härtebereich 1 nach Waschmittelgesetz zuzuordnen ist.

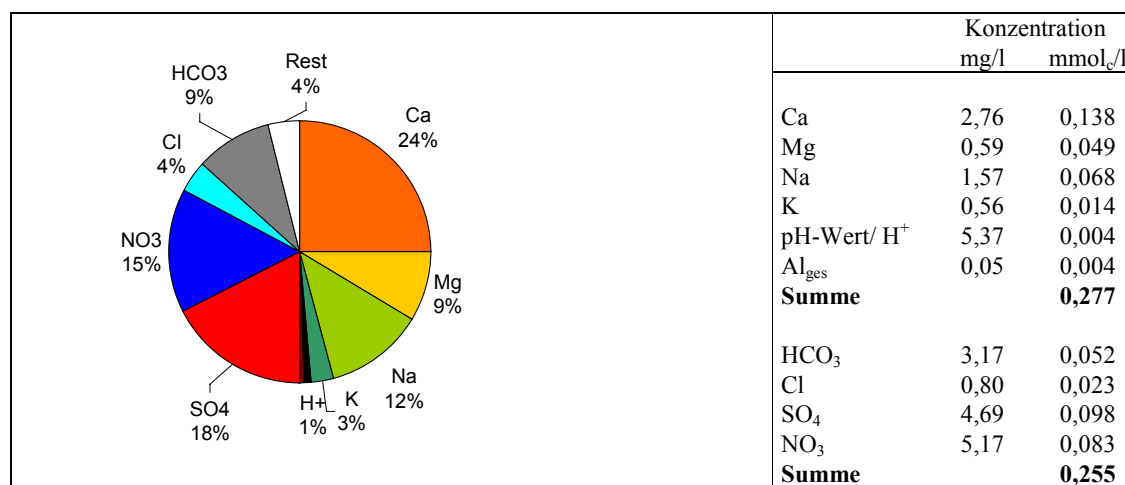


Abb. 34 Mittlere Grundwasserbeschaffenheit (1987-2002), Messstelle Gw01, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Nach dem 6 MoMNQ-Verfahren (KÖPF und ROTHASCHER 1980) erhält man für den Pegel Markungsgraben und die Messreihe von 1988 – 2002 eine Grundwasserneubildung von 469 mm/a. BEUDERT et al. (1997) geben für das benachbarte Einzugsgebiet Forellenbach einen mittleren grundwasserbürtigen Abfluss von 500 mm/a an. Verantwortlich für die hohe Grundwasserneubildung im Vergleich mit regionalen Werten sind in erster Linie die hohen Niederschläge.

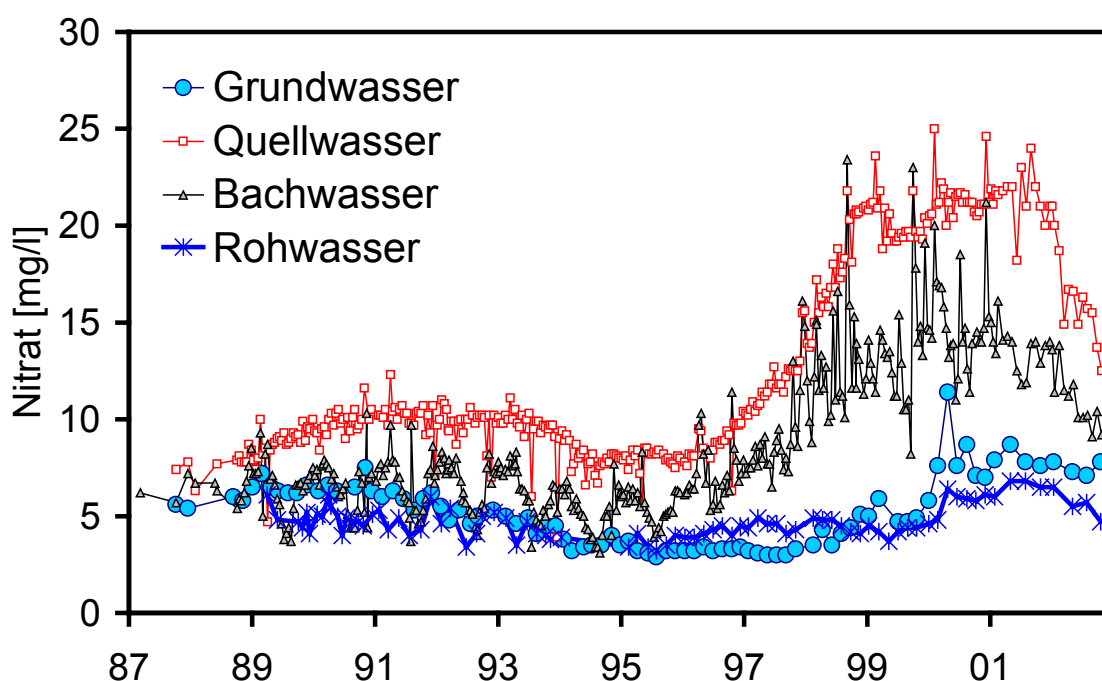


Abb. 35 Ganglinien der Nitratkonzentrationen im Bach- und Grundwasser, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Der zeitliche Verlauf der Nitratkonzentrationen an den untersuchten Bach- und Grundwassermessstellen ist nach 1996 vom flächenhaften Absterben der Fichtenbestände überprägt (Abb. 35). Die Maximalwerte überschritten selbst im Wasser der flachgründigen bzgl. des Schadeinflusses stark exponierten Quelle kaum 25 mg/l. Ende 2001 geht das Ausmaß der nitratbildenden Prozesse deutlich zurück.

Neben dem Kluftgrundwasser der Zersatzdecken sind vor allem die Porengrundwasserleiter der Fließerden, lokal auch Moränenmaterial, maßgeblich an Speicherung und Umsatz des Grundwassers beteiligt. Der Grundwasserstand zeichnet sich durch eine ausgeprägte saisonale Dynamik aus, wobei die hohen Amplituden von 8 bis 10 m auf das geringe Speichervolumen des Grundwasserraumes hinweisen (Abb. 36). Mit dem Verfahren von UDLUFT & BLASY (1975), welches den Auslaufkoeffizienten des Basisabflusses und die mittleren Grundwasserstände verwendet, ergibt sich ein effektives Porenvolumen von 4 % für den Bereich der oberen Hanglage.

Ergebnisse der Messgebiete

HAAG (1997) bestimmte mit Hilfe einer hydrochemischen Mischungsrechnung verschiedener Abflusskomponenten (EMMA: end member mixing analysis) den Anteil von Grundwasser am Abfluss auf 30 % (ca. 330 mm/a), wobei bei Hochwässern der Grundwasseranteil auf unter 10 % fallen kann.

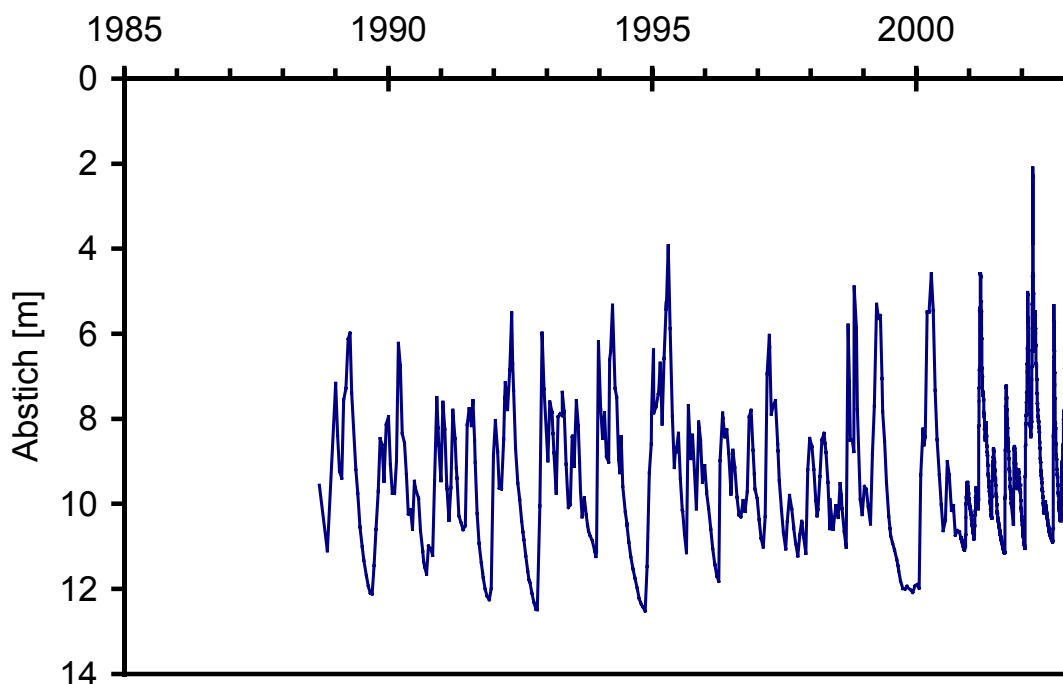


Abb. 36 Ganglinie des Grundwasserstandes, Messstelle Gw01, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

5.2.2.8 Wasserversorgung

Im Wassereinzugsgebiet Markungsgraben liegt keine Einrichtung für die Trinkwassergewinnung, so dass eine ca. 4 km südöstliche gelegene für die Region typische Quellwasserversorgung außerhalb des Einzugsgebietes für die Beobachtung ausgewählt wurde. Einige Standortbedingungen wie z.B. Geologie, Landnutzung oder auch die Höhenlage sind vergleichbar mit denen am Markungsgraben. In der kleinen Anlage werden 2 Quellen genutzt, deren Schüttung sich im Mittel zwischen 1 und 1,5 l/s bewegt. Die Entnahmemenge beträgt ca. die Hälfte davon. Die nötige Aufbereitung erfolgt mit grobem Jurakalk. Im Einzugsgebiet der Quellen trat bis 2002 in geringem Masse Borkenkäferbefall auf, der bekämpft wurde, da die Örtlichkeit in der Waldschutzzone liegt, wo die Ausbreitung des Käfers aktiv unterbunden wird.

5.2.3 Intensivmessfläche Markungsgraben

5.2.3.1 Lage

Als Intensivmessfläche für das Wassereinzugsgebiet Markungsgraben wurde ein nach Süden exponierter Fichtenaltbestand in oberer Hanglage in der Waldabteilung Wilde Rast gewählt (Messfläche 01 in LFW 1994a). Die Ausdehnung beträgt etwa 1000 m². Direkt nach Westen anschließend wurde 1997 die Bodendauerbeobachtungsfläche eingerichtet. Die Bezugsbäume für das alte Sickerwassermessfeld starben 1990 nach Borkenkäferbefall ab. Eine Beeinflussung der restlichen Messeinrichtungen (z.B. Depositionsmessung) war zunächst nicht gegeben. 1997 starb der gesamte Messbestand nach flächigem Borkenkäferbefall ab.

5.2.3.2 Waldbestockung

Eine Forstinventur der Messfläche fand 1988 in Zusammenhang mit einer Befliegung des gesamten Einzugsgebietes statt (Tab. 35).

Tab. 35: Forstinventurdaten der Intensivmessfläche im Wassereinzugsgebiet Markungsgraben, 1988

Parameter	Inventurdaten	Bemerkung
Alter	84	
Flächengröße [ha]	0,1046	
Zahl der Bäume / ha	Fichte: 315 (94 %) Buche: 19 (6 %)	(Kraftklassen 1 + 2)
Baumhöhe [m]	28,85	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Kronenlänge [m]	13,92	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Höhe d. Kronenansatzes [m]	14,93	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Brusthöhendurchmesser [m]	0,369	arith. Mittel d. Bäume der Kraftklassen 1 + 2
Kreisfläche [m ² /ha]	37,204	Mittel aller Bäumen nach BITTERLICH (1952)
Vorrat [Efm.o.R./ha]	412,09	Berechnung nach KRENN (1950) in Erntefestmeter ohne Rinde

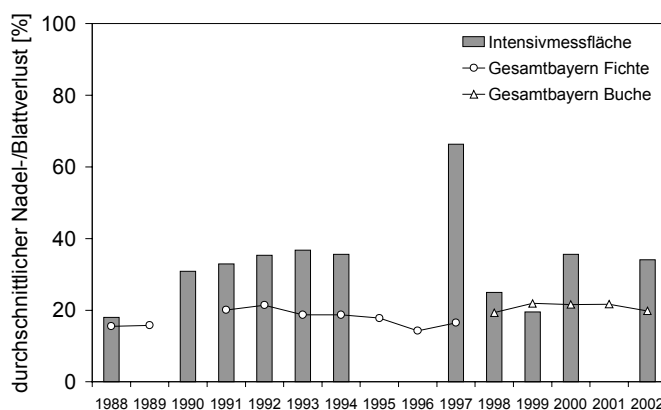


Abb. 37 Mittlere Entnadelungsprozente (bis 1997 Fichten, ab 1998 Buchen) im Vgl. mit bayernweiten Daten aus dem Waldzustandsbericht (LWF 2002), Intensivmessfläche Markungsgraben

Darüber hinaus liegen Messreihen der jährlichen terrestrischen Waldzustanderhebung vor. Der Bayerische Wald war und ist ein Schwerpunkt der Neuartigen Waldschäden. Entsprechend lagen die Entnadelungsprozente auf der Intensivmessfläche meist 10-20 % über dem bayernweiten Mittelwert (Abb. 37, LWF 2002). Das Maximum von 63 % wurde 1997 nach beginnendem Borkenkäferbefall ermittelt. Nach dem Absterben der Altfichten bestimmen

Ergebnisse der Messgebiete

die bislang im Unterstand stockenden Buchen den neu entstehenden Mischbestand. Da ihre Kronen noch nicht vollständig ausgebildet sind, weist die Kronenzustandsansprache im Vergleich zu Altbäumen relativ hohe Blattverlustprozente aus. Die Veränderungen der Bestandesstruktur haben wesentliche Auswirkungen auf die Prozesse des Wasser- und Stoffhaushaltes.

5.2.3.3 Profilbeschreibung

Die Intensivmessfläche erfasst charakteristische Blockmosaikböden im westlichen Randbereich des Markungsgraben-Einschnittes, unterhalb einer felsbetonten Hangversteilung. Aus dem glazialen und periglazialen Decksediment der Gneise und Granite ist ein stark sandiger Lehmboden hervorgegangen (Abb. 38). Bodentyp ist eine für die Höhenlage charakteristische Lockerbraunerde. Die Humusform ist Moder. Hohe Lagerungsdichten ab 65 cm Tiefe zeigen den verfestigten Grundschant an, der bei starkem Sickerwasserandrang stauend wirken kann. Die Messfläche liegt im Randbereich des vermuteten würmzeitlichen Lokalglitchers, der zeitweilig im Bereich des heutigen Markungsgrabens bis wenig unterhalb der Racheldiensthütte Bestand hatte. Daher wird bis in 16 m Tiefe eine Wechselfolge von grundmoränenartigen und periglazialen Schichten, möglicherweise auch authochtoner Gneiszersatz angetroffen. Der Beginn des unverwitterten Felses wird wenig unterhalb der Bohrtiefe vermutet.



Abb. 38 Bodenprofil der Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben, 1997

5.2.3.4 Bodenfestphase

Die pH-Werte nehmen vom Auflagehumus zum Ah-Horizont stark ab. In Salzlösung wird hier ein Wert von 2,5 erreicht. Durchgängige Werte unter 5,0 (pH H₂O) zeigen die tiefgründige Versauerung des erschlossenen Bodenprofils an (Tab. 36). Die C/N-Verhältnisse schwanken bis in

110 cm Tiefe zwischen 19 und 27, ein Bereich der als kritisch für die verstärkte Mobilisierung von Stickstoff angesehen wird (SPANGENBERG 2002). Im Übergang zu den Cv-Horizonten ist gesteinsbedingt mobilisierbarer Phosphor angereichert.

Tab. 36: Kenndaten für pH, C, P und N, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben, 1997

Bodentyp: Lockerbraunerde, Humusform: Moder											
Horiz.	Tiefe [cm]	Textur	Skelett [Gew.%]	dB _F [g/cm ³]	C [%]	N [%]	C/N	P _{citrat} [mg/kg]	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (CaCl ₂)
OLF	4-0,5	-	20	0,07	52,39	1,94	27	227	4,20	3,24	3,41
OH	0,5-0	-	1	0,24	49,77	2,04	24	121	3,31	2,52	2,75
Ah	0-6	Ls3	8	0,49	17,36	0,76	23	53	3,09	2,51	2,70
Bhv	6-12	Ls4	6	0,77	6,28	0,33	19	35	3,30	2,78	2,96
Bv1	12-37	Ls4	35	0,71	4,35	0,19	23	12	3,97	3,67	3,73
Bv2	37-49	Sl4	33	0,54	3,74	0,16	23	48	4,28	4,03	4,10
BvCv	49-65	Sl4	43	0,77	1,77	0,09	20	112	4,27	3,99	4,18
IICv1	65-110	Sl3	41	1,11	0,72	0,03	24	130	4,55	4,24	4,39
Cv2	110-150	Sl3	-	-	0,30	0,03	10	95	4,71	4,32	4,37

Die effektive Kationen-Austauscherkapazität erreicht im Auflagehumus 100 bis 250 mmol_c/kg und fällt im Mineralboden bis 34 mmol_c/kg ab (Tab. 37). Den niedrigen pH-Werten entsprechend sind die Austauscherplätze im Mineralboden überwiegend von sauren Kationen (Aluminium, Mangan, Eisen, Wasserstoff) belegt. Im B-Horizont und tiefer bleiben die Basensättigungen unter 10 %, auch noch im Bereich 110-150 cm, wo die Calcium- und Magnesiumanteile leicht ansteigen.

Tab. 37: Austauschbare Kationen, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben, 1997

Bodentyp		Lockerbraunerde									Humusform: Moder	
Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e [%]									AK _e [mmol _c /kg]	BS [%]	
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn				
OLF	62,0	10,6	6,9	0,2	2,5	6,2	0,3	11,4		242,9	79,6	
OH	48,2	6,2	3,8	0,0	11,9	23,1	2,3	4,4		134,1	58,3	
Ah	15,7	4,2	3,2	0,1	39,2	21,0	15,0	1,5		113,0	23,2	
Bhv	3,7	2,2	1,6	0,0	61,9	12,9	17,0	0,8		98,3	7,5	
Bv1	1,5	1,2	1,1	0,0	88,1	2,3	4,4	1,2		67,3	3,9	
Bv2	1,5	1,0	0,8	0,0	93,1	1,4	1,8	0,4		47,8	3,3	
BvCv	1,3	0,5	0,8	0,0	95,7	1,2	0,4	0,0		33,6	2,7	
II Cv1	1,7	0,7	1,6	0,0	94,8	1,2	0,0	0,0		22,9	4,0	
Cv2	3,5	2,1	2,4	0,3	89,1	0,8	0,4	1,3		16,6	8,4	

Die im Königswasseraufschluss ermittelten Gesamtvorräte weisen entsprechend dem Ausgangssubstrat eine Dominanz von Aluminium und Eisen auf. Die Vorräte an Stickstoff sind mit über 6000 kg/ha bis zum Bv1-Horizont hoch und summieren sich über das untersuchte Profil auf 8400 kg/ha auf. Die Schwefelvorräte betragen 1335 kg/ha, weitere Vorräte unterhalb des untersuchten

Ergebnisse der Messgebiete

Bereiches sind wahrscheinlich. Ihre mobilisierbaren Anteile bilden ein anhaltendes Belastungspotential hinsichtlich der Versauerung des Sickerwassers.

Tab. 38: Gesamtvorräte [kg/ha], Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben, 1997

Bodentyp Horizont	Lockerbraunerde		Humusform: Moder							
	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	N	P	S
OLF	92	8	22	1	23	20	18	386	21	31
OH	35	5	9	1	35	41	1	246	12	25
Ah	199	280	450	32	2990	4089	48	2047	191	237
Bhv	122	717	769	61	6401	10041	100	1433	239	187
Bv1	324	3327	3420	254	27972	38278	381	2195	497	335
Bv2	314	2532	1751	79	14988	14376	157	699	319	114
BvCv	908	5970	4140	155	27825	21439	310	634	577	113
II Cv1	4665	26228	18541	616	104912	87133	1467	733	2552	293
Cv2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	6659	39068	29102	1199	185145	175417	2486	8373	4408	1335

Veränderungen der Basensättigung gegenüber 1988 sind nicht sicher nachweisbar, da 1997 eine differenziertere Horizontfolge auf der neu angelegten Bodendauerbeobachtungsfläche erfasst wurde (Abb.39). Für die vergleichbaren Bodenschichten nahm die Basensättigung im Ah-Horizont signifikant zu (5%-Niveau) und im Bv-Horizont mit gleicher Signifikanz ab.

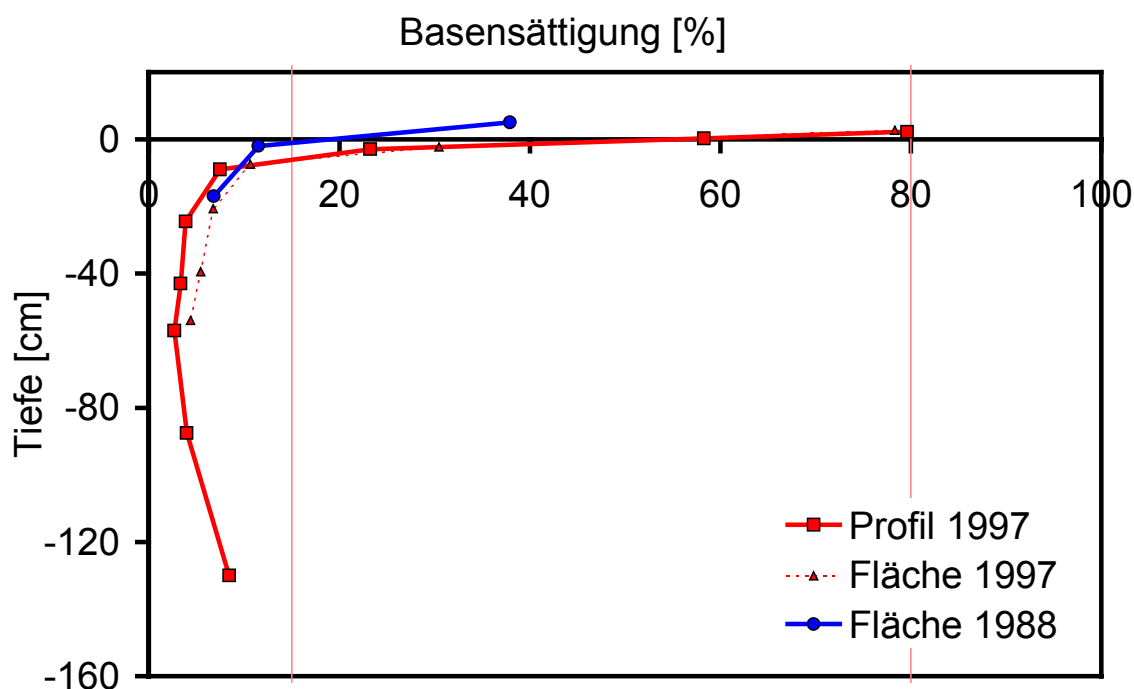


Abb. 39 Profile der Basensättigung, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Die für eine Bodentiefe von 30 cm berechneten Stickstoffvorräte betragen für 1988 6360 kg/ha und für 1997 5692 kg N/ha. Unter Berücksichtigung von methodischen Unsicherheiten deutet sich damit ein Rückgang der Vorräte an.

Tab. 39: Bodenphysikalische Kenndaten, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Horizont	Tiefe [cm]	Struktur			Hydrologische Parameter			
		Trocken- substanz	Lagerungs- dichte	Gesamt- porenvol.	Luft- kapazität	Feld- kapazität	nutzbare Feldkap.	k_f -Wert
		[Vol.%]	[g/cm ³]	[Vol.%]	[Vol.%]	[Vol.%]	[Vol.%]	[cm/s]
Aeh	0-6	20,4	0,53	79,6	35,7	43,9	25,4	-
Bv	6-18	-	-	-	-	-	-	-
IIBv	18-50	32,7	0,87	67,3	30,8	36,6	11,9	-
IIBvCv	50-120	53,1	1,41	46,9	25,4	21,5	10,4	-
C*	300	-	-	-	-	-	-	5,66*10 ⁻³

* Proben aus Aufschluss außerhalb des Untersuchungsgebietes

Das lehmige Substrat des untersuchten Bodenprofils zeichnet sich durch hohe Luftkapazitäten und Gesamtporenvolumen im A- und B-Horizont aus (Tab. 39). Ursache ist die starke Durchwurzelung, die lockere Lagerung der Gehalt an organischer Substanz. Unter Berücksichtigung des Skelettgehalts ergibt sich für den A- und B-Horizont der Intensivmessfläche eine nutzbare Feldkapazität von 60 mm. Auch die tieferen, lehmбетonten Horizonte enthalten wasserspeichernde Porenanteile, die gegebenenfalls zu berücksichtigen sind.

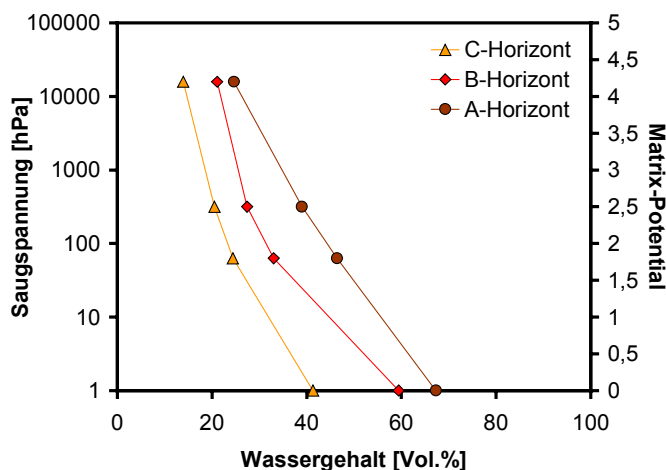


Abb. 40 pF-WG-Beziehung, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Die pF-WG-Beziehungen spiegeln für alle Bodenhorizonte das hohe Wasseraufnahmevermögen des Großporenanteils wieder (Abb. 40). Dagegen beträgt das pflanzenverfügbare Wasserspeichervermögen im B- und C-Horizont kaum mehr als 10 Volumenprozent. Für den Gneiszersatz des tieferen Untergrunds wurde an Hand vergleichbaren Aufschlussmaterials eine gesättigte Durchlässigkeit (k_f) von $5,66 \cdot 10^{-3}$ cm/s ermittelt.

Ergebnisse der Messgebiete

5.2.3.5 Bodenlösungsphase (Sickerwasser)

Die tiefgründig versauerten Böden prägen die Beschaffenheit des Sickerwassers, das über das gesamte Messprofil pH-Werte um 4,5 aufweist (Tab. 40).

Tab. 40: Beschaffenheit des Sickerwassers, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben (Mittelwerte 1989 – 2002)

Tiefe [cm]	LF [$\mu\text{S/cm}$]	pH-Wert	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	Al _{tot} [mg/l]
50	54	4,49	0,98	7,23	13,49	1,70	0,65	0,55	0,72	0,012	2,24
100	53	4,50	1,00	9,83	10,47	1,24	0,47	0,55	0,86	0,005	2,48
150	59	4,47	1,05	8,70	15,11	1,38	0,57	0,69	0,93	0,007	2,61

Ende der 80er Jahre wurden minimale pH-Werte von 3,6, nach 2000 noch vereinzelt Werte um 4,0 gemessen. Entsprechend der Austauscherbelegung findet man Aluminiumkonzentrationen von mehreren mg/l. Bei zeitweiliger Überschussnitrifikation in Folge absterbenden Baumbestandes können über 9 mg/l erreicht werden. Der Sulfatgehalt erreicht 7-10 mg/l mit Maximum in 100 cm Tiefe. Eine Freisetzung von Säure bildendem Schwefel im oberen Mineralboden kann angenommen werden. Die Alkalinität (nach REUSS und JOHNSON 1986) als Maß für den Säure/Base-Status des Sickerwassers liegt mit -200 bis $-300 \mu\text{mol/l}$ im stark versauerten Bereich.

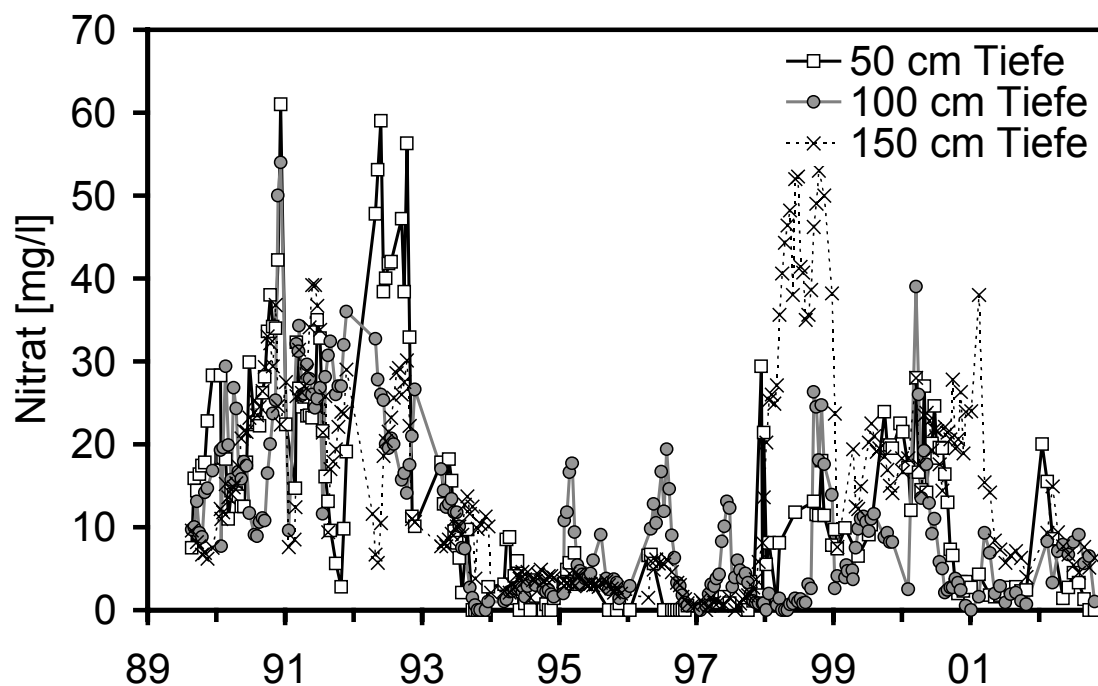


Abb. 41 Nitratkonzentration im Sickerwasser auf der Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben (Bestandesstörungen durch Borkenkäferbefall 1990 und 1997)

Massive Bestandesstörungen auf der Intensivmessfläche beeinflussten den Stickstoffhaushalt erheblich (MORITZ & BITTERSÖHL 2000, ZIMMERMANN et al. 1999). Sowohl das Absterben der lokalen Bezugsbäume im Jahr 1990 als auch der Verlust des gesamten Bestandes 1997 führten zum Anstieg der Nitratkonzentrationen im Sickerraum bis maximal 60 mg/l (Abb. 41). Je nach Position der absterbenden Bestandteile konnten am Messstandort eine vertikale Sickerkomponente und ein hangparalleler Sickerwasserzufluss als Belastungsursache nachgewiesen werden. Bis 1997 betrug der jährliche Austrag von Nitrat-Stickstoff (1,5 m Tiefe) 18 kg/ha. Er verdoppelte sich im Zeitraum 1998- 2001 schadensbedingt auf 38 kg/ha*a. Im Gesamtzeitraum 1989-2002 steht einem atmosphärischen Stickstoffeintrag von 355 kg/ha ein ähnlich hoher Austrag mit dem Sickerwasser (1,5 m Tiefe) von 349 kg/ha gegenüber. Die Auswirkungen der Schadereignisse beschränkten sich auf 4 bis 5 Jahre.

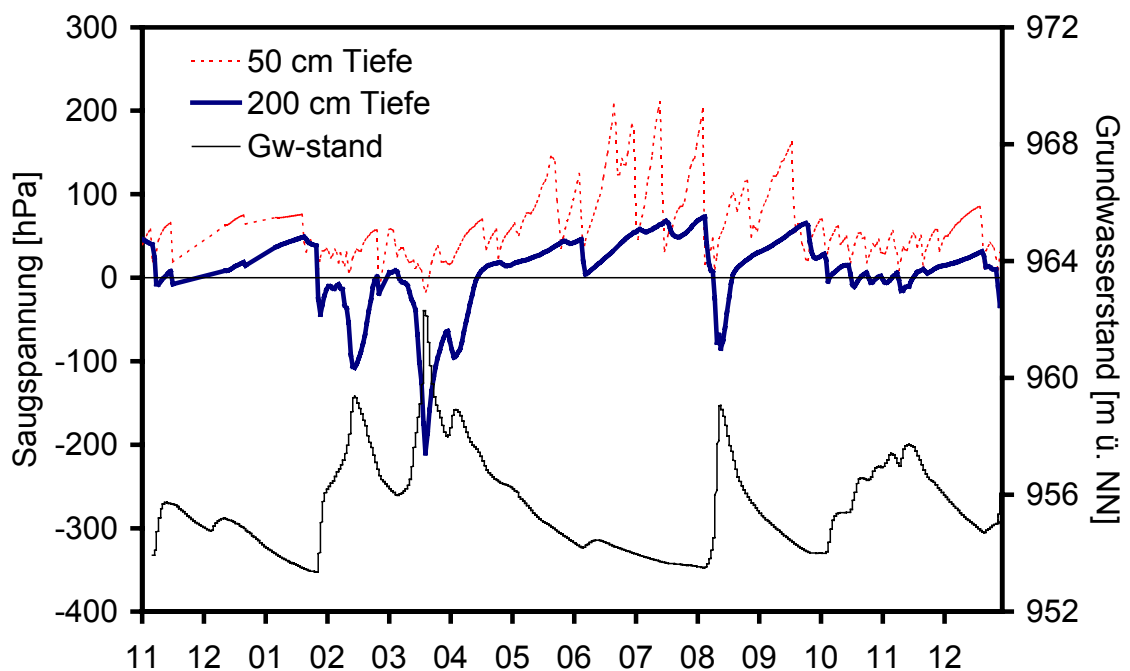


Abb. 42 Bodensaugspannungen [hPa] in 50 und 200 cm Tiefe und Grundwasserstände vom 1.11.2001 bis 31.12.2002 auf der Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben

Im Wasserhaushaltsjahr 2002 ist die Bodenfeuchte in 50 cm Tiefe durch häufige und intensive Niederschläge geprägt, wodurch die Saugspannung Werte von 200 hPa kaum überschreitet (Abb. 42). Durchgängig steht pflanzenverfügbares Wasser in voller Höhe zur Verfügung bei gleichzeitig häufigem Sickerwasserfluss in die Tiefe. Kurzzeitige Sättigungserscheinungen (negative Saugspannungen) sind auf die Stauwirkung des verfestigten Grundschatts zurück zu führen. Wesentlich ausgeprägter ist die Bildung von Stauwasser in 200 cm Tiefe. Die Sättigungsphasen infolge mehrerer Schneeschmelzen und intensiver Niederschläge umfassen mehrere Monate. Im

Ergebnisse der Messgebiete

März kam es während der Schneeschmelze kurzfristig zur Wassersättigung der Böden bis zur Geländeoberkante. In 2 m Tiefe wurde eine Saugspannung von -200 hPa entsprechend einer Wassersäule von 2 m gemessen. Die Folge ist ein für das Gebiet typischer hoher Direktabfluss aber auch eine kräftige Grundwasserneubildung. Das überregional bedeutsame Niederschlagsereignis Anfang August 2002 bewirkte ebenfalls einen steilen Anstieg der Grundwasserstände. Ein Großteil des Wassers wurde allerdings bei tiefreichender Bodensättigung hangparallel in die Bäche verlagert und führte zum Hochwasser bildenden Abfluss (LFW 2003).

5.3 Messgebiet Fichtelgebirge

5.3.1 Regionale Gegebenheiten

Die Region Fichtelgebirge wird vom kristallinen Festgestein und seinen Überdeckungen geprägt. Pufferschwache Böden in Verbindung mit den landesweit höchsten Säureeinträgen führten vor allem in den Waldgebieten zu einer ausgeprägten Versauerung der Fließgewässer und des oberflächennahen Grundwassers und seiner Quellen. Ein besonderer regionaler Schwerpunkt der Untersuchung ist daher die weitere Entwicklung der Grundwasserversauerung und der Trinkwassergefährdung unter dem Einfluss zurückgehender Säureimmissionen und nachwirkender Bodenprozesse. Generell wird die Abflussbildung von schnellen Wasser- und Stoffumsätzen einschließlich der Schneedeckendynamik bestimmt. Hierzu werden langfristige regionaltypische Charakteristiken und Trends erhoben.

5.3.1.1 Landschaft, Klima und Geologie

Das Fichtelgebirge verbindet als Zentrum der Mitteldeutschen Gebirgsschwelle die Mittelgebirgskomplexe Thüringer Wald, Frankenwald, Oberpfälzer Wald, Bayerischer Wald und Böhmischer Wald mit dem Erzgebirge. Die Höhenzüge des Fichtelgebirges besitzen eine charakteristische, nach Osten offene Hufeisenform. Im Norden befindet sich das Waldsteinmassiv mit 877 m Gipfelhöhe. Der zentrale Teil, das Hohe Fichtelgebirge, umschließt die höchsten Erhebungen Schneeberg (1051 m ü. NN) und Ochsenkopf (1024 m ü. NN), den Südteil bilden Stein- und Kohlwald. Dazwischen erstreckt sich nach Osten die Selb-Wunsiedler-Hochfläche. Als Teil der mitteleuropäische Hauptwasserscheide ist das Fichtelgebirge Quellgebiet für den Rhein (Main), die Elbe (Saale, Eger) und die Donau (Fichtelnaab).

Dominierende Baumart der bewaldeten Hochlagen ist die Fichte, zum Teil in Folge großflächiger Aufforstungen im 19. und 20. Jahrhundert. Infolge ihrer exponierten Lage in Nähe des „Schwarzen Dreiecks“ sind die Wälder des Fichtelgebirges zum Teil sehr stark durch Luftverschmutzung geschädigt, bis hin zur flächigen Auflösung von Beständen. Dies hat direkte (Wasserhaushalt) und indirekte (Waldumbau, Waldkalkung) Folgen für die Wasser- und Stoffumsätze und den örtlichen Gewässerschutz.

Das Fichtelgebirge befindet sich unmittelbar an der Nahtstelle zwischen dem maritimen Westen und dem kontinental beeinflussten Wettergeschehen östlich des Fichtelgebirges. Das Klima ist humid kontinental mit kurzen kühlen Sommern und langen kalten Wintern. Bezüglich des Niederschlags ist das hohe Fichtelgebirge mit dem Niederschlagsmaximum im Winter eher maritim geprägt und in der Regel kommt es im westlichen Teil zu deutlich höheren Niederschlägen als am Ostabhang. Im Mittel scheint die Sonne 1500-1700 h im Jahr. An bis zu 150 Tagen im Jahr ist der Boden schneebedeckt und ebenso oft tritt Frost auf. Die Jahresmitteltemperatur (1951 –1980) beträgt 6 – 8 °C (bei gleicher Höhenlage ist es im Nordosten Bayerns um ca. 1 °C im Jahresmittel kälter als im Süden Bayerns), die Jahresschwankung beträgt ca. 18 °C und das langjährige Mittel

Ergebnisse der Messgebiete

des Jahresniederschlags (1961-1990) 850 – 1299 mm. Davon gelangen 400 – 749 mm zum Abfluss (BAYFORKLIM 1996).

Das Grundgebirge des Fichtelgebirges wird von metamorphen Gneisen, Graniten und Tonschiefern des Paläozoikums aufgebaut. Infolge tiefgründiger Verwitterung sind die Granite bereichsweise bis über 30 m Tiefe vergrust, was ihre hydrogeologischen Eigenschaften erheblich verändert und zur Bildung lokal durchaus ergiebiger Grundwasservorkommen beiträgt. Die verwitterten und aufgelockerten Gesteine lieferten im Pleistozän das Material für zum Teil mächtige, in den Unterhängen und Mulden stark durchnässte, grusig-sandige Deckschichten. Die Böden sind im allgemeinen nährstoffarm und sauer.

5.3.1.2 Wasserversorgung

Die Wasserversorgung der Fichtelgebirgsgemeinden ist kleinräumig strukturiert, zunächst basierend auf den ortsnahen Vorkommen von Quellen in den wasserführenden Bereichen der Gesteine und quartären Deckschichten. Geringe Ergiebigkeit und starke Schüttungsschwankungen der Einzelquellen wurden zum Problem. Im Zuge steigenden Wasserbedarfs wurden weitere Quellen erschlossen und vielfach zu Gruppen zusammengefasst, bis hin zu größeren Verbänden. Der lokale Trinkwasserschutz stellt hier besondere Anforderungen: Soweit möglich wurden durch das Abteufen von Tiefbrunnen im klüftigen Festgestein und in Verwitterungszonen weitere Trinkwassergewinnungen erschlossen. Die Ergiebigkeit ist dabei aber in der Regel sehr begrenzt. Eine Ausnahme bildet der Wunsiedler Marmorzug, der zwar stellenweise recht ergiebig, aber nur eingeschränkt schützbar ist.

Das Rohwasser ist meist natürlicherweise sauer. Es muss dann entsäuert werden, um die für Trinkwasser geforderte Qualität zu erhalten, i.d.R. durch Filtration über granulierten Jurakalk. Bereichsweise haben sich die aufbereitungstechnischen Anforderungen durch die zusätzliche anthropogene Versauerung erheblich verstärkt (LFW 1997). So ist an durchlässigen Standorten mit geringer Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung noch auf längere Zeit mit massiven Versauerungsschüben im Quellwasser bzw. im oberflächennahen Grundwasser zu rechnen. Betroffene Wasserversorgungen erhalten zumindest zeitweise ein Rohwasser, dessen pH-Werte unter und Aluminiumkonzentration über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (pH 6,5 bzw. Aluminium 0,2 mg/l) liegen.

5.3.1.3 Umweltmessprogramme

Das Fichtelgebirge war bereits in den Tagen der Waldschadensforschung ein Schwerpunkt der interdisziplinären Forschung. Ende der 80er Jahre wurde mit dem Bayreuther Institut für terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK) ein neues Zentrum für Grundlagenfragen des Wasser- und Stoffhaushalts in Waldökosystemen eingerichtet. Das Wassereinzugsgebiet Lehstenbach mit seinen seit 1986 erhobenen Daten bot sich als Haupt-Messstandort für das neue Institut an. Seit dieser Zeit besteht ein intensiver Kontakt zwischen BITÖK und der Wasserwirtschaftsverwaltung.

Im Intensiv-Messgebiet Lehstenbach werden so in idealer Weise die prozessorientierten und breitgefächerten universitären Untersuchungen mit den langfristig angelegten Erhebungen des gewässerkundlichen Dienstes verknüpft.

Mit folgenden Behörden und Facheinrichtungen bestehen Kooperationen bzw. Vereinbarungen zur gegenseitigen Nutzung von Informationen, Messflächen und/oder Messeinrichtungen:

- Landesanstalt für Wald – und Forstwirtschaft, Waldklimastation Goldkronach, 3 Bodendauerbeobachtungsflächen
- Landesanstalt für Landwirtschaft, 2 Bodendauerbeobachtungsflächen
- Landesamt für Umweltschutz, Dauerbeobachtungsstation des Immissionsökologischen Messnetzes (2002 nach Kulmbach verlegt)
- Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Bodenökologie, Lehrstuhl für Biogeografie
- Bayreuther Institut für terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK)
 - Untersuchungsgebiet Wassereinzugsgebiet Lehstenbach
 - Nationale und internationale Projekte zu Fragen der Hydrogeologie, Klimatologie, Bodenphysik und Bodenökologie
 - Regionale Untersuchungen, Projekte zu Fragen der Hydrogeologie, des Landschaftswasserhaushalts und des Stoffumsatzes in Fichtelgebirgsregionen, u.a. Nitrataustrag Quellen, Landnutzung und Gewässerschutz im Weißenstädter Becken
- Wasserversorgungsunternehmen
Stadtwerke Stadt Weißenstadt

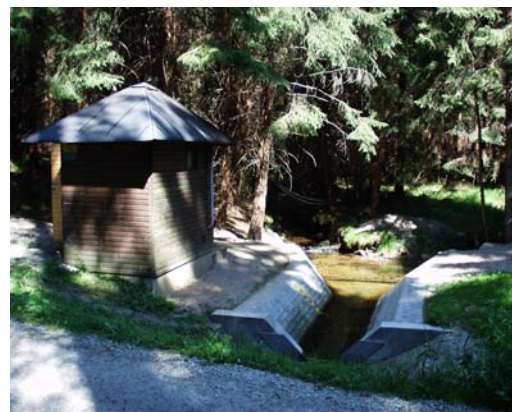


Abb. 43 Pegel Zigeunermühle am Lehstenbach

5.3.2 Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Das Wassereinzugsgebiet Lehstenbach ist eines der Intensivmessgebiete, das seit 1986 zur integrierenden gewässerkundlichen Beobachtung und fachübergreifenden Nutzung von Daten und Einrichtungen betrieben wird. Damit lassen sich fundierte hydrologische Charakteristiken und Entwicklungen darstellen.

Ergebnisse der Messgebiete

5.3.2.1 Lage und Ausstattung

Das Wassereinzugsgebiet Lehstenbach liegt ca. 30 km nordöstlich von Bayreuth im Waldsteinzug des nördlichen Fichtelgebirgsbogens. Es umfasst 4,2 km² im Staatswaldgebiet des Forstamtes Weißenstadt und gehört mit 694 – 877 m ü. NN topographisch zu den Höhenlagen der Region (Abb. 44). Das Wassereinzugsgebiet bildet eine flache, nach Südosten entwässernde Mulde.

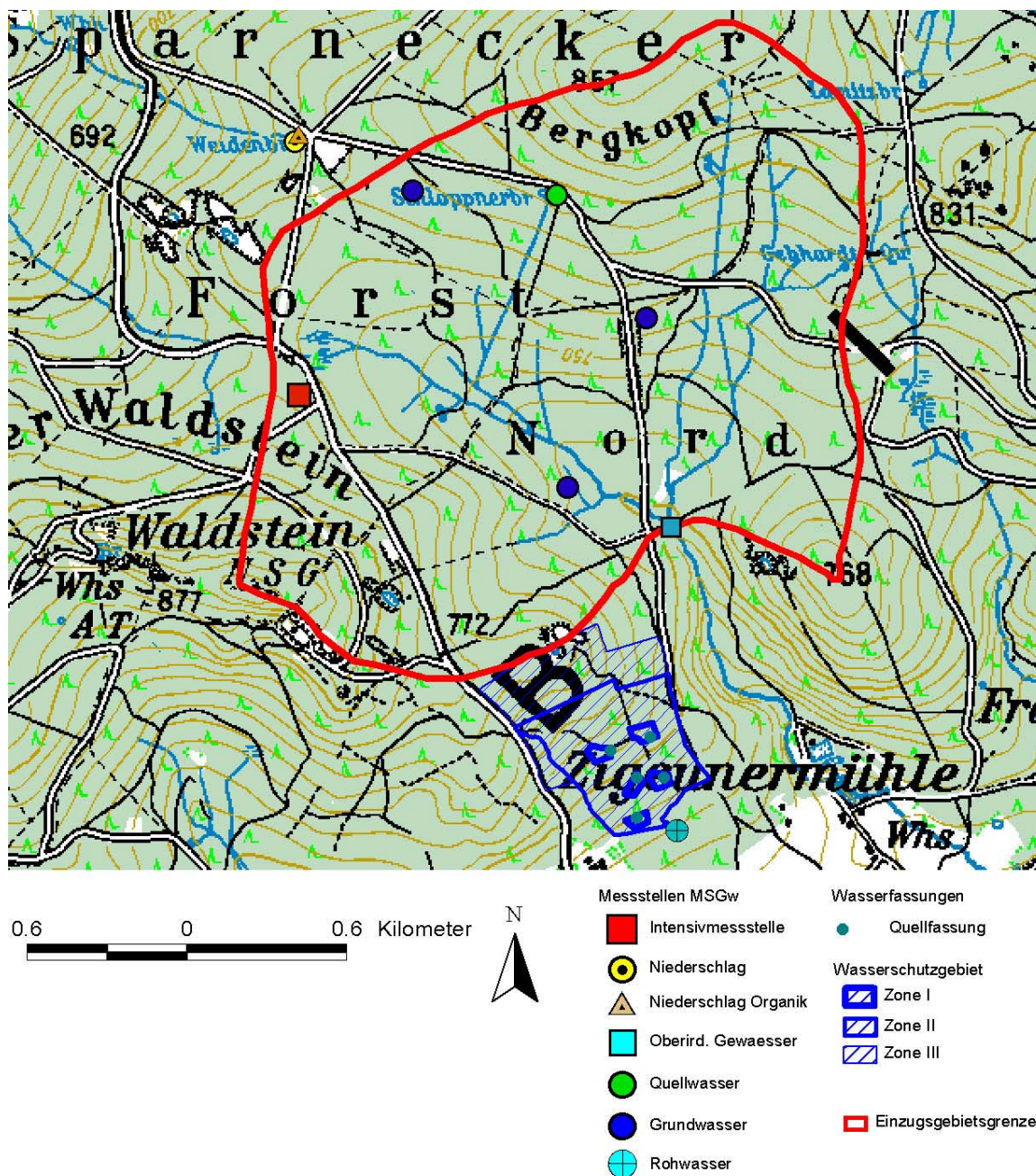


Abb. 44 Wassereinzugsgebiet Lehstenbach mit Lage der Messstellen

.Etliche Quellbäche werden in zwei Hauptgerinnen zusammengeführt, die sich oberhalb des Pegels Lehstenbach/Zigeunermühle vereinigen. Nach einer Lauflänge von ca. 10 km mündet der Lehstenbach bei Neudorf/Marktleuthen in die Eger.

Im Entwicklungsvorhaben „Auswirkungen des sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser“ (1987 – 1992) wurde die räumliche Variation der Stoffumsätze an sechs Intensivmessflächen sowie diversen Bach-, Quell- und Grundwassermessstellen untersucht. Für das Messnetz Stoffeintrag - Grundwasser wurde eine Intensivmessfläche neben dem hydrologischen Rahmenprogramm übernommen. Tabelle 41 gibt eine aktuelle Übersicht der Messaktivitäten im MSGw. Seit 1990 ist das Wassereinzugsgebiet Lehstenbach auch Forschungsgebiet des BITÖK (MANDERSCHIED und GÖTTLEIN 1995). Klimadaten werden fallweise von der Station des BITÖK übernommen.

Tab. 41: Messaktivitäten im Wassereinzugsgebiet Lehstenbach (Messstellen auf der Intensivmessfläche fett)

Messobjekt	Messprogramme	Messstelle	Betrieb ab	Höhe ü. NN [m]	Bemerkung
Niederschlag	quan./qual.	Freiland	09.1987	770	Verlegung 07.1995 um ca. 200 nordwärts
Niederschlag	qualitativ	Freiland, Organ. Spurenstoffe	03.1996	770	spez. Depositionsmessnetz für organ. Problemstoffe
Niederschlag	quan./qual.	Fichtenbestand	09.1987	770	
Sickerwasser	qualitativ	50 cm Tiefe	06.1988	770	altes Messsystem, Beobachtung wird Ende 2003 eingestellt
Sickerwasser	qualitativ	200 cm Tiefe	07.1989	770	altes Messsystem, Beobachtung wird Ende 2003 eingestellt
Sickerwasser	qualitativ	300 cm Tiefe	04.1993	770	altes Messsystem, Beobachtung wird Ende 2003 eingestellt
Sickerwasser	quan./qual.	50 cm Tiefe	07.2001	770	neues Messsystem
Sickerwasser	quan./qual.	200 cm Tiefe	07.2001	770	neues Messsystem
Sickerwasser	quan./qual.	300 cm Tiefe	07.2001	770	neues Messsystem
Grundwasser	quan./qual.	Messstelle 01	04.1987	770	5“ Rohr, bis 16 m ausgebaut
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 02	08.1987	705	5“ Rohr, bis 12 m ausgebaut
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 05	08.1987	756	5“ Rohr, bis 24,3 m ausgebaut
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 06	08.1987	779	5“ Rohr, bis 16 m ausgebaut
Quellwasser	qualitativ	Schlöppnerbrunnen	06.1987	795	nicht gefasst, intermittierende Quelle
Rohwasser	qualitativ	zugeordnete Wasserversorgung	04.1989	680	Quellengruppe mit Sammelschacht
Fließgewässer	quan./qual.	Lehstenbach, Pegel Zigeunermühle	04.1987	694	1986 bis 1999 Venturigerinne, danach Umbau (Dreiecksüberfall)
Klima		Waldstein-Pflanzgarten	1994	770	Station des BITÖK

Ergebnisse der Messgebiete

5.3.2.2 Klima und Landnutzung

Abb. 45 zeigt das Klimadiagramm für die Klimanormalperiode von 1961 – 1990 aus den rekonstruierten Normalreihen für die Temperatur und den Niederschlag (FOKEN 2001). Datengrundlage hierfür waren Messungen an den Klimastationen Waldstein/Pflanzgarten der Universität Bayreuth (BITÖK) sowie an den Stationen des Deutschen Wetterdienstes Weißenstadt und Bischofsgrün. Die mittlere jährliche Niederschlagssumme beträgt 1156 mm. Der Jahresgang zeigt ein Sommer- und ein Wintermaximum, wobei etwa 11% der Jahresniederschläges im niederschlagsreichsten Monat Dezember fallen. Fünf sehr kalte Monate, davon drei Frostmonate prägen den Temperaturverlauf im Winter. Auf gefrorenem Boden können in winterlichen Wärmeperioden erhebliche Spitzenabflüsse zustande kommen.

Das Wassereinzugsgebiet ist zu über 90% mit Fichte bestockt, auch die z.T. mit Gräben drainierten Nass- und Moorböden der tieferen Lagen. Vor allem die Fichten in den Hochlagen weisen zum Teil erhebliche Schädigungen bis hin zum Bestandszusammenbruch auf.

Wie verbreitet im Fichtelgebirge, betreibt die Forstverwaltung Programme zur Sanierung, Wiederaufforstung und Waldumbau, deren Auswirkungen auf die Wasserqualität in MSGw mit untersucht werden (MORITZ und BITTERSOHL 2001). In den Jahren 1985 bis 1987 wurden ca. 15% des Wassereinzugsgebietes im Rahmen von Meliorationskalkungen und –Düngungen mit 2–2,5 t/ha kohlensaurem Magnesia-kalk in Kombination mit 0,5 – 0,6 t/ha Kalimagnesia und 0,5 t/ha Hyperphos behandelt. In Absprache mit dem Untersuchungsprogramm der Wasserwirtschaftsverwaltung wurde das Einzugsgebiet der Quelle Schlöppnerbrunnen am Bergkopf mit einem Areal von ca. 0,1 km² in den 90er Jahren mehrfach in eine forstliche Praxiskalkung einbezogen.

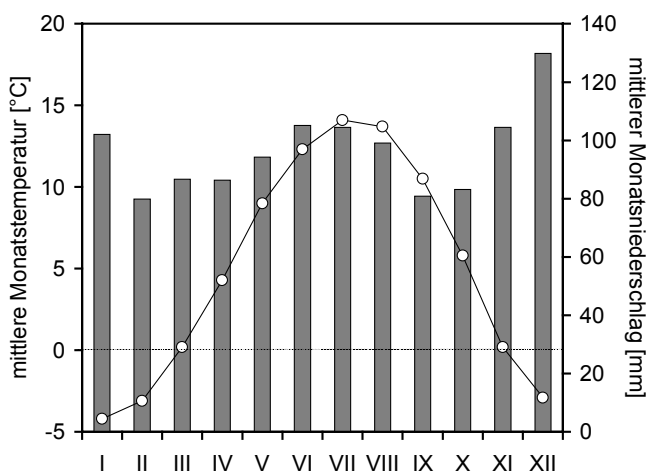


Abb. 45 Klimadiagramm (1961-90) für die Klimastation Waldstein/Pflanzgarten im Wassereinzugsgebiet Lehstenbach (FOKEN 2001)

5.3.2.3 Geologie und Böden

Kerngranit und Randgranit des Waldsteinmassivs bilden den geologischen Untergrund des Wassereinzugsgebietes Lehstenbach. Von der äußerst tiefgründigen Verwitterung im Tertiär ist in der Regel nur die Vergrusungszone erhalten, nicht die darüber liegende Verlehmungszone. Die Vergrusungszone kann eine Mächtigkeit bis zu 30 m erreichen und ist mit schwach verwitterten

Gesteinspartien wechselnder Mächtigkeit durchsetzt. Sie ist gut wasserdurchlässig und ein beachtlicher Grundwasserleiter. Hangparallel gelagerte Fließerden, zum Teil mit starker Blockführung, bilden die pleistozäne Überdeckung. Eine mit Quarzgängen durchsetzte, hydraulisch wirksame Hauptstörung zieht sich von Nordwesten nach Südosten durch das Wassereinzugsgebiet.

Aus den relativ basenarmen, granitischen Ausgangsgesteinen entwickelten sich saure, basenarme Braunerden, in höheren Lagen auch Podsole. Die terrestrischen Böden zeichnen sich durch sehr niedrige pH-Werte, geringe Basensättigung und hohe Aluminiumbelegung der Austauscheraus. Dieses bodenchemische Milieu prägt maßgeblich den hydrochemischen Charakter des hindurchsickernden Niederschlagswassers. Es hat auch die tieferen Schichten der Grundwasserüberdeckung bis zur Versauerungsfront in mehreren m unter GOK erfasst. Erst darunter beginnt das für den Aquifer typische Kohlensäure-Silikatpuffer-Milieu, dem die natürlicherweise schwach kohlensauen, aluminiumfreien Wasser entstammen. In den grundwassernahen Mulden- und Tallagen, etwa ein Drittel des Gebietes, überwiegen Anmoor- und Moorböden. Die Nassböden mit ihrem verbreitet reduzierenden Milieu haben einen besonderen Einfluss auf den gewässernahen Stoffumsatz und die Gewässerchemie.

5.3.2.4 Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt des Wassereinzugsgebiets Lehstenbach wird für die 15 Messjahre 1988 bis 2002 dargestellt (Tab. 42). Aus den Vorlaufmessungen mit mehreren Messtellen im Gebiet ergab sich, dass die Niederschlagswerte an der ausgewählten Intensivmessfläche mit ihrem gebietsrepräsentativen Fichtenaltbestand sowie an der zugeordneten Freilandmessfläche mit hinreichender Genauigkeit das Gebietsmittel wiedergeben.

Tab. 42: Jährliche Wasserflüsse [mm] im Messgebiet Fichtelgebirge, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Hyd. Jahr	h_N^*	h_{FN}	h_{BN}	ETa	h_A	$h_{FN} - h_A$
1988	1093	922	747	564	516	406
1989	1031	950	815	592	396	554
1990	833	<u>811</u>	<u>623</u>	<u>564</u>	335	476
1991	<u>744</u>	821	655	554	320	501
1992	1065	930	713	562	<u>321</u>	609
1993	907	1009	772	615	355	654
1994	1220	1275	972	685	571	704
1995	<u>1317</u>	1198	1060	733	<u>732</u>	466
1996	776	883	773	<u>533</u>	484	<u>399</u>
1997	987	870	640	568	459	411
1998	1248	1162	941	617	467	695
1999	1022	1109	943	665	679	430
2000	1124	1079	879	638	480	599
2001	915	993	768		355	638
2002	1010	<u>1338</u>	<u>1131</u>		591	<u>747</u>
MW 88-02	1019	1023	829	607	471	553

*) DWD Station Stammbach-Ölschnitz

Ergebnisse der Messgebiete

Der mittlere Jahresniederschlag des Gebietes von 1023 mm stimmt nahezu mit dem Vergleichswert der DWD-Station (9,5 km nordwestlich, 558 m ü. NN) überein, bei z.T. erheblichen Unterschieden in den Einzeljahren. Die Unterschiedshöhe ($h_{FN} - h_A$) von 553 mm/a dürfte für den Betrachtungszeitraum der mittleren realen Gebietsverdunstung entsprechen, da für den Pegel ein vollständiger, in den Grenzen des oberirdischen Wassereinzugsgebiets gebildeter Abfluss und eine ausgeglichene Wasserbilanz angenommen werden kann. 194 mm/a bzw. 35 % der Gesamtverdunstung werden als Interzeptionsverdunstung registriert, 359 mm/a bzw. 65 % als Summe aus Transpiration und Bodenverdunstung (Tab. 43).

Um etwa 10 % höher geschätzt wird die reale Gebietsverdunstung mit dem flächenbezogenen Ansatz klimatischer Bodenwasserhaushalt nach RENGER & WESSOLEK. Aus dem hiernach errechneten Restglied ergibt sich ein Abflussüberschuss von 74 mm/a bzw. ein entsprechender Zufluss in das oberirdisch abgegrenzte Wassereinzugsgebiet. Auf Grund der gut bekannten hydrogeologischen Gebietscharakteristik sind eher Abweichungen des Wasserhaushalts vom Gebietsmittel bzw. Unsicherheiten des verwendeten Bodenwassermodells anzunehmen.

Vergleichswerte liefern die Untersuchungen auf der Intensivmessfläche. Mittels der Chloridmethode ergibt sich eine Sickerwasserrate von 554 mm/a, was einer ETa in Höhe von 469 mm/a entspricht. Problematisch bleibt bei diesem Ansatz für den Standort der Intensivmessfläche sicher die Existenz von Zwischenabfluss.

Tab. 43: Langjähriger Wasserhaushalt im Messgebiet Fichtelgebirge, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Parameter	Mittelwerte 88 – 2002	
	[mm]	[l/s*km ²]
h_{FN}	1023	32,4
h_{BN}	829	26,3
h_I	194	6,2
h_A	471	14,9
ET _P (Haude)*	541	17,2
ETa (Renger&Wessolek)*	607	19,2
$h_{FN} - h_A$	553	17,5
$h_{FN} - ETa^*$	416	13,1
Sw ₂₀₀ (Chloridmethode)**	554	17,6
$h_{FN} - ETa - h_A^*$	-73	-2,3

* 88 -2000 ** 89 - 2002

Vom BITÖK wurde freundlicherweise für die Intensivmessfläche des MSGw eine Modellrechnung mittels HYDRUS II D (SIMÚNEK et al. 1996) für die Tiefe 100 cm durchgeführt. Sie ergibt für den Zeitraum von 1995 bis 2001 eine Bestandesverdunstung von 476 mm/a bzw. eine anteilige Transpirationsverdunstung von 275 mm/a. Dies entspräche einer Sickerwasserrate von 566 mm/a, was relativ gut mit der mittels der Chloridmethode ermittelten übereinstimmt.

Tab. 44: Gewässerkundliche Hauptwerte für den Lehstenbach, Pegel Zigeunermühle (hydrolog. Jahre 1988 - 2002)

	Abfluss [l/s]	Datum
NNQ	12	27.9.1989
MNQ	16	
MQ	62	
MHQ	774	
HHQ	1213	1.11.1998

Am Pegel Lehstenbach wird ein mittlerer Abfluss von 62 l/s registriert, entsprechend einer Abflussspende von 14,9 l/s*km² (Tab. 44). Im Verhältnis der Extrema von 1:100 kommt die enorme Abflussspende zum Ausdruck. Sie ist deutlich saisonal geprägt mit Maxima im Winter und Frühjahr (MQ für März bei 111 l/s) während der Schneeschmelze und den niedrigsten Abflüssen in den Sommermonaten (MQ für August bei 30 l/s).

5.3.2.5 Stoffhaushalt

Neben der erheblichen Anreicherung von Stoffen in Folge Auskämmung aus der Atmosphäre, beeinflussen Stoffaufnahme und –auswaschung im Kronenraum den Eintrag mit dem Bestandsniederschlag (Tab. 45). Die über Modellannahmen berechnete tatsächliche Gesamtdeposition zeigt im Vergleich zur Freilanddeposition eine sehr starke Anreicherung der Säurebildner und eine weniger starke der Basen-Kationen. Über den 15-jährigen Betrachtungszeitraum ergibt die Stoffbilanz für das Wassereinzugsgebiet eine Anreicherung der Säurebildner, insbesondere der Stickstoffkomponenten. Dagegen stehen Verluste an Basen-Kationen in Folge Säurepufferung sowie ein erheblicher Austrag mobilisierten Aluminiums. Hohe Chlorid- und Natriumausträge sind auf den Einfluss der Straßensalzung im westlichen Einzugsgebiet zurückzuführen (LISCHKEID et al. 2001). Im Hinblick auf die Eutrophierung nährstoffarmer Biotope ist die Anreicherung von atmosphärisch eingetragenen Phosphor zu beachten.

Tab. 45: Stoffhaushalt im Messgebiet Fichtelgebirge, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach, Mittelwerte in kg/ha*a für 1988 – 2002, kursive Werte Mindestschätzung (häufig < NWG)

Parameter	Freiland-deposition	Bestandes-deposition	Gesamt-deposition*	Austrag	Bilanz
Protonen	0,34	1,14	1,57	0,45	1,12
o-Phosphat-P	<i>0,098</i>	0,17	0,17	0,030	0,14
Chlorid	4,2	11,9	11,9	36,4	-24,5
Sulfat-Schwefel	8,9	28,7	28,7	26,6	2,1
Nitrat-N	5,8	11,7	(12,3)	4,60	7,7
Ammonium-N	8,0	10,6	(15,5)	0,17	15,3
Norg **	0,76	1,34	-	-	-
Calcium	3,8	11,7	7,2	13,6	-6,4
Magnesium	<i>0,5</i>	1,9	0,9	4,6	-3,7
Natrium	4,0	7,6	7,6	27,6	-20,0
Kalium	1,6	20,6	2,8	4,9	-2,1
Aluminium	0,30			5,28	-4,98

* berechnet nach ULRICH (1991)

** 1995-2002

Ergebnisse der Messgebiete

Hinter der 15-jährigen Bilanz verbirgt sich für Sulfat-Schwefel eine deutliche Änderung des Gebietsverhaltens von Speicherung hin zu Freisetzung (ALEWELL et al. 2001). Die Depositionsraten nahen für den Messbestand von ca. 60 kg/ha*a im Jahre 1988 auf 12 kg/ha*a im Jahr 2002 ab, was einer Reduktion um 80 % entspricht. Der Schwefelaustrag ist überwiegend abflussgesteuert. Dem im Boden gespeicherten Schwefel (s. auch bodenchemische Daten) kommt bei nachlassender Belastung aus der Atmosphäre eine entscheidende Rolle für die weitere Entwicklung der Gewässerversauerung zu. Die remobilisierbaren Sulfatschwefel-Vorräte in der gesamten Grundwasserüberdeckung betragen ca. 3000 kg/ha (SCHWEISSER 1998). Das ist rund das 50-fache Potential der jährlichen atmosphärischen Schwefelbelastung vom Ende der 80er Jahre. Nahezu der gesamte Schwefel ist reversibel gebunden. Die Grundwässer des Wassereinzugsgebietes weisen daher zum Teil weiter steigende Sulfatkonzentrationen auf.

5.3.2.6 Organische Stoffe aus der Atmosphäre

Die Belastung mit den untersuchten chemisch-organischen Substanzen ist für das Messgebiet Fichtelgebirge wie für die meisten Waldstandorte gering. Hier wurden im Gebietsvergleich die niedrigsten Nitrophenolwerte nachgewiesen. Auch für die PBSM konnten keine auffälligen Konzentrationen gefunden werden. Für das Insektizid Lindan gibt es einen langen Beobachtungszeitraum. Die Untersuchungen wurden zunächst in Fichtelberg und ab 1996 bei Weißenstadt im Wassereinzugsgebiet Lehstenbach durchgeführt. Die Abbildung 46 zeigt einen deutlich fallenden Trend der Lindankonzentration. Die Reduzierung der Lindananwendungen in den Forsten hat an allen Standorten zur Verminderung der Konzentrationen geführt.

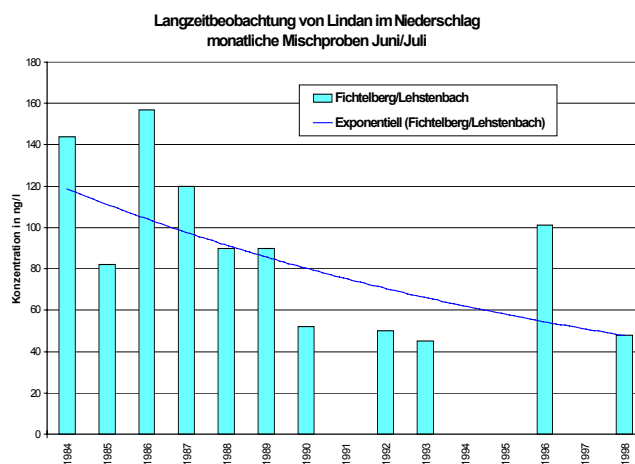


Abb. 46 Lindankonzentrationen im Niederschlag und Trend über 14 Jahre, Region Fichtelgebirge

5.3.2.7 Grundwasserverhältnisse

Das Grundwasser im Wassereinzugsgebiet des Lehstenbachs ist generell mineralarm. Das Grundwasser an der Standardmessstelle Gw01 ist nach FURTAK&LANGGUTH (1967) im Mittel als „erdalkalisch mit höherem Alkaligehalt, überwiegend sulfatisch“ einzustufen. Im Hang- und Kuppenbereich finden sich sauerstoffgesättigte Grundwässer, in den Muldenzonen - beeinflusst durch Moor- und Anmoorüberdeckung - Grundwässer mit mehr oder weniger anoxischem Milieu, entsprechend erhöhten Eisen- und Mangankonzentrationen bei gleichzeitig geringen oder fehlenden Schwefel- und Nitratgehalten. Die Standardmessstelle Gw01 erschließt den sauerstoff-

reichen Typ. Hier dominieren die Kationen Natrium und Calcium mit 64 % die Kationensumme (Abb. 47). Die Versauerung geht mit hohen Anteilen an Aluminium einher, das immerhin 16 % der Kationensumme ausmacht. Sulfat ist mit 52 % das Hauption, Hydrogencarbonat spielt nahezu keine Rolle. Der mittlere pH-Wert dieses extrem sauren Wassers beträgt 4,8 bei einer Leitfähigkeit von 89 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mit einer Härte von 1 ° dH ist das Grundwasser dem Härtebereich 1 nach Waschmittelgesetz zuzuordnen.

Während das Grundwasser der Messstelle Gw01 seit Beginn der Untersuchungen relativ konstante Nitratkonzentrationen aufweist, sinken die Werte im Quellwasser des Schlöppnerbrunnens kontinuierlich (Abb. 48). Die Waldbestände im Einzugsgebiet dieser Quelle am Bergkopf ist charakterisiert von hohen Waldschäden Ende der 80er Jahre, Durchforstungen und kleineren Waldumbaumaßnahmen in den 90er Jahren, die von Kalkungen begleitet wurden.

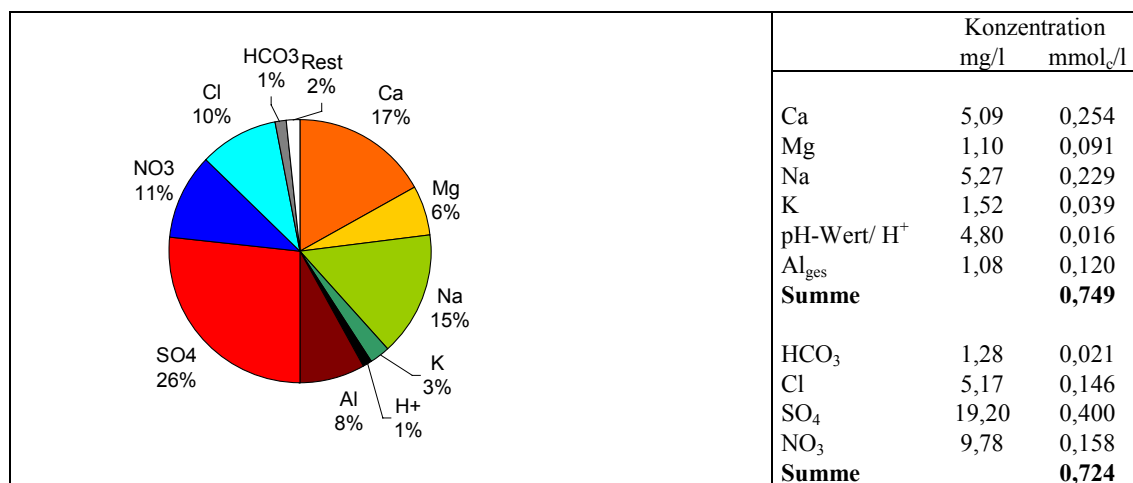


Abb. 47 Mittlere Grundwasserbeschaffenheit (1987-2002), Messstelle Gw01, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Die anmoorigen bachbegleitenden Flächen mit reduzierenden Verhältnissen tragen dazu bei, dass im Lehstenbach niedrigere Nitratkonzentrationen als im Grundwasser der terrestrischen Standorte gefunden werden. Das Rohwasser der 100 m tiefer liegenden Quellfassungen ist am niedrigsten belastet.

Das mit der Sauerstoff18-Methode an mehreren Messstellen bestimmte Alter des Grundwassers liegt zwischen 2 und 4 Jahren (ZAHN 1995). In der Regel wird die Säurepufferung bei zunehmender Verweilzeit stärker wirksam, so dass der pH-Wert steigt. Während die Wasserbewegung und Speicherung in den Klüften des unverwitterten Granits unbedeutend ist, stellt die Zersatzzone im Vergleich dazu einen beachtlichen Grundwasserspeicher dar. Die durchschnittliche nutzbare Porosität dieses Porenaquifers wurde mit 7,7% bestimmt (RÜDIGER 1993). Die Transmissivität ermittelt an 6 Grundwassermessstellen beträgt $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, der k_f -Wert $1,8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Besonders

Ergebnisse der Messgebiete

im Bereich einer NW-SE –streichenden Störungszone im Südwesten des Wassereinzugsgebietes ist von guten Speichereigenschaften und hoher Wasserwegsamkeit auszugehen. Mit dem 6MoMNQ-Verfahren (KÖPF & ROTHASCHER 1980) wird für den Pegel Lehstenbach eine Grundwasserneubildung von 166 mm/a (1988 – 2002) ermittelt.

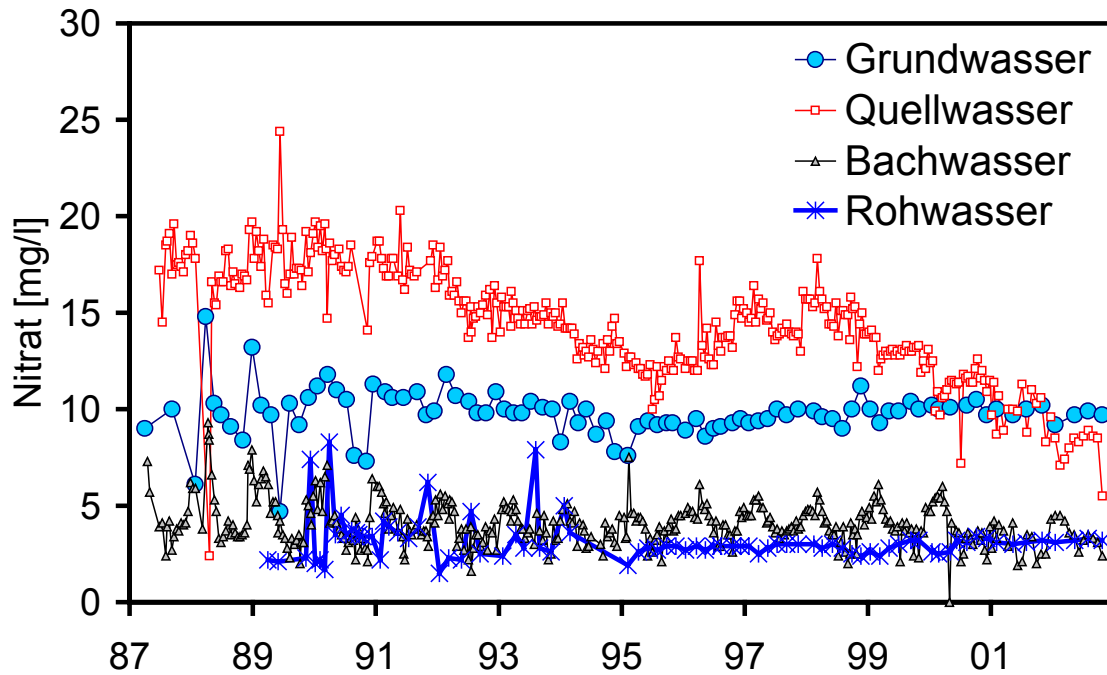


Abb. 48 Ganglinien der Nitratkonzentrationen im Bach- und Grundwasser, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

In den vernässten Muldenzonen (ca. ein Drittel des Wassereinzugsgebiets) steht das Grundwasser ganzjährig oberflächennah an. In den Hangbereichen äußert sich die ausgeprägte Dynamik der Grundwasserstände in saisonalen Schwankungsbreiten von mehreren Metern (Abb. 49). Vergleichsmessstellen mit langjährigen Aufzeichnungen sind im granitischen Kristallin nicht verfügbar. Eine 6,5 km südlich im Granitgrus unter quartären Talalluvionen des Weißenstädter Beckens gelegene Messstelle aus dem Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit zeigt eine vergleichbare saisonale Dynamik sowie einen deutlichen Rückgang der Grundwasserstände während der 80er Jahre.

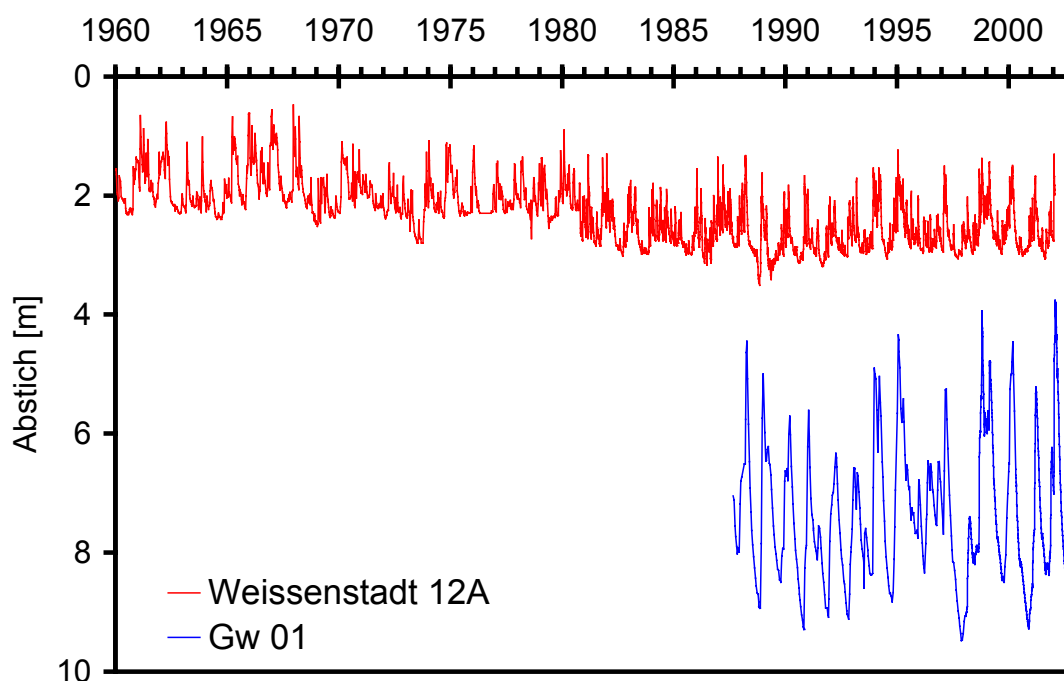


Abb. 49 Langjährige Entwicklung des Grundwasserstands (MSGw-Messstelle Gw01)

5.3.2.8 Wasserversorgung

An der Grenze der tiefgründig vergrusten Waldsteingranite zum wasserstauenden Schiefermantel sind bereichsweise Quellhorizonte ausgebildet, die seit Alters her für die Trinkwasserversorgung genutzt werden. Der Rohwasserbeobachtung im MSGw dient eine nahe dem Südrand des Lehstenbachgebietes gelegene Gruppe von 5 gefassten Quellen, aus denen die Stadt Weißenstadt mit Trinkwasser versorgt wird. Das saure Rohwasser wird über einen Sammelbehälter der Aufbereitungsanlage zugeführt und dort mittels einfacher Filtration über granulierten Jurakalk entsäuert. Die Entnahmemenge kann nur zusammen mit einer zweiten benachbarten Quellengruppe angegeben werden. Sie beträgt durchschnittlich 176.000 m³/a, was einer mittleren Schüttung von 5,6 l/s entspricht. Das Zustromgebiet ist vollständig bewaldet. Das Wasserschutzgebiet hat eine Größe von 0,38 km². Die Ausbringung von Streusalz auf der im Westen angrenzenden Waldsteinstrasse führt zu erhöhten Chloridkonzentrationen im Grundwasser. Der Versauerungsgrad der Quellen ist geogen bedingt etwas geringer als die von Grundwasser aus den reinen Granitgebieten, die pH-Werte liegen bei 5,0 bis 6,0. Die Konzentration von Aluminium schwankt im Rohwasser um 0,1 mg/l. Zu Grenzwertüberschreitungen von 0,2 mg/l kommt es aber nicht.

Ergebnisse der Messgebiete

5.3.3 Intensivmessfläche Lehstenbach

5.3.3.1 Lage

Als Intensivmessfläche für das Wassereinzugsgebiet Lehstenbach wurde ein leicht nach Nordosten geneigte Fläche mit einem Fichtenaltbestand in 900 m unterhalb des Großen Waldsteins ausgewählt (Messfläche 01 in LFW 1994a). Die Ausdehnung beträgt etwa 1300 m². Direkt nach Süden anschließend wurde 1997 die Bodendauerbeobachtungsfläche eingerichtet.

5.3.3.2 Waldbestockung

Auf der Intensivmessfläche stocken ausschließlich Fichten, die 2002 im Mittel 108 Jahre alt waren. Die ertragskundlichen Daten des Bestandes sind in Tab. 46 zusammengestellt.

Tab. 46: Forstinventurdaten, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach, 1988

Parameter	Inventurdaten	Bemerkung
Alter	93	
Flächengröße [ha]	0,1341	
Zahl der Bäume / ha	Fichte: 522	Gesamt
	Fichte: 440	Kraftklassen 1 + 2
Baumhöhe [m]	25,13	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Kronenlänge [m]	10,37	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Höhe d. Kronenansatzes [m]	14,76	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Brusthöhendurchmesser [m]	0,272	arith. Mittel d. Bäume der Kraftklassen 1 + 2
Kreisfläche [m ² /ha]	43,372	Mittel aller Bäume nach BITTERLICH (1952)
Vorrat [Efm.o.R./ha]	430,39	Berechnung nach KRENN (1950) in Erntefestmeter ohne Rinde

Die mittleren Entnadelungsprozente als Ausdruck des Waldzustands bewegen sich im Untersuchungszeitraum zwischen 20 und 30 % (Abb. 50). Damit war der Bestand im vergangenen Jahrzehnt zwischen 5 und 10 % stärker geschädigt als dies für die Fichte im bayernweiten Mittel der Fall ist. Dieser Befund bestätigt die Einstufung des Fichtelgebirges als Zentrum der Neuartigen Waldschäden in Bayern. Die Schädigung hat direkte Auswirkungen auf den Wasser- und

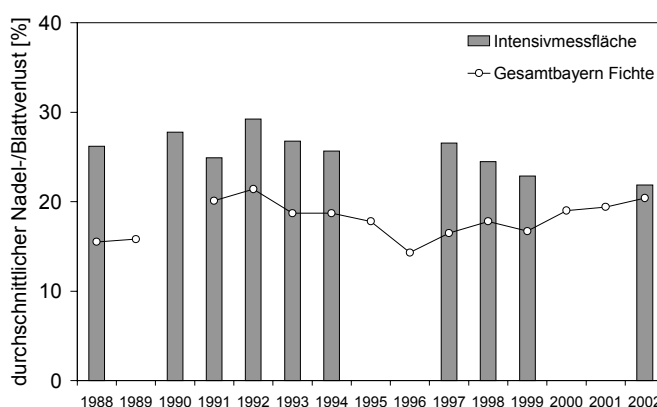


Abb. 50 Entwicklung der mittleren Entnadelungsprozente im Vergleich mit den bayernweiten Daten des Waldzustandsberichts (LWF 2002), Intensivmessfläche Lehstenbach

Stoffhaushalt, aber auch indirekte in Folge großflächiger waldbaulicher und bodenmeliorativer Sanierungsmaßnahmen.

5.3.3.3 Profilbeschreibung

Die Grundwasserüberdeckung besteht aus einem etwa 1 Meter mächtigen, überwiegend sandig-lehmigen bis tonig-lehmigen, gut durchlässigen Mineralboden mit kräftiger Podsolierung und



Abb. 51 Bodenprofil Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach 1997

hohem Steinanteil (20-50%), der aus einer pleistozänen Solifluktsdecke hervorgegangen ist. Die Auflage besteht aus ca. 10 cm mächtigen Rohhumus. Je nach Grundwasserstand beträgt die Mächtigkeit der Sickerzone 3- 8 m, die überwiegend sandig-grusig und gut durchlässig und von mehr oder weniger unverwitterten Felspartien durchsetzt ist. Die Tiefenzonen über 3 m sind durch Verlust der Säure puffernden Basen-Kationen am Austauscherkomplex versauert.

5.3.3.4 Bodenfestphase

Die pH-Werte zeigen eine Abnahme von der Humusaufgabe zum typischerweise äußerst sauren Eluvial-Horizont (Ahe) sowie eine Zunahme bis zum Bv2-Horizont (Tab. 47). Sie sind durchaus typisch für Podsol-Braunerden aus basenarmem Ausgangsgestein und daher kein geeigneter Indikator zum Nachweis der anthropogenen Bodenversauerung. Die Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalte nehmen entsprechend dem Humusanteil mit der Tiefe rasch ab, unterbrochen durch die typische Anreicherung verlagerter Huminstoffe im Bhs-

Horizont.

Tab. 47: Kenndaten für pH, C, P und N, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach, 1997

Bodentyp: Braunerde-Podsol Humusform: Rohhumus											
Horizont	Tiefe [cm]	Textur	Skelett [Gew.%]	dB _F [g/cm ³]	C [%]	N [%]	C/N	P _{citrat} [mg/kg]	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (CaCl ₂)
OLF	10-2		34	0,08	45,3	1,88	24	180	4,49	3,33	3,48
OH	2-0		37	0,22	42,5	1,69	25	75	3,52	2,69	2,87
Ahe	0-7,5	Slu	50	0,57	2,8	0,10	28	17	3,44	2,67	2,93
Bhs	7,5-20	Ls3	40	0,69	3,9	0,17	23	22	3,60	3,07	3,22
Bv1	20-36	Ls3	24	0,98	2,0	0,10	19	65	4,31	4,18	4,17
Bv2	36-70	Lt2	21	1,00	0,3	0,03	11	19	4,44	4,28	4,19
BvSwCv	70-110	Sl4		1,30	0,4	0,03	17	27	4,45	4,20	4,07

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 48: Austauschbare Kationen, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach, 1997

Horizont	Braunerde-Podsol		Humusform: Rohhumus						AK _e [mmol _e /kg]	BS [%]
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn		
OLF	54,3	11,2	12,3	0,7	5,6	9,7	1,6	4,7	174,4	78,5
OH	26,5	4,2	4,2	0,4	34,1	22,3	7,3	0,9	199,1	35,4
Ahe	2,8	0,7	1,4	0,2	63,5	25,4	5,8	0,1	72,7	5,2
Bhs	2,0	0,7	0,9	0,3	75,9	7,6	12,4	0,2	129,6	3,8
Bv1	1,0	0,0	1,6	0,3	94,7	1,4	0,7	0,3	41,5	2,9
Bv2	0,7	0,0	2,8	0,0	94,2	1,8	0,0	0,4	25,7	3,6
BvSwCv	1,5	0,5	4,3	0,4	90,3	1,6	0,7	0,8	32,4	6,5

Die Anteile von Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium an der effektiven Austauschkapazität nehmen mit der Profiltiefe bis maximal zum Bv2-Horizont ab, jedoch im Übergang zum verwitterten Ausgangsgestein wieder leicht zu (Tab. 48). Gegenläufig verhält sich Aluminium, das in den Bv-Horizonten eine Austauscherbelegung von knapp 95 % erreicht. Die höchste Austauschkapazität, jedoch mit äußerst niedriger Basensättigung findet sich im Bhs-Horizont.

Tab. 49: Gesamtvorräte [kg/ha], Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach, 1997

Horizont	Braunerde-Podsol		Humusform: Rohhumus						N	P	S
	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn				
OLF	102	20	59	4	123	167	10	804	41	81	
OH	41	12	30	2	136	200	2	466	21	54	
Ahe	32	129	360	21	2051	1083	13	215	41	21	
Bhs	119	665	1314	67	9568	15035	77	876	227	155	
Bv1	297	2450	3544	166	34500	21204	321	1189	583	262	
Bv2	589	4949	8507	294	73195	41333	910	669	642	214	
BvSwCv	1297	10895	17484	726	137015	85654	1660	1297	1349	363	
Summe	2476	19119	31297	1282	256588	164675	2993	5516	2902	1150	

Aluminium und Eisen sind bei weitem die Hauptbestandteile aller untersuchten Elemente am Gesamtvorrat. Zum Stickstoffvorrat von 5,5 t/ha tragen auch die tieferen humusarmen Bodenhorizonte erheblich bei (Tab. 49).

Der Sickerraum ist bis auf mindestens eine Tiefe von 2,5 m stark versauert mit Basensättigungen von kleiner als 10 % (LFW 1997). Aus dem Vergleich der hier wiedergegebenen Wiederholungsbeprobung 1997 mit der Erstbeprobung 1988 können zeitliche Veränderungen des Bodenzustandes abgeleitet werden, die wiederum auf die Wasserbeschaffenheit rückwirken (Abb. 52). Danach ist innerhalb der 9 Jahre eine weitere Verringerung der Basensättigung im oberen Mineralboden als wahrscheinlich anzunehmen, während eine Zunahme in der Humusaufgabe erfolgte.

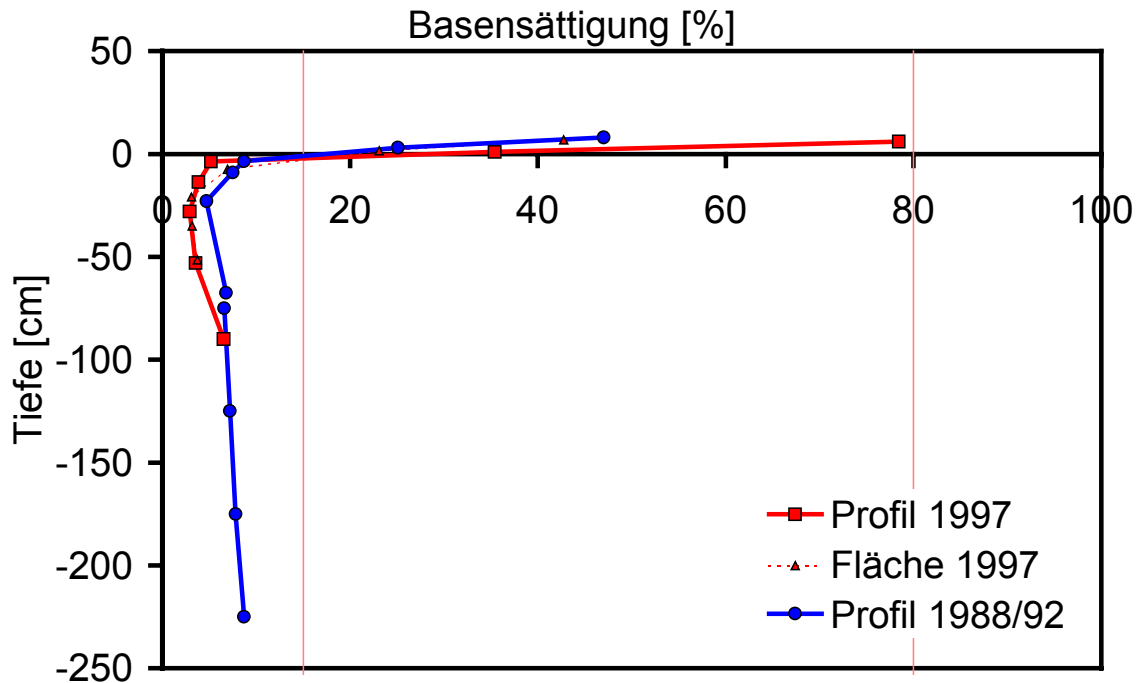


Abb. 52 Profile der Basensättigung auf der Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Das Gesamtporenvolumen der oberen Bodenschichten ist mit 60 bis 70 % erheblich, ebenso das für Niederschlagsinfiltration und Versickerung bedeutsame Großporenvolumen (Tab. 50). Die nutzbare Feldkapazität, berechnet für 1m Tiefe, erreicht für die Feinerde 128 mm. Unter Berücksichtigung von Skelettgehalten zwischen 20 und 50 % im B- bzw. A-Horizont reduziert sich die nutzbare Feldkapazität auf 91 mm.

Die pF-WG-Beziehung weist auf die ähnliche Porenverteilung im gesamten Bodenprofil hin (Abb. 53). k_f -Werte zwischen 10^{-2} und 10^{-3} cm/s belegen die hohe Durchlässigkeit des Standorts.

Tab. 50: Bodenphysikalische Kenndaten (n=4), Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Horizont		Struktur			Hydrologische Parameter			
	Tiefe	Trocken-	Lage-	Gesamt-	Luft-	Feld-	nutzbare	k_f -Wert
	[cm]	substanz	rungs-	porenvol.	kapazität	kapazität	Feldkap.	[cm/s]
		[Vol.%]	[g/cm ³]	[Vol.%]	[Vol.%]	[Vol.%]	[Vol.%]	
Ahe	0-10	32,7	0,85	67,3	20,9	46,4	21,8	
Bhs	10-20							
Bv	20-100	40,6	1,07	59,4	26,5	33,0	11,9	
Cv	100-130	60,1	1,59	41,3	16,9	24,4	10,5	$6,7 \cdot 10^{-3}$
C (Grus)*	>150	57,4	1,52	42,6	31,8	10,9	4,9	$1,8 \cdot 10^{-2}$

* Proben aus benachbartem Steinbruch

Ergebnisse der Messgebiete

5.3.3.5 Bodenlösungsphase (Sickerwasser)

Das Sickerwasser ist in allen Tiefenstufen stark sauer mit mittleren pH-Werten um 4,3 und Aluminiumkonzentrationen um 5 mg/l (Tab. 51). Um 1990 wurden maximale Werte von ca. 9 mg/l bei pH-Werten bis 3,6 gemessen. Auf Grund des nachlassenden atmosphärischen Stoffeintrags ist die Leitfähigkeit in der obersten Messebene (Mittel 83 $\mu\text{S}/\text{cm}$) von 138 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Jahr 1989 auf 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Jahr 2002 zurückgegangen. Dies ist wesentlich auf den Rückgang des Sulfateintrags in Verbindung mit nachlassender Aluminiummobilisierung zurückzuführen. Die Alkalinität (nach REUSS und JOHNSON 1986) ist in allen Messtiefen negativ. Dabei werden die geringsten Alkalinitäten in der tiefsten Messebene beobachtet. In 50 cm Tiefe stieg das Jahresmittel in 14 Jahren ausgehend von $-702 \mu\text{mol}_c/\text{l}$ 1989 um $489 \mu\text{mol}_c/\text{l}$ auf $-213 \mu\text{mol}_c/\text{l}$ in 2002.

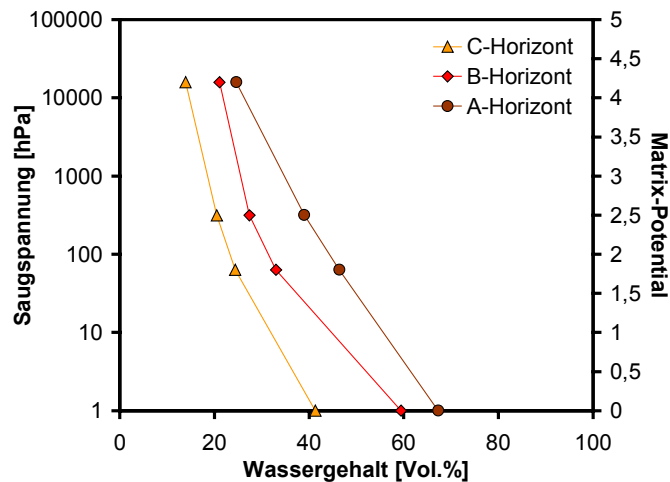


Abb. 53 pF-WG-Beziehung, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Tab. 51: Beschaffenheit des Sickerwassers, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach (Mittelw. 88–2002)

Tiefe [cm]	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH-Wert	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	Al _{tot} [mg/l]
50	83	4,24	2,3	22,7	7,9	1,3	0,5	1,6	0,8	0,012	4,90
200	95	4,34	2,0	27,2	7,4	1,3	0,4	1,7	1,5	0,010	4,86
300	88	4,33	1,8	25,4	11,3	1,4	0,4	1,6	0,8	< 0,002	5,00

Die Nitratkonzentration in der Bodenlösung wird von den temperaturabhängigen, stickstoffumsetzenden Prozessen in der belebten Bodenzone gesteuert und vom atmosphärischen Stickstoffeintrag beeinflusst. Bei C/N-Verhältnissen im Boden zwischen 18 und 28 (s. Tab. 47), Stickstoffeinträgen aus der Atmosphäre von über 20 kg/ha*a und Stickstoffvorräten von 5000 bis 6000 kg/ha ist potentiell mit zunehmender Nitratfreisetzung in das Sickerwasser zu rechnen (Abb. 54).

Die Bodensaugspannungskurven für das Beispieljahr 2002 machen die intensive, wenig verzögerte Durchfeuchtung des Bodenprofils durch die Niederschlagsereignisse deutlich, wie das auf Grund der festgestellten hohen Durchlässigkeit des Standorts zu erwarten ist. In 50 cm Tiefe führte dies wiederholt zur vollständigen Sättigung des Bodens (Minimierung der Saugspannung),

wodurch ein maximaler Sickerwasserstrom aber auch kräftiger hangparalleler Abfluss ausgelöst wurde. Intensive Austrocknung (hohe Saugspannungen) des Bodenprofils erfolgte kaum.

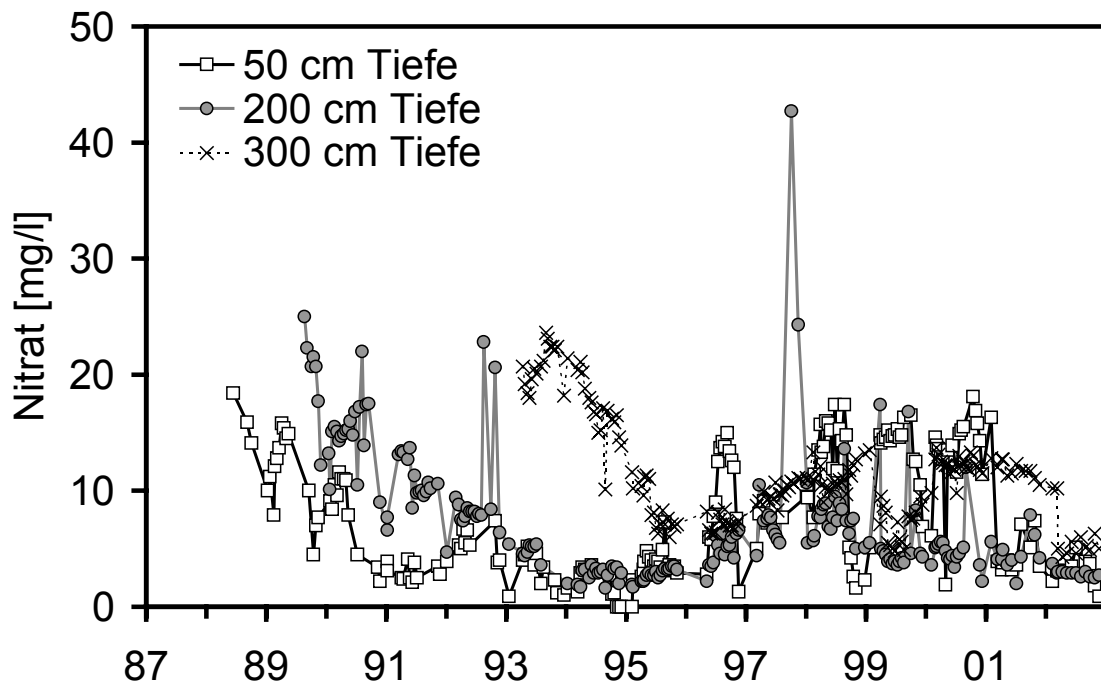


Abb. 54 Nitratkonzentration im Sickerwasser, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Ein Grossteil der Grundwasserneubildung erfolgte von Ende Januar (Schneeschnmelze) bis Ende Februar und nach der Vegetationsperiode im November und Dezember (Abb. 55). Einen Hinweis auf die hohen Sickergeschwindigkeiten gibt die geringe zeitliche Verschiebung des Feuchte-signals mit der Tiefe. Durch das Regenereignis vom 6. bis 12. August mit ca. 120 mm Niederschlag wird in 2 m Tiefe nach 2-8 Tagen ein anhaltender Zustrom von Sickerwasser ausgelöst. Da im Grundwasser keine deutliche Reaktion erfolgt, kann von erhöhtem Zwischenabfluss ausgegangen werden.

Für Standorte mit geringen Flurabständen konnte nachgewiesen werden, dass der Zwischenabfluss allerdings eher untergeordnete Bedeutung hat (LISCHEID et al. 2002). Hier verläuft die Reaktion des Abflusses auf ein Niederschlagsereignis vorwiegend durch Druckübertragung innerhalb von wenigen Stunden („translatory flow“). Dieses Phänomen tritt vor allem in den bachnahen Zonen auf.

Ergebnisse der Messgebiete

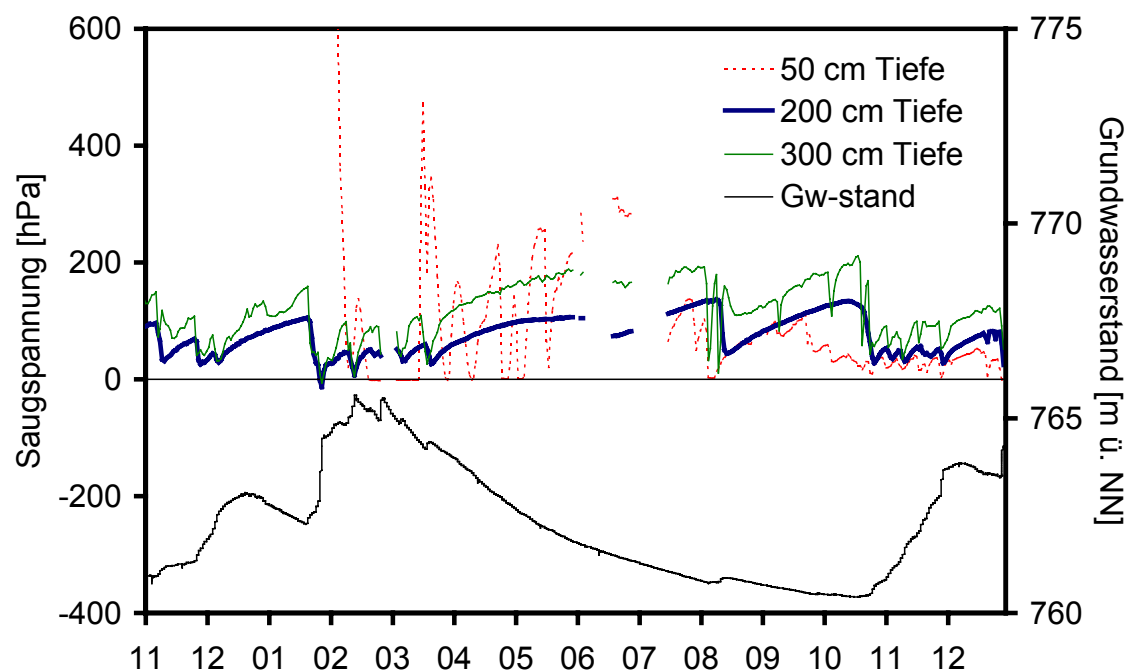


Abb. 55 Bodensaugspannungen [hPa] in 50, 200 und 300 cm Tiefe und Grundwasserstände vom 1.11.2001 bis 31.12.2002 auf der Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

5.4 Messgebiet Münchener Schotterebene

5.4.1 Regionale Gegebenheiten

Die Münchner Schotterebene ist mit ihrer prägnanten Dreiecksform und einer Gesamtfläche von rund 2400 km² eine außergewöhnliche und wasserwirtschaftlich in vieler Hinsicht bedeutende Großstruktur im Rahmen der südbayerischen Schotterflächen und Flusstalfüllungen. Nach Jahrtausenden der landwirtschaftlichen Nutzung und Holzgewinnung prägt heute die Millionenstadt München den Kernbereich der Schotterebene, wobei die zivilisatorischen Wirkungen des Großraums mittlerweile auch die Randgebiete erreicht haben. Ein besonderer Schwerpunkt der Untersuchung sind daher die diversen diffusen Schadstoffeinflüsse auf das Grundwasser in ihrer kombinatorischen Wirkung und die Folgen für das Grundwassermanagement und die Trinkwasserversorgung.

5.4.1.1 Landschaft, Klima und Geologie

Die Landschaft der Münchener Schotterebene wurde während und nach der letzten Eiszeit gestaltet. Die mächtigen Ablagerungen sind eine Folge der Vergletscherung des Alpenvorlandes und ihrer Schmelzwässer im Bereich der Täler von Amper, Würm und Isar. Die Endmoränenbögen der würmeiszeitlichen Gletscher bilden die südliche Begrenzung der Schotterebene, die, eine große einförmige Ebene bildend, nach Norden bis an die Ränder des Tertiären Hügellands reicht. Hier führte das austretende Grundwasser zur Bildung des großen Niedermoorgebietes im Bereich Dachau, Freising und Erding. Im Osten der Schotterebene finden sich weit vorgeschobene ältere Moränen aus der Mindel- und Riß-Eiszeit. Sie trennen das am weitesten östlich gelegene Hohenlindener Feld vom Hauptteil der Schotterebene ab. Trotz fortschreitender Zersiedelung sind die landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Rodungsinselformen mit Siedlungskern im Süden der Schotterebene noch gut erkennbar. Der Norden ist außerhalb der stark anwachsenden Siedlungs- und Gewerbeflächen sowie infolge Gewässerausbau, Grundwasserabsenkung und Moorentwässerung durchgängig landwirtschaftlich nutzbar. Hauptbaumart der großen Waldgebiete im südlichen und mittleren Teil der Schotterebene ist die Fichte.

Das Klima der Münchner Schotterebene ist subkontinental geprägt und liegt im Übergangsbereich zwischen feucht kühlen Alpenvorland und dem schon wärmeren mäßig feuchten Hügelland Niederbayerns. Die Sonnenscheindauer erreicht im langjährigen Mittel 1600-1700 h pro Jahr und es resultiert eine Jahresmitteltemperatur von 7 bis 8 °C (1951 –1980) bei einer Jahresschwankung von 19,5 °C. Das langjährige Mittel des Jahresniederschlags (1961-1990) beträgt in der östlichen Münchener Schotterebene 950 – 1100 mm. Der Abfluss schwankt zwischen 300 und 500 mm (BAYFORKLIM 1996). Winde aus Westen und Südwesten herrschen vor. Hagel tritt im langjährigen Mittel etwa 5 mal im Jahr auf. Bis in den Mai besteht Spätfrostgefahr, Schnee fällt an 20 – 40 Tagen im Jahr.

Die stark kalkhaltigen Hoch- und Niederterrassenschotter sind 30 – 100 m mächtig. Sie erreichen ihre größte Mächtigkeit in der Wurzelzone am Nordrand der Moränen. Bei insgesamt hoher Was-

Ergebnisse der Messgebiete

serdurchlässigkeit des eintönigen, glaziofluviatilen Materials bildet die linsenförmig wechselnde Körnigkeit der sandigen Schotter ein Netz unterschiedlicher Wasserwegsamkeiten. In tieferen Lagen sind bereichsweise schichtartige Nagelfluhbildungen eingeschaltet. Unterlagernde Schichten sind die überwiegend stauenden bis hemmenden Feinsedimente der tertiären oberen Süßwassermolasse. Die nacheiszeitliche Verwitterung und geringfügige Lößüberwehung hat zur Ausbildung einer ca. 0,5 m mächtigen, weitgehend entkalkten Bodendecke geführt.

5.4.1.2 Wasserversorgung

Das Zusammentreffen von hohen Niederschlägen im Alpenvorland mit den günstigen hydrogeologischen Eigenschaften des Aquifers führt dazu, dass die Grundwasservorkommen der Münchner Schotterebene zu den reichsten in Deutschland gehören. Auf Grund dieses Wasserreichtums werden die Grundwässer der quartären Ablagerungen intensiv für die Trinkwasserversorgung genutzt und stellen einen Entnahmeschwerpunkt in Bayern dar.

Einerseits bietet die Münchner Schotterebene bei gut durchlässigen Böden und einer hohen Grundwasserneubildung gute Voraussetzungen für die Trinkwasserversorgung. Andererseits ist das Gebiet sehr dicht besiedelt und auf Grund des geringen Schadstoffrückhaltevermögens der Böden können sich, insbesondere dort wo landwirtschaftliche Aktivitäten vorherrschen, Konflikte ergeben. Etwa gleichlaufend mit der Zunahme der Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft entwickelte sich die Nitratbelastung. Auch Pflanzenschutzmittel können im Grundwasser gefunden werden. Sanierungsbemühungen der betroffenen Wasserversorgungsunternehmen konzentrieren sich auf Regelungen zur grundwasserverträglichen Landbewirtschaftung und soweit möglich das Ausweichen auf bewaldete Gebiete.

5.4.1.3 Umweltmessprogramme

Mit folgenden Behörden und Facheinrichtungen bestehen Kooperationen bzw. Vereinbarungen zur gegenseitige Nutzung von Daten und Informationen:

- Landesanstalt für Wald – und Forstwirtschaft: Waldklimastation Ebersberger Forst
- TU München
- Wasserversorgungsunternehmen

Das Dauermonitoring der LWF liefert seit 1991 gewässerkundlich nutzbare Basisdaten über den atmosphärischen Stoffeintrag und die Wirkungen der weitgehend ungestörten Fichtenbestände des inneren Ebersberger Forstes auf den oberen Sickerraum. Daneben befasst sich das Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt der TU München seit Jahren mit Fragen des Nitrataustrags unter Waldgebieten in Südbayern, im Besonderen auch in der Münchener Schotterebene.

5.4.2 Wassereinzugsgebiet Anzing

Die Einrichtung des Wassereinzugsgebiets Anzing im westlichen Ebersberger Forst geht auf das Projekt „Saurer Regen/Grundwasser“ zurück, das von 1986 bis 1994 mit hoher räumlicher Auflösung (6 Intensivmessflächen mit Depositionsmessung, Grundwassermessstelle und Bodenprobenahme, darin 4 Sickerwassermessplätze) durchgeführt wurde. Die Messreihen reichen zum Teil bis 1987 zurück. In das Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser wurde die im südwestlichen Rand-

bereich des Ebersberger Forsts gelegene Intensivmessfläche übernommen und in das Gesamtkonzept mit einer weiteren Intensivmessfläche außerhalb des Waldes integriert.



Abb. 56 Intensivmessstelle Grünland, Wassereinzugsgebiet Anzing

5.4.2.1 Lage und Ausstattung

Das Wassereinzugsgebiet Anzing liegt etwa 30 km östlich von München am und im Bereich des westlichen Ebersberger Forstes (Abb. 57). Es umfasst das Zustromgebiet eines Brunnens der Trinkwasserversorgung mit einer Fläche von ca. 11 km² und eine Höhenlage von 520 – 550 m ü.NN. Die zugeordneten Beobachtungen erstrecken sich vorwiegend auf den Westteil des Ebersberger Forstes und sein westliches Vorland.

Typisch für Grundwassereinzugsgebiete der Schotterebene ist die gemischte Flächennutzung mit landwirtschaftlichen Bereichen, Waldflächen und Siedlungen. Hieraus folgt das Beobachtungskonzept mit zwei Intensivmessflächen, die beide Hauptnutzungsformen abdecken. Die Variante Landwirtschaft erfasst die Stoffumsätze auf extensiviertem Grünland nach langjähriger Ackernutzung.

Ergebnisse der Messgebiete

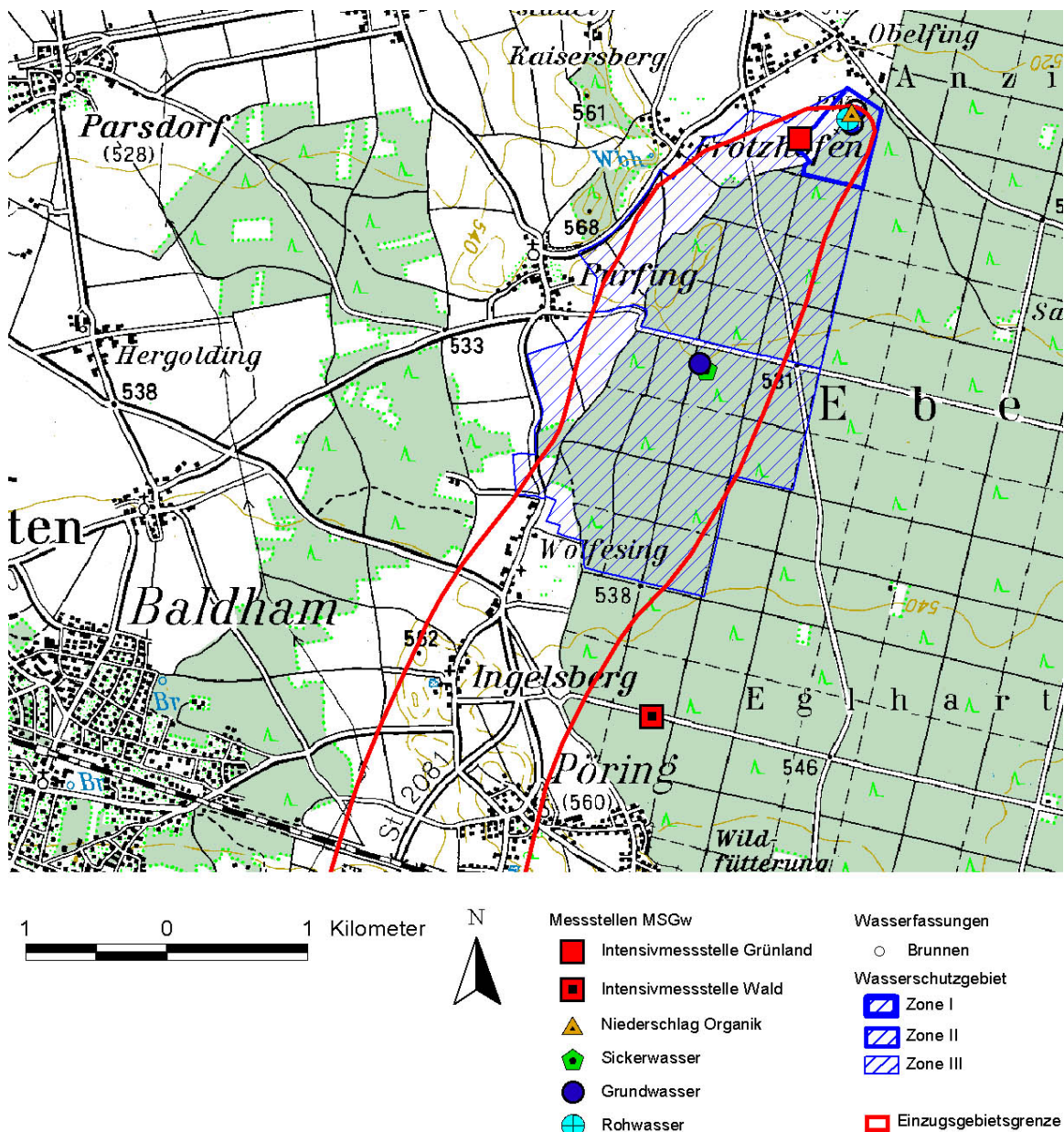


Abb. 57 Die Lage der Messstellen im Messgebiet Münchener Schotterebene

Ergänzend wird eine reine Sickerwasser-Messstelle im Forst beprobt, die direkte Informationen zum Stoffaustrag nach Windwurf und Waldumbau liefert. Tab. 52 bietet eine Zusammenstellung der derzeit in MSGw beobachteten Messstellen.

Tab. 52: Messstellen im Messgebiet Münchener Schotterebene (Messstellen auf den Intensivmessflächen fett, (L): landwirtschaftliche Intensivmessfläche, (W): forstliche Intensivmessfläche)

Messobjekt	Messprogramme	Messstelle	Betrieb ab	Höhe ü. NN [m]	Bemerkung
Niederschlag	quan./qual.	Freiland	07.1987	523	ab 1995 (L), vorher im Wald
Niederschlag	qualitativ	Freiland, Organ. Spurenstoffe	01.1995	523	Lage im Bereich des untersuchten Trinkwasserbrunnens
Niederschlag	quan./qual.	Fichtenbestand	07.1987	544	(W)
Sickerwasser	qualitativ	50 cm Tiefe	09.1987	544	altes Messsystem (W)
Sickerwasser	qualitativ	150 cm Tiefe	09.1987	544	altes Messsystem, Betrieb bis 02.2001 (W)
Sickerwasser	qualitativ	200 cm Tiefe	06.1989	544	altes Messsystem (W)
Sickerwasser	qualitativ	150 cm Tiefe	09.1987	531	ehemals Fichtenbestand, Windwurf 1991, anschl. Aufforstung; seit 03.2001 von LWF betreut; altes Messsystem
Sickerwasser	quan./qual.	50 cm Tiefe	01.1998	523	neues Messsystem (L)
Sickerwasser	quan./qual.	200 cm Tiefe	01.1998	523	neues Messsystem (L)
Grundwasser	quan./qual.	Messstelle 01	02.1987	544	5“ Rohr, bis 36 m ausgebaut (W)
Grundwasser	quantitativ	Messstelle 04	07.1987	529	5“ Rohr, bis 24 m ausgebaut, bis 1994 auch qualitativ beobachtet
Rohwasser	qualitativ	zugeordnete WV	05.1988	522	Brunnen II
Klima	quantitativ		06.1996	523	(L)

5.4.2.2 Klima und Landnutzung

Zur langjährigen Charakterisierung des Klimas wird die DWD-Klimastation Ebersberg herangezogen, die in ca. 10 km Entfernung südöstlich des Messgebietes in vergleichbarer Höhe (572 m ü. NN) liegt. Die mittlere jährliche Niederschlagssumme der Normalperiode 1961 – 1990 beträgt dort 994 mm (Abb. 58). Im Sommer tritt ein ausgeprägtes Maximum auf, wobei die Hälfte des Jahresniederschlags in den vier Monaten Mai bis August fällt. Das Monatsmaximum liegt mit 125

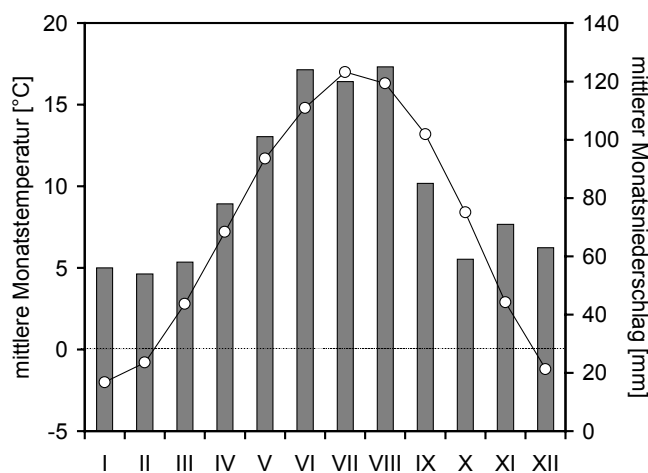


Abb. 58 Klimadiagramm für die Klimastation Ebersberg für 1961-90 (Daten DWD)

mm im August, das Minimum mit 54 mm im Februar. Die mittlere Lufttemperatur beträgt 7,5 °C, mit einem Monatsmaximum von 17,0 °C im Juli, einem Minimum von -2,0 °C im Januar und durchschnittlich drei Frostmonaten (Dez. – Feb.). Entsprechend kann sich bei ausreichendem Schneefall eine Schneebedeckung längerfristig ausbilden.

Die ergiebigen Grundwasservorkommen der Schotterebene sind von unterschiedlichen Landnut-

Ergebnisse der Messgebiete

zungen beeinflusst. Der Ebersberger Forst ist durch jahrhundertelange forstliche Nutzung, zuletzt nach einer großen Insektenkalamität um 1920, von einem naturnahen Laubwald in fast reinen Fichtenforst umgewandelt worden. Die besonders gut verwertbare Fichte ist heute die Hauptbaumart der großen Waldgebiete im südlichen und mittleren Teil der Münchner Schotterebene, insbesondere im Privatwald. Als potentiell natürliche Waldgesellschaft wird dagegen eine Buchenwaldgesellschaft ohne nennenswerten Mischbaumanteil angesehen (LWF 2001). Die Orkanstürme des Frühjahrs 1990 führten vor allem in den exponierten Bereichen der westlichen Waldränder zu großflächigen Windwürfen. In den trocken-warmen Folgejahren entstanden durch Borkenkäferbefall und deren Bekämpfung weitere Kahlflächen. Bei deren Wiederaufforstung strebt die Staatsforstverwaltung im Ebersberger Forst einen Laubholzanteil von 30 – 40% an, womit auch ein erheblicher Beitrag zur Minimierung schädlicher Stoffausträge in das Grundwasser geleistet wird.

Das Wassereinzugsgebiet Anzing (Brunnen II) erfasst den westlichen, vom Waldumbau besonders betroffenen Randbereich des Ebersberger Forstes sowie Landwirtschaft- und Siedlungsflächen im Süden und Westen. Für dieses Gebiet gibt die Landnutzungskartierung nach CORINE die in Tab. 53 zusammengestellten Flächennutzungen an. 51 % des Einzugsgebietes, vorwiegend im nördlichen Abschnitt, sind demnach forstlich genutzt. Im südlichen Abschnitt überwiegen landwirtschaftliche Nutzungen (Acker) und Siedlungen (vgl. Abb. 57).

Tab. 53: Landnutzung im Wassereinzugsgebiet Anzing, Brunnen II (nach CORINE)

Landnutzung	Fläche [ha]	Gebietsanteil [%]
Siedlungen	89	8,0
Ackerland	591	53,1
Mischwald	51	4,6
Nadelwald	381	34,3
Gesamtfläche	1112	100

5.4.2.3 Geologie und Böden

Das Wassereinzugsgebiet gehört zum westlichen Abschnitt des Hohenlindener Feldes, dessen geologische Ausprägung der Gesamtcharakteristik für die östliche Münchener Schotterebene entspricht (s.o.). An der Basis der Terrassenschotter können in das Tertiär eingetiefte Schotterrinnen auf den Grundwasserfluss einwirken. Vor allem im Westen, angelehnt an die Nord-Südausgerichteten altquartären Moränenrücken, bilden spätglaziale Grobschotter die oberste Lage. In diesem Bereich, der durch eine Intensivmessfläche erfasst wird, ist die Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung besonders schwach ausgeprägt.

Die Bodenentwicklung führte über Entkalkung, Verlehmung und Verbraunung zu Braunerden und in der Folge über Lessivierung zu Parabraunerden. Sie setzte erst mit Beginn des Spätglazials ein, so dass sich im allgemeinen mittelgründige, mäßig frische Böden bilden konnten. Sie bedecken den Großteil des Gebietes. Die mittlere Entkalkungstiefe liegt bei 50 – 60 cm. Stellenweise

greifen 50 –100 cm tiefe Verwitterungstaschen und -zapfen (Frostkeile) in den unverwitterten Schotter ein. Die sandig-lehmigen Böden sind stark wasserdurchlässig.

5.4.2.4 Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt im Bereich des Wassereinzugsgebiets Anzing wird für die 15 Messjahre 1988 bis 2002 dargestellt (Tab. 54). Für Vergleichsdaten zum Niederschlag wurde die nächstgelegene DWD-Station Forstinning (ca. 4,5 km nordöstlich von Anzing, Höhe 512 m ü.NN) herangezogen. Die mittlere Niederschlagshöhe (1961 – 90) beträgt hier 949 mm/a. Für weitere Klimadaten zur Berechnung der Gebietsverdunstung wurde die DWD-Klimastation Ebersberg herangezogen. Bei der Auswertung der eigenen Niederschlagsdaten ist zu berücksichtigen, dass während des 15-jährigen Untersuchungszeitraums mehrfach der Messstandort im Gebiet gewechselt werden musste. In Kenntnis des bekannten Niederschlagsgradienten (mittlere Zunahme des Niederschlages von Nord nach Süd um ca. 50 mm/a, SCHIRM 1968) wurde entschieden, die Messwerte der verschiedenen Messstellen (maximale Entfernung 4 km in Nord-Süd-Richtung) in einer unechten, das Gebiet über den Messzeitraum mittelnden Zeitreihe zusammenzufassen. Der so ermittelte Freilandniederschlag (1988 bis 2002) für das Wassereinzugsgebiet Anzing stimmt mit 997 mm/a gut mit der DWD-Station Forstinning überein (Tab. 54). Trockenstes Jahr war 1994 mit 86% vom 15-jährigen Mittel, während die letzten 4 Jahre überwiegend zu nass waren. Im Fichtenaltbestand der Intensivmessfläche Wald wurde eine Niederschlagsinterzeption von 144 bis 369 mm/a gemessen, das sind im Mittel 29 % des Niederschlages.

Tab. 54: Jährliche Wasserflüsse [mm] im Wassereinzugsgebiet Anzing

Hyd. Jahr	h_N^*	h_{FN}	h_{BN}	ETa (Wald)	h_{FN} -ETa (Wald)	ETa (Grünland)	h_{FN} -ETa (Grünland)
1988	874	901	618	<u>539</u>	361	<u>490</u>	411
1989	963	1047	695	554	<u>493</u>	520	527
1990	1085	<u>1190</u>	821	638	552	<u>633</u>	<u>557</u>
1991	992	1055	743	602	453	590	465
1992	925	920	587	576	344	495	425
1993	1070	1114	808	628	486	619	494
1994	<u>818</u>	<u>832</u>	<u>512</u>	569	<u>263</u>	514	<u>318</u>
1995	1064	1088	741	<u>630</u>	459	591	497
1996	979	928	725	545	383	541	387
1997	977	843	562	551	292	515	328
1998	899	886	620	560	326	525	361
1999	1022	1003	<u>859</u>	620	383	577	426
2000	1146	1068	809	610	458	559	509
2001	<u>1163</u>	992	707	624	367	577	415
2002	1127	1082	841	624	458	609	473
MW 88-02	1007	997	710	591	405	557	440

*) DWD Station Forstinning

Ergebnisse der Messgebiete

Die Berechnung des Wasserhaushalts stützt sich auf die Verdunstungswerte an den Intensivmessflächen. Die Ergebnisse des Standorts Wald sind näherungsweise auf den gesamten bewaldeten Teil des Einzugsgebiets übertragbar. Zunehmende Waldverjüngung und Baumartenwechsel sind nicht berücksichtigt. Für den Grünlandstandort wurde noch kein quantitativer Bezug zur gesamten Landwirtschaftsfläche hergeleitet. Die reale Verdunstung nach RENGER & WESSOLEK ergibt für den Waldstandort mit 591 mm/a einen höheren Wert als für den Grünlandstandort (557 mm/a). Wegen des intensiven Grasbewuchses auf der extensivierten Grünlandfläche in Verbindung mit seltener Mahd und häufigen Niederschlägen erscheint die hohe Verdunstung durchaus plausibel. (Tab. 55).

Die aus der klimatischen Wasserbilanz resultierenden, langjährigen Grundwasserneubildungsraten liegen zwischen 406 mm/a für Wald und 440 mm/a für Grünland. Die mit der Chloridmethode für die Intensivmessfläche Wald bestimmte Sickerwasserrate stimmt mit 388 mm/a sehr gut überein. Am Grünlandstandort ist sie dagegen infolge der gemessenen sehr niedrigen Chloridkonzentrationen im Sickerwasser (häufig unter 0,5 mg/l) gänzlich unplausibel. Es scheint daher fraglich, ob an diesen Standort mit der Saugkerzenmethode alle Sickerwasserfraktionen gleichmäßig beprobt werden. Möglicherweise wird die schnelle Sickerwasserkomponente (Makroporenfluss), die eine geringere Aufkonzentrierung erfährt, bevorzugt erfasst.

Tab. 55: Langjähriger Wasserhaushalt, Wassereinzugsgebiet Anzing

Parameter	Mittelwerte 88 – 2002	
	[mm]	[l/s*km ²]
h_{FN}	997	31,6
h_{BN}	710	22,5
h_I	287	9,1
ET_p (Haude)	641	20,2
ET_a (Wald) (Renger&Wessolek)	591	18,7
ET_a (Grünland) (Renger&Wessolek)	557	17,7
$h_{FN} - ET_a$ (Wald)	406	12,9
$h_{FN} - ET_a$ (Grünland)	440	14,0
SW_{200} Wald (Chloridmethode)**	388	12,3
SW_{200} Grünland (Chloridmethode)*	641	20,3

* 98 -2002 ** 89 – 2002

5.4.2.5 Stoffhaushalt

An beiden Standorten sind die Stoffeinträge aus der Bewirtschaftung vernachlässigbar, so dass der entscheidende Eintrag über die atmosphärische Deposition erfolgt. Der Grünlandstandort wird im Untersuchungszeitraum extensiv ohne Düngerausbringung bewirtschaftet. Der Stoffentzug mit der Grasmahd (2 mal im Jahr) wird hier nicht berücksichtigt.

Tab. 56: Stoffhaushalt im Messgebiet Münchener Schotterebene, Wassereinzugsgebiet Anzing, Intensivmessfläche Grünland, Mittelwerte in kg/ha*a für 97-2002, kursive Werte Mindestschätzung (häufig < NWG)

Parameter	Eintrag Freiland	Austrag* Grundwasserneubildung	Bilanz	Fracht Grundwasser Brunnen II
Protonen	0,13	0,00	0,13	0,00
o-Phosphat-Phosphor	<i>0,14</i>	0,32	- 0,18	0,01
Chlorid	4,04	3,50	0,54	54,73
Sulfat-Schwefel	3,98	8,09	- 4,11	23,22
Nitrat-N	4,47	7,59	-3,12	30,05
Ammonium-N	6,46	1,04	5,42	0,02
N-org.**	1,08	-	-	-
Calcium	7,58	479,30	- 471,72	390,44
Magnesium	<i>0,64</i>	77,59	- 76,95	106,74
Natrium	2,10	9,23	- 7,13	14,37
Kalium	1,79	21,54	- 19,75	5,88

* 200 cm Tiefe ** 1995 – 2002

Tab. 57: Stoffhaushalt im Messgebiet Münchener Schotterebene, Wassereinzugsgebiet Anzing, Intensivmessfläche Wald, Mittelwerte in kg/ha*a für 1988-2002, kursive Werte Mindestschätzung (häufig < NWG)

Parameter	Freiland- deposition	Bestandes- deposition	Gesamt- deposition*	Austrag** Grundwasserneubildung	Bilanz	Fracht Gw 01
Protonen	0,13	0,10	0,53	0,00	0,53	0,00
o-Phosphat-P	<i>0,14</i>	<i>0,10</i>	0,31	0,01	0,30	0,02
Chlorid	<i>2,99</i>	8,86	8,86	7,43	1,43	72,02
Sulfat-Schwefel	6,17	11,54	11,54	28,00	- 16,46	26,31
Nitrat-N	5,32	8,98	(9,64)	5,21	4,43	35,70
Ammonium-N	8,33	11,43	(13,41)	0,10	13,31	0,04
N-org.***	1,08	1,59	-	-	-	-
Calcium	6,78	13,02	10,03	291,71	- 281,68	434,01
Magnesium	<i>0,85</i>	3,50	1,22	54,52	- 53,30	117,03
Natrium	3,18	4,36	4,36	5,73	- 1,37	18,69
Kalium	1,96	14,82	2,83	1,66	1,17	7,07
Aluminium	0,16	-	-	0,06	0,10	0,06

* berechnet nach ULRICH (1991) ** 200 cm Tiefe *** 1995 – 2002

Dem Gesamtstickstoffeintrag am Grünlandstandort in Höhe von 12 kg/ha*a (1997 – 2002) steht ein Sickerwasseraustrag von 8,6 kg/ha*a gegenüber (Tab. 56). Überwiegend ausgewaschen werden große Mengen an Erdalkalien und Alkalien (insbesondere auch Kalium), in geringerem Umfang Sulfat sowie Phosphor. Die hohen Austräge von Calcium und Magnesium sind typisch für den dolomithaltigen Kalkschotter des Untergrundes. Auf den Grundwasserzstrom des untersuchten Brunnens wirken weitere Einflüsse aus landwirtschaftlichem Ackerbau und Siedlungsaktivitäten. Die Grundwasserfracht ist daher für Chlorid, Sulfat und Nitrat, aber auch Magnesium, wesentlich höher als die Sickerwasserfracht am Grünlandstandort.

Ergebnisse der Messgebiete

Am Waldstandort liegt die Stickstoffbelastung aus der Atmosphäre (1988 – 2002) bei 25 kg/ha*a (Tab. 57). Davon werden 80 % in Vegetation und Boden zurückgehalten. Schwefel dagegen wird stärker als am Grünlandstandort freigesetzt, eine Folge der jahrzehntelangen Ausfilterung von Schwefeldioxid durch den Fichtenbestand mit anschließender Speicherung im Boden. Während sich die Sulfateinträge in den 15 Messjahren um ca. 75 % reduziert haben, verharren die Stickstoffeinträge auf gleichbleibend hohem Niveau. Der Calciumaustrag ist erheblich geringer als am Grünlandstandort, Kalium verbleibt weitgehend im Ökosystem. Im sauren Oberboden kräftig freigesetztes Aluminium erreicht den karbonatgepufferten tieferen Sickerraum nur in Spuren. Vergleichbar dem Brunnen der Wasserversorgung ist der Grundwasserzustrom zur Grundwassermessstelle Gw01 sehr stark von landwirtschaftlichen und Siedlungsaktivitäten beeinflusst.

5.4.2.6 Organische Stoffe aus der Atmosphäre

Der Messstandort wird im Nahbereich von Westen durch landwirtschaftliche Flächen mit wechselnder Fruchtfolge beeinflusst. Der Einsatz von Terbutylazin und zeitweise Prosulfocarb in der näheren Umgebung ist wahrscheinlich. Ersteres konnte bis zu Konzentrationen von 300 ng/l, sein wichtigster Metabolit bis 235 ng/l nachgewiesen werden. Atrazin wurde das letzte Mal im Juli 1997 mit 25 ng/l nachgewiesen. Diese Konzentration deutet auf eine Fernverdriftung hin. Unterschiede zwischen den an diesem Standort eingesetzten zwei Sammeltechniken (wet-only-Sammler und ständig offener Sammler) wurden weder für PBSM noch für Nitrophenole festgestellt. Trotz anzunehmender Einflüsse aus dem Ballungsraum München konnten keine erhöhten Nitrophenolkonzentrationen beobachtet werden.

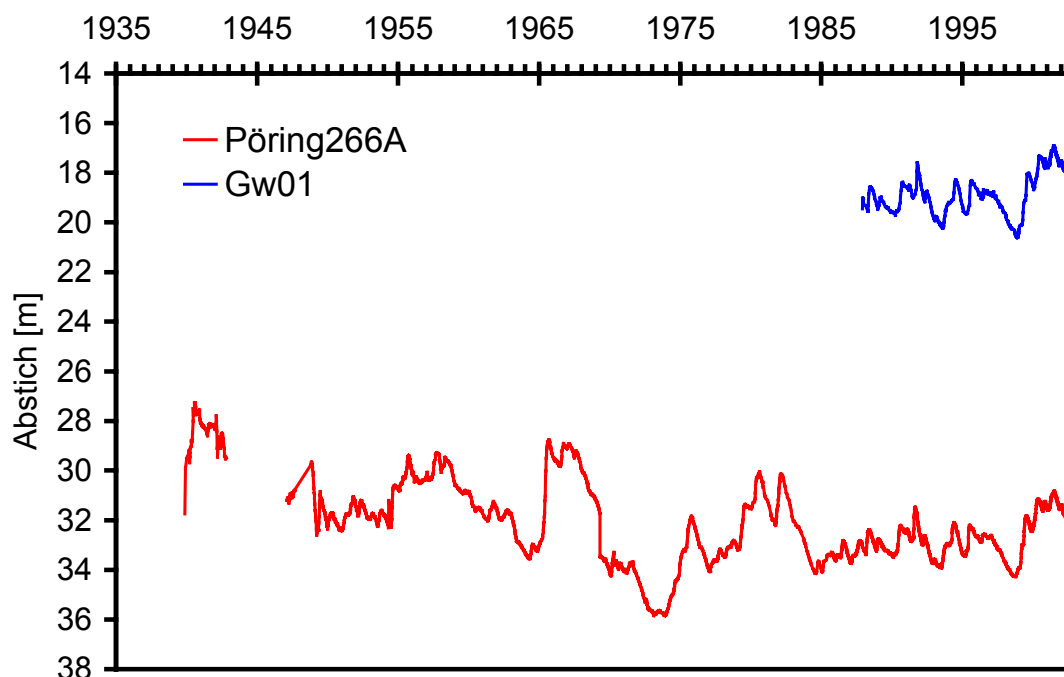


Abb. 59 Langjährige Entwicklung des Grundwasserstands in der östlichen Münchener Schotterebene

5.4.2.7 Grundwasserverhältnisse

Der Grundwasserstrom des Einzugsgebietes hat seine Wurzel im Endmoränenbogen des Bereichs Zorneding - Eglfing und den südwestlich angrenzenden Terrassensedimenten der Schotterebene. Er bewegt sich von Süden aus überwiegend landwirtschaftlich genutzter Fläche dem Ebersberger Forst zu und unterliegt ab hier weitgehend dem Einfluss der Waldbedeckung. Die Flurabstände nehmen von Süden nach Norden hin ab. Sie schwanken zwischen 17 und 23 m an den südlichen Messstellen (z.B. Gw01, Intensivmessfläche Wald) und zwischen 7 und 16 m an den nördlichen (z.B. Rohwassermessstelle Brunnens II).

Seit Ende der 90er Jahre stiegen die Grundwasserstände auf Grund ergiebiger Niederschläge und verharteten bis zum Herbst 2003 auf hohem Niveau (Abb. 59). Eine seit 1939 beobachtete Vergleichsmessstelle zeigt, dass solche Situationen auch in früheren Jahren auftraten. Trotz wesentlich höheren Flurabstands und abweichender Geologie (Bohransatzpunkt in Moräne) ist die Gangliniencharakteristik mit der Messstelle Gw01 sehr gut vergleichbar.

Die Kalkschotterwässer befinden sich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Hydrogencarbonat mit 200 – 400 mg/l, Calcium mit 60 – 100mg/l und Magnesium mit 20 –30 mg/l bestimmen den Lösungsinhalt. Mit einer mittleren Leitfähigkeit von 650 µS/cm ist das Grundwasser an der Messstelle Gw01 typisch für die anthropogen überprägten Kalkschotterwässer der Region. Es ist nach FURTA&LANGGUTH (1967) als „normal erdalkalisch, überwiegend hydrogencarbonatisch“ einzustufen. Die Erdalkalien machen 98 % der Kationen, Hydrogencarbonat 78 % der Anionen aus (Abb. 60). Mit einer Härte von 20 °dH ist das Grundwasser dem Härtebereich 4 nach Waschmittelgesetz zuzuordnen.

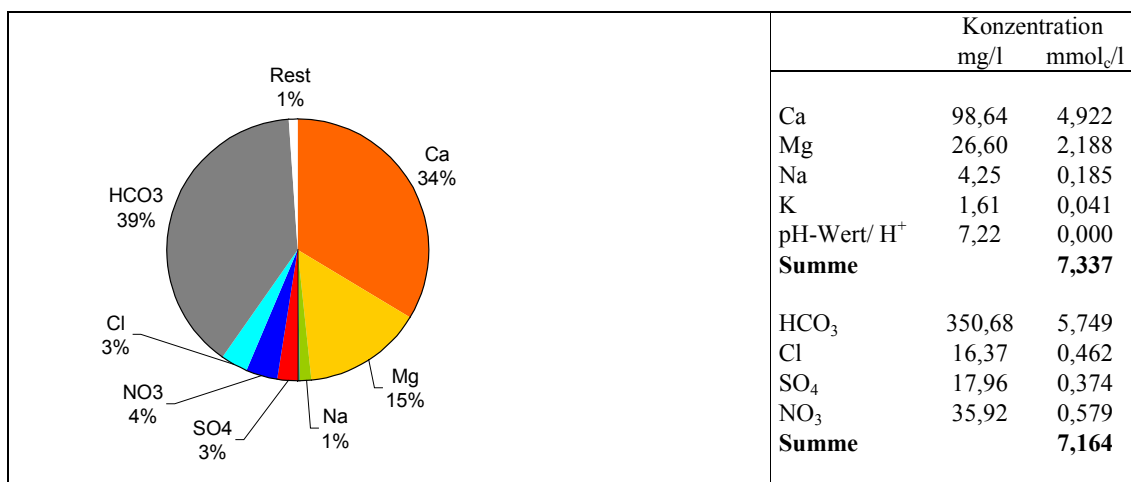


Abb. 60 Mittlere Grundwasserbeschaffenheit (1987-2002), Messstelle Gw01, Wassereinzugsgebiet Anzing

Ergebnisse der Messgebiete

Die Schotter kalkalpinen Ursprungs stellen einen nahezu unerschöpflichen Carbonatpuffer dar, so dass die Gefahr einer Versauerung des Grundwassers nicht gegeben ist. Deutliche Einflüsse gehen von der Intensivlandwirtschaft sowie Siedlungs- und Gewerbenutzungen im Süden des Zustromgebietes aus. Im Grundwasser mit einer Fließrichtung von Südsüdwest nach Nordnordost werden Nitratgehalte von 25 – 50 mg/l im Grundwasser beobachtet. Im Wald werden dem Grundwasser unter ungestörten Fichtenbeständen Nitratkonzentrationen unter 20 mg/l, meist unter 10 mg/l mit dem Sickerwasser zugeführt (s. auch Tab. 66). Der Vergleich der beiden Messstellen, die südliche überwiegend landwirtschaftlich (Gw 01), die nördliche überwiegend forstlich beeinflusst (Rohwassermessstelle Brunnen II), zeigt, dass der Waldbestand daher kaum zu einer Reduzierung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser beiträgt (Abb. 61).

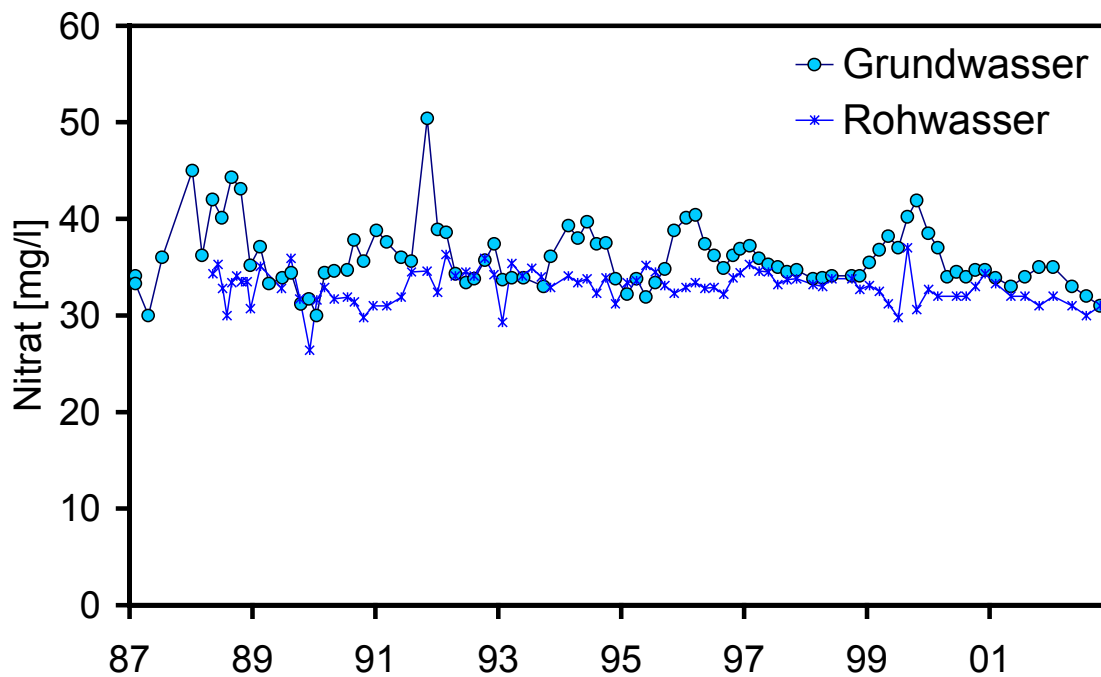


Abb. 61 Ganglinien der Nitratkonzentrationen im Grundwasser, Wassereinzugsgebiet Anzing

Vergleicht man den Verlauf der Nitratkonzentration an der Grundwassermessstelle Gw01 mit den Grundwasserständen kann man Rückschlüsse auf die Dynamik der Belastungen ziehen. Die Maximalwerte im Zeitraum von 1987 bis 2000 treten immer bei hohen Grundwasserständen auf, bescheidene Verdünnungsprozesse treten erst mit überdurchschnittlich hoher Grundwasserneubildung in den nassen Jahren 2000 bis 2002 auf, wobei ein Schwellenwert von 30 mg/l nicht unterschritten wird. Offenbar führt hier hohe Grundwasserneubildung im Zustrombereich der Messstelle zu zunehmender stofflicher Belastung des Grundwassers.

5.4.2.8 Wasserversorgung

Das Wassereinzugsgebiet Anzing ist das erweiterte Bilanzdeckungsgebiet für zwei Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung im nordwestlichen Ebersberger Forst. Brunnen II wird als MSGw-Messstelle Rohwasser regelmässig beprobt. Als vollständiger Brunnen mit einer Ausbautiefe von 31 m erreicht er die Oberkante der Oberen Süßwassermolasse und erschließt das Schottergrundwasser mit einer Mächtigkeit von etwa 15 m. Die Entnahmemengen betragen für beide Brunnen im Mittel ca. 430.000 m³/a, wovon über 95 % aus Brunnen II gefördert werden. Das Wasserschutzgebiet umfasst eine Fläche von 5,3 km², wovon 95 % als Zone III ausgewiesen sind.

5.4.3 Intensivmessflächen Münchener Schotterebene – Wald und Grünland

5.4.3.1 Lage

Die beiden Intensivmessflächen im Wassereinzugsgebiet Anzing repräsentieren die dominierenden Landnutzungen Wald und Landwirtschaft. Im südwestlichen Randbereich des Ebersberger Forstes nahe Zorneding/Pöring liegt die Intensivmessfläche Wald, ca. 4 km nördlich bei Anzing/Oblfing die Intensivmessfläche Grünland mit zugehöriger Klimastation (s. Abb. 56). Die Intensivmessfläche Wald mit 1987 begonnenen Datenreihen wurde aus dem Vorlaufprojekt übernommen (Messfläche 01 in LFW 1994a). Ergänzende Daten liefert eine nördlich gelegene Windwurffläche, an der die 1987 begonnene Sickerwasserbeobachtung stark reduziert fortgeführt wird.

5.4.3.2 Bewirtschaftung und Waldzustand

Die forstliche Intensivmessfläche wird von Fichten dominiert, die 2002 im Mittel 70 Jahre alt waren. Kiefern treten mit einem Prozentsatz von 14 % auf. Die ertragskundlichen Daten des Bestandes sind in Tab. 58 zusammengestellt.

Tab. 58: Forstinventurdaten, Intensivmessfläche Wald, Wassereinzugsgebiet Anzing, 1988

Parameter	Inventurdaten	Bemerkung
Alter	70	
Flächengröße [ha]	0,1563	
Zahl der Bäume / ha	Fichte: 416 Kiefer: 70	Kraftklassen 1 + 2 Kraftklassen 1 + 2
Baumhöhe [m]	25,36	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Kronenlänge [m]	9,90	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Höhe d. Kronenansatzes [m]	15,46	arith. Mittel aus 10 % d. Bäume aller Kraftklassen
Brusthöhendurchmesser [m]	0,259	arith. Mittel d. Bäume der Kraftklassen 1 + 2
Kreisfläche [m ² /ha]	45,756	Mittel aller Bäume nach BITTERLICH (1952)
Vorrat [Efm.o.R./ha]	459,17	Berechnung nach KRENN (1950) in Erntefestmeter ohne Rinde

Im Umfeld der Intensivmessfläche wurden gemäss der forstlichen Bewirtschaftungsplans die Bestände in der 2. Hälfte der 90er Jahre durchforstet, d.h. die Bäume im Unterstand entfernt. Um eine Sondersituation auf der Messfläche zu vermeiden, wurde dort Anfang 1997 eine entsprechende Maßnahme umgesetzt.

Ergebnisse der Messgebiete

Die mittleren Entnadelungsprozente als Ausdruck des Waldzustands bewegen sich im Untersuchungszeitraum zwischen 13 und 24 % (Abb. 62). Während im vergangenen Jahrzehnt der Bestand durchschnittlich bis überdurchschnittlich geschädigt war, konnte 2002 im Vergleich mit dem bayernweiten Mittel eine deutliche Verbesserung des Waldzustandes beobachtet werden. Für die ca. 4 km nordwestlich im Zentrum des Ebersberger Forst gelegene Waldklimastation wurde für das Jahr 2002 ebenfalls ein niedriges Entnadelungsprozent ermittelt.

Die Intensivmessfläche Grünland wird seit 1996 betrieben. Die Bewirtschaftung ist extensiv mit Verzicht auf Düngemittel und zwei- dreimaliger Mahd pro Jahr, nicht vor dem 1. Juli. Die frühere Nutzung war Acker.

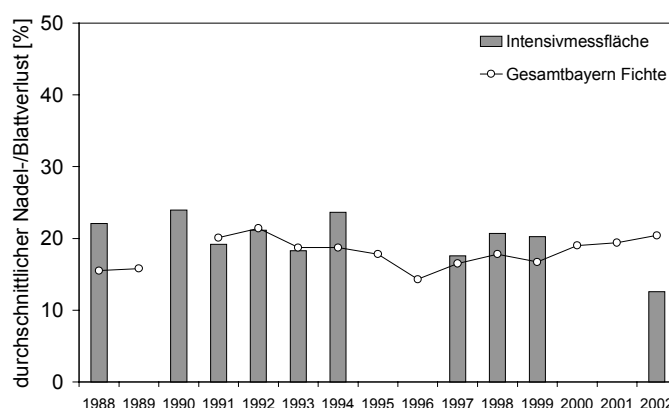


Abb. 62 Entwicklung der mittleren Entnadelungsprozente im Vergleich mit den bayernweiten Daten des Waldzustandsberichts (LWF 2002), Münchener Schotterebene Intensivmessfläche Wald

5.4.3.3 Profilbeschreibung

Intensivmessfläche Wald (Abb. 63):

Der Boden ist eine 50-70 cm mächtige, entkalkte Parabraunerde mit schwacher Podsoligkeit, als Verwitterungsprodukt hervorgegangen aus dem anstehenden Niederterrassenschotter. Eine ca. 6 cm mächtige rohumusartige Moderauflage ist typisch für die örtlichen Fichtenbestände. Der Feinboden aus mittel- bis stark sandigem, zum Teil schluffigem Lehm bildet das Zwischenmittel des Geröllanteils, der von 15-54 Gew. % (A-Horizont) auf 81 Gew. % (Cv-Horizont) ansteigt. Lehmzapfen und -Taschen, die in den unverwitterten Kies hineingreifen, sind das Ergebnis periglazialer, kryptoturbativer Überformung. Bis 36 m unter Gelände wurden fein- bis grobkiesige, sandige und schwach schluffige, pleistozäne Terrassensedimente erbohrt. Die Oberkante der anstehenden tertiären Feinsedimente ist wenige m tiefer anzunehmen. Einschaltungen von Nagefluh sind unbedeutend und hydraulisch unwirksam. Bis zum Grundwasserspiegel ist eine ca. 20 m mächtige Sickerzone bzw. Grundwasserüberdeckung ausgebildet.

Intensivmessfläche Grünland (Abb. 63):

Der Boden ist eine ca. 70 cm mächtige, bis ca. 1990 unter Acker stehende, entkalkte Braunerde. Er ist als stark sandiger Lehm aus geringmächtigen spät- bis postglazialen Grobschottern hervorgegangen, die hier rinnenförmig über dem Niederterrassenschotter abgelagert wurden. Mit 51 bis

81 Gew. % ist der Geröllanteil durchwegs sehr hoch. Aus den benachbarten Bohrprofilen kann gefolgert werden, dass auch hier die üblichen fein- bis grobkiesigen Terrassensedimente anstehen. Allerdings stehen in der Nähe Reste eingeschotterter Altmoränen an, die sich möglicherweise im tieferen Untergrund fortsetzen. Die Tertiäroberkante ist in einer Tiefe von ca. 25 m anzutreffen. Bis zum Grundwasserspiegel ist eine mindestens 8 - 10 m mächtige Sickerzone bzw. Grundwasserüberdeckung ausgebildet.



Abb. 63 Bodenprofile der beiden Intensivmessflächen, Wassereinzugsgebiet Anzing, Aufnahmen 1997 (links Grünland, rechts Wald)

5.4.3.4 Bodenfestphase

Die obersten Bodenschichten der Intensivmessfläche Wald erhalten einen erheblichen, unverwitterten Steinanteil, der im Auflagehorizont 34 % erreicht (Tab. 59). Der höhere Schluffanteil im A-Horizont ist ein Hinweis auf äolischen Einfluss. Typisches Zwischenmittel des anstehenden Schotters (Cv) ist ein schluffiger Sand. Entkalkung und Versauerung erreichen etwa 50 cm Tiefe mit pH (CaCl₂)-Werten von 3,0 bis 4,1. Mit kurzem Übergang steigen die pH-Werte in den alkalischen Bereich, auch angezeigt durch zunehmende Kohlenstoffgehalte aus dem hier kalkhaltigen Substrat.

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 59: Kenndaten für pH, C, P und N, Intensivmessfläche Wald, Wassereinzugsgebiet Anzing, 1997

Bodentyp: Parabraunerde Humusform: Moder											
Horiz.	Tiefe [cm]	Textur	Skelett [Gew. %]	dB _F [g/cm ³]	C [%]	N [%]	C/N	P _{citrat} [mg/kg]	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (CaCl ₂)
OLF(H)	5,5 – 0		34	0,09	46,0	1,73	27	120	3,80	3,05	3,20
A(e)h	0 – 3	Ls2	15	0,36	27,5	1,24	22	54	3,44	2,71	2,96
A11	3 – 10	Ls2	17	0,65	3,7	0,21	18	8	4,03	3,62	3,67
A12	10 – 27	Uls	54	0,75	2,1	0,13	16	11	4,42	4,05	4,16
IIBt	27 – 55	Ls4	60	0,44	0,6	0,05	11	9	4,46	3,97	4,07
BtCv	55 – 70	Ls4	69	0,50	3,1	0,07	44	6	6,55	6,36	6,30
Cv	70-100	Su2	81	0,23	6,3	0,03	254	5	8,73	8,25	7,78

Tab. 60: Austauschbar gebundene Kationen, Intensivmessfläche Wald, Wassereinzugsgebiet Anzing, 1997

Bodentyp: Parabraunerde Humusform: Moder										
Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e [%]								AK _e	BS
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn	[mmol _e /kg]	[%]
OLF(H)	48,9	10,6	4,7	0,4	10,0	12,5	1,1	11,7	211,8	64,7
A(e)h	42,1	8,4	2,3	0,2	22,6	16,0	2,8	5,8	151,0	52,9
A11	2,4	1,9	1,1	0,3	86,1	3,2	0,9	4,0	69,7	5,8
A12	2,7	1,8	1,1	0,5	90,0	0,9	0,0	3,0	40,2	6,1
IIBt	1,3	1,4	1,2	0,4	92,3	2,2	0,0	1,3	64,4	4,3
BtCv	91,6	7,5	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	218,2	99,9
Cv	95,1	4,7	0,2	0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	176,3	100,0

Calcium und Magnesium dominieren die Austauschbelegung in der Auflage und im obersten Mineralboden, sodann wieder im Übergang zum karbonathaltigen Cv-Horizont (Tab. 60). Im unteren Teil des versauerten Bereiches erreicht die Aluminiumbelegung über 90 %, geht aber mit stark ansteigendem pH-Wert extrem zurück. Spiegelbildlich zeigt dies der Tiefenverlauf der Basensättigung. Mobilisierbares Aluminium kann somit kaum das Grundwasser erreichen. Die beachtlichen Mangananteile sind auf den stark sauren Bodenbereich beschränkt.

Tab. 61: Gesamtvorräte [kg/ha], Intensivmessfläche Wald, Wassereinzugsgebiet Anzing, 1997

Bodentyp: Parabraunerde Humusform: Moder										
Horizont	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	N	P	S
OLF(H)	101	20	34	3	125	107	27	565	32	54
A(e)h	177	81	80	8	702	672	28	949	59	115
A11	416	1034	558	48	7781	7131	428	848	137	113
A12	504	1584	815	65	11284	10094	581	762	194	82
IIBt	511	1851	1067	69	12270	11412	303	248	124	69
BtCv	11995	4895	580	40	5065	4948	207	163	70	100
Cv	14840	4434	126	28	738	924	42	33	26	104
Summe	28544	13898	3259	260	37965	35288	1616	3569	643	638

Aluminium und Eisen, zusammen mit Kalium und Mangan, dominieren den Gesamtelementvorrat im Bereich der Anreicherungshorizonte, Calcium und Magnesium im Übergang zum karbonathaltigen Schotter (Tab. 61). Die 3,5 t/ha Stickstoff beschränken sich weitgehend auf den verwitterten Mineralboden und die Humusaufgabe.

Die Intensivmessfläche Grünland befindet sich im Bereich einer lokal ausgebildeten postglazialen Ablagerung von Grobschottern. Der Skelettanteil in den reinen Schotterlagen entspricht mit ca. 80 % dem an der Intensivmessfläche Wald. Darüber prägt ein hoher Steinanteil von über 50 % auch den Pflughorizont. Der ehemalige Ackerstandort ist im Oberboden weniger sauer, als der Waldstandort (pH-Wert um 5). Er erreicht jedoch in der selben Tiefe von 70-100 cm den alkalischen Bereich, was auf die gemeinsame Entkalkungsgeschichte hinweist. Bemerkenswert sind die bis in den tieferen Schotter (200 cm) zu findenden Stickstoffgehalte der Feinerde (Tab. 62).

Tab. 62: Kenndaten für pH, C, P und N, Intensivmessfläche Grünland, Gebiet Münchener Schotterebene, 1998

Bodentyp: Braunerde								
Horizont	Tiefe [cm]	Textur	Skelett [Gew. %]	dB _F [g/cm ³]	C [%]	N [%]	C/N	pH (CaCl ₂)
Ap1	0 – 10	Ls4	57	0,51	2,39	0,31	7,61	5,02
Ap2	10 – 28	Ls4	51	0,57	1,92	0,29	6,58	4,87
Bv1	28 – 50	Ls4	72	0,37	0,45	0,15	3,09	5,23
Bv2	50 – 73	Ls4	57	0,64	0,28	0,15	1,93	6,37
IICn1	73 – 98	Ss	81	0,33	5,80	0,26	0,48	7,06
IICn1	98–123	Ss	81	0,33	5,76	0,28	0,41	7,13
Cn2	123-145	Ss	66	0,58	5,19	0,33	0,24	7,13
Cn2	145-170	Ss	49	0,80	4,97	0,37	0,20	7,20
Cn3	170-200	Ss	81	0,35	6,56	0,49	0,19	7,38

Tab. 63: Austauschbar gebundene Kationen, Intensivmessfläche Grünland, Gebiet Münchener Schotterebene, 1998

Bodentyp: Braunerde										
Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e [%]								AK _e [mmol _c /kg]	BS [%]
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn		
Ap1	80,5	9,0	4,4	0,3	1,7	0,0	0,0	4,1	83,2	94,2
Ap2	79,6	8,1	3,7	1,3	3,6	0,0	0,0	3,7	73,3	92,6
Bv1	78,3	12,8	6,1	0,0	1,4	0,0	0,0	1,5	48,0	97,1
Bv2	76,4	20,4	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	94,4	99,8
IICn1	86,1	13,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	182,6	100,0
IICn1	88,6	11,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	186,2	99,9
Cn2	90,9	8,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	183,9	99,9
Cn2	95,4	4,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	179,9	99,9
Cn3	92,4	6,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	184,1	99,9

Den pH-Werten entsprechend findet sich nur bis 50 cm Tiefe eine schwache Austauscherbelegung mit Aluminium und Mangan (Tab. 63). Die Basensättigungen liegen auch hier über 90 %.

Ergebnisse der Messgebiete

Mit ca. 180 mmol_c/kg ist die Gesamtaustauschkapazität des Feinsediments im anstehenden Schotter an beiden Intensivmessflächen gleich hoch.

Tab. 64: Gesamtvräte [kg/ha], Intensivmessfläche Grünland, Gebiet Münchener Schotterebene, 1998

Bodentyp: Braunerde										
Horizont	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cd	Pb	N
Ap1	869	710	1597	1059	7001	4204	391	0,065	7,722	1581
Ap2	1940	1645	3657	2424	16956	9637	893	0,147	17,77	2998
Bv1	724	719	1839	1275	7646	4156	183	0,020	4,15	1189
Bv2	2614	2526	4803	2762	20034	12580	491	0,081	9,79	2146
IICn1	21509	5779	597	419	1922	1060	55	0,016	1,00	2086
IICn1	20986	6214	684	429	2204	1183	60	0,017	1,07	2291
Cn2	54650	12042	1808	1166	5071	2703	152	0,043	2,36	4154
Cn2	124185	25902	3580	2753	11342	5905	366	0,108	5,80	7418
Cn3	30985	7495	608	473	2023	1148	68	0,020	1,02	5078
Summe*	27657	11378	12493	7940	53558	31636	2014	0,329	40,44	10000

* bis 98 cm Tiefe

Für Aluminium, Eisen und Mangan sind maximale Vorräte im Pflughorizont und im Bv2-Horizont (50-73 cm) ausgebildet (Tab. 64). Auch in den sandreicheren (skelettärmeren) Lagen finden sich erhöhte Werte.

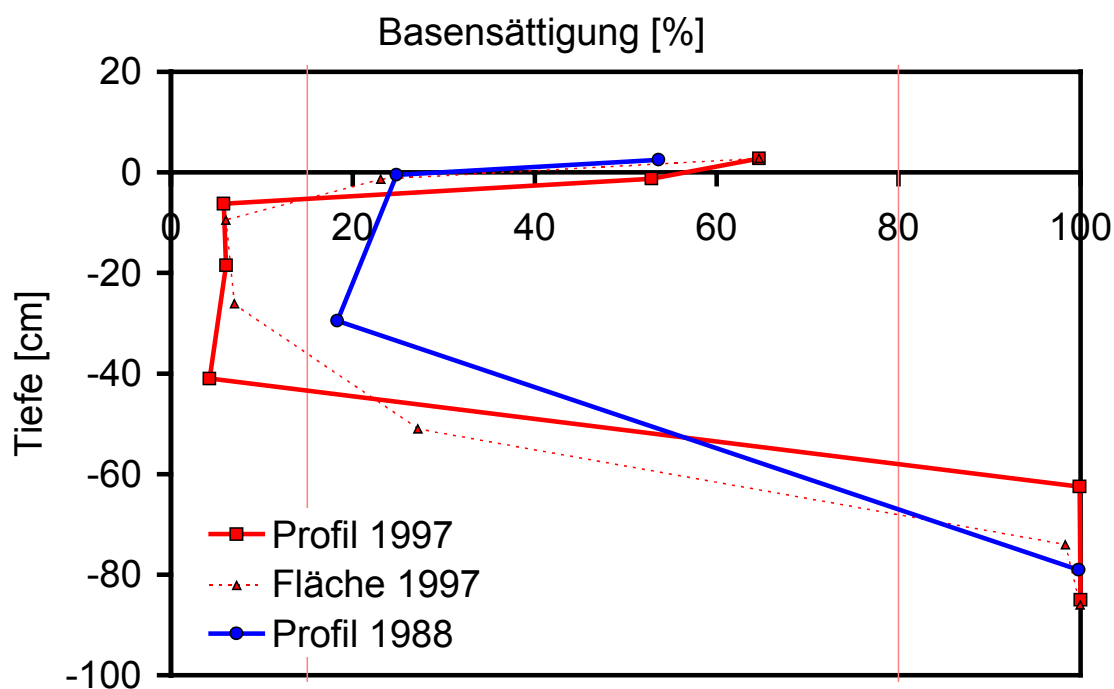


Abb. 64 Tiefenverlauf der Basensättigung, Intensivmessfläche Wald, Wassereinzugsgebiet Anzing

Entsprechend zeigen die Spurenmetalle Anreicherungen im Ap-Horizont (wohl mit anthropogenem Anteil) sowie Bv2- und Cn2-Horizont. Die Kaliumwerte liegen weit über denen des Waldstandorts.

Die zeitliche Entwicklung der Basensättigung ist mit Einschränkung zu bewerten, da die Probenahme 1997 erstmals flächenbezogen, differenzierter und auf neu angelegter Bodendauerbeobachtungsfläche erfolgte. Eine fortschreitende Versauerung der A- und B-Horizonte zeichnet sich ab (Abb. 64).

Für die Erhebung bodenphysikalischer Parameter wurden die Haupthorizonte summarisch zusammengefasst (Tab. 65). Die an Laborproben bestimmte nutzbare Feldkapazität des Waldbodens ist gering. Sie beträgt für den A- und B-Horizont der Intensivmessfläche unter Berücksichtigung eines Steinanteils von 30 Prozent 42 mm. Für die gesamte Waldfläche im Wassereinzugsgebiet Anzing wurden im Mittel 56 mm bestimmt. Wegen der geringen pflanzenverfügbaren Wasservorräte ist die Transpiration der Waldbestände häufig eingeschränkt. Andererseits begünstigt der hohe Grobporenanteil den schnellen Sickerwasserfluss, u.U. auch ohne vorausgehende Aufsättigung des Bodens. Nach Starkniederschlägen kann es auch im Sommer zu Grundwasserneubildung kommen.

Tab. 65: Bodenphysikalische Kenndaten, Intensivmessfläche Wald, Messgebiet Münchener Schotterebene

Horizont	Tiefe [cm]	Trocken- substanz [Vol.%]	Lagerungsdichte [g/cm ³]	Gesamt- porenvol. [Vol.%]	Luft- kapazität [Vol.%]	Feld- kapazität [Vol.%]	nutzbare Feldkap. [Vol.%]
Ah	0 - 6	29,4	0,76	70,6	43,6	27,0	12,9
Bv	6 – 66	46,4	1,23	53,6	33,0	20,6	8,1
Cv*	66 -	-	2,01	24,4	19,5	-	-

* Proben aus 2 naheliegenden Kiesgruben

Abb. 65 zeigt die Beziehung Saugspannung bzw. Matrixpotential und Wassergehalt für den Waldboden. Maßgeblich für den Wasserhaushalt und die potentielle Grundwasserneubildung sind die Eigenschaften der mehr oder weniger verlehnten Bodenaufgabe (A- und B-Horizont.). Für den reinen Schotter (sandiger Kies) wurden nur die Eckpunkte bei Matrixpotential pF 0 (Wassersättigung, 24,4 Vol.%) und Matrixpotential pF 4,2 (Wassergehalt 4,9%) ermittelt. Hier ist die nutzbare Feldkapazität (pF 1,8-4,2) sehr gering anzusetzen. Sie hat für den pflanzlichen Wasserentzug wenig Bedeutung.

Ergebnisse der Messgebiete

5.4.3.5 Bodenlösungsphase

Im Wassereinzugsgebiet Anzing erfolgte die Sickerwasser-Probenahme an den Intensivmessflächen Wald und Grünland sowie auf einer Windwurf-Fläche. Das Sickerwasser der Intensivmessstelle Grünland erreicht den höchsten Mineralisierungsgrad mit mittleren Leitfähigkeiten von 295 bzw. 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tab. 66). Diese sind überwiegend durch hohe Konzentrationen von Calcium und Hydrogencarbonat verursacht, die saisonal mit Maxima in den Sommermonaten schwanken. Auffällig ist die hohe Phosphatkonzentration, insbesondere in 50 cm Tiefe, die wahrscheinlich auf die Vornutzung als Acker zurückzuführen ist. Nach einem anfänglichen Maximum nach Saugkerzeneinbau bewegen sich die Nitratkonzentrationen deutlich unter 10 mg/l (Abb. 67).

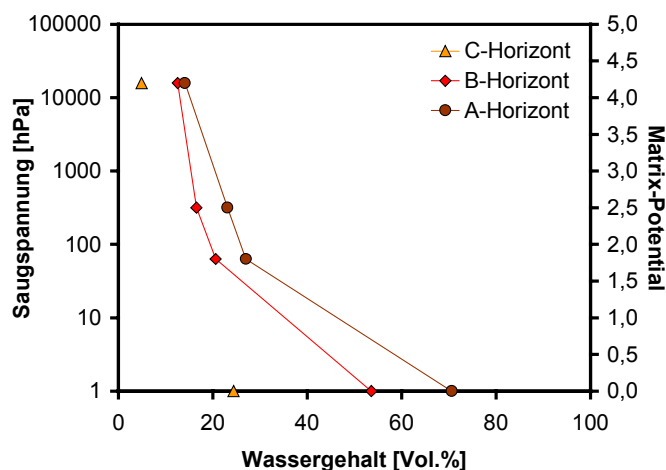


Abb. 65 pF-WG-Beziehung, Intensivmessfläche Wald, Messgebiet Münchener Schotterebene

Tab. 66: Beschaffenheit des Sickerwassers, Messgebiet Münchener Schotterebene (Mittelwert 89–2002 für die Waldstandorte, 98–2002 für den Grünlandstandort)

Tiefe [cm]	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH-Wert	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]
W											
50	81	6,01	1,6	17,1	8,1	10,3	1,9	1,2	0,1	0,008	19,1
200	422	7,60	1,8	20,7	5,7	71,8	13,4	1,5	0,4	0,005	245,2
GL											
50	295	6,95	0,4	3,3	2,8	56,2	8,1	0,7	4,3	2,573	215,4
200	570	7,49	0,8	5,5	7,6	108,9	17,6	2,1	4,9	0,241	405,7
WW											
150	493	7,61	2,1	36,8	13,7	84,1	16,6	1,8	0,2	0,038	272,1

W: intakte Waldfläche; GL: Grünland ; WW: Windwurf- und Wiederaufforstungsfläche

Wie die Bodeneigenschaften erwarten lassen, zeigt das Sickerwasser an den Waldstandorten eine deutlich abweichende Beschaffenheitscharakteristik. Gegenüber dem Grünlandstandort geringere Konzentrationen von Erdalkalien, Alkalien und Hydrogencarbonat ergeben auch in 200 cm Tiefe einen wesentlich geringeren Lösungsinhalt. Die Messtiefe 50 cm charakterisiert den Einfluss der versauerten Bodenschicht (A- und Bt-Horizont). Hier treten regelmäßig pH-Werte unter 5,0 in Verbindung mit Aluminiumkonzentrationen von mehreren mg/l auf. Die relativ hohe Sulfatkon-

zentration ist auf atmosphärischen Schwefeleintrag zurückzuführen. Bis 200 cm Tiefe deutet sich eine stärkere Freisetzung an. In Phasen hoher Bestandesstabilität bleiben die Nitratwerte unter 10 mg/l. In instabilen Phasen (verstärkte Nitrifikation, begrenztes Aufnahmevermögen) wird im tieferen Sickerraum ein Maximum von 31,1 mg/l erreicht (Abb. 66). Die dritte Messstelle

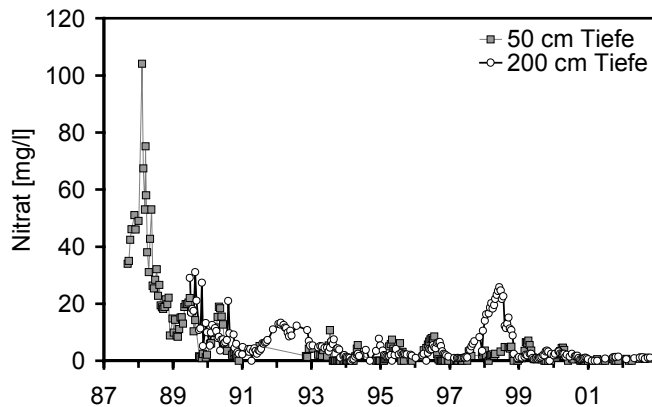


Abb. 66 Nitratkonzentrationen im Sickerwasser der Intensivmessfläche Wald, Wassereinzugsgebiet Anzing

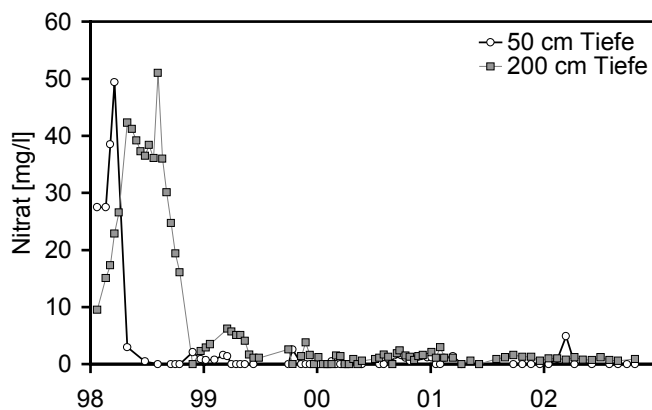


Abb. 67 Nitratkonzentrationen im Sickerwasser der Intensivmessfläche Grünland, Wassereinzugsgebiet Anzing

befindet sich in einem sturmge-
worfenen Fichtenaltbestand. Hier
werden die Folgen des Wind-
wurfs, des nachfolgenden Bor-
kenträufers und der Wieder-
aufforstung für die Sickerwasser-
beschaffenheit dokumentiert. Die
mittlere Leitfähigkeit in 200 cm
Tiefe liegt mit 493 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zwi-
schen der intakten Waldfläche
und der Grünlandfläche (Tab. 66).

Das Windwurfereignis im Herbst
1991, in Verbindung mit Frei-
stellung des Bodens und zusätz-
lich anfallendem organischen
Material, hatte in 150 cm Tiefe
Nitratkonzentrationen bis 80 mg/l
zur Folge (Abb. 68). Über 2 Jahre
hielt die erhöhte Nitratmobilisie-
rung an und klang in den 3 Fol-
gejahren langsam ab. Seit 1997
blieb die Konzentration unter 5
mg/l. Die Sturmholzentnahme hat
neben dem Nitratschub auch eine
Verringerung von Stoffkonzent-
rationen zur Folge. Sie ergibt sich
aus der Zunahme der Sickerwas-

serrate (geringere Verdunstung) und dem Wegfall der Stoffausfilterung im Kronenraum (geringere atmosphärische Deposition). So wird z.B. Chlorid verstärkt ausgewaschen, wobei die mittlere Konzentration von ca. 4 – 6 mg/l im intakten Waldbestand auf unter 1 mg/l nach Freistellung des Standorts zurückgeht. Der waldbedeckte Teil des Wassereinzugsgebietes Anzing war mit ca. 45 % von den Folgen des Sturmwurfs betroffen. Das entspricht einer Teilfläche von 17 % des gesamten Einzugsgebietes, wobei sich die betroffenen Waldflächen allerdings im brunnennahen Abschnitt befinden. Eine signifikante Veränderung der Nitratkonzentration im Rohwasser des Brunnens als Folge der Strukturveränderung der Waldbestände konnte nicht beobachtet werden (s. Abb. 61). Die Entwicklung der Bodenfeuchte wurde auf der Intensivmessfläche Grünland

Ergebnisse der Messgebiete

registriert. Intensive Austrocknung in der Vegetationsphase kennzeichnet die 50 cm-Messebene, während in 200 cm Tiefe eher gleichbleibende Feuchtebedingungen herrschen (Abb. 69). Hier können allerdings bereits geringe Rückgänge der Saugspannung unter ca. 40 hPa einen Sickerwasserschub anzeigen. Die intensiven Niederschläge im Mai führten zu kräftiger Wiederbefeuchtung in 50 cm Tiefe, lösten aber in 200 cm Tiefe keinen Sickerwasserschub aus. Dementsprechend sank der Grundwasserstand weiter. Erst die ergiebigen Niederschläge von Ende Juli/Anfang August führten zu einer intensiven Wiederbefeuchtung des gesamten Profils und in der Folge zu einem raschen Anstieg der Grundwasserstände. Ab Ende September blieb der Boden gut durchfeuchtet, das Grundwasser wurde kontinuierlich aufgefüllt.

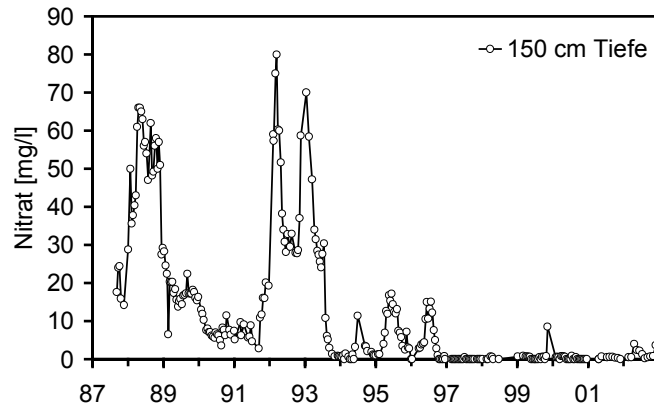


Abb. 68 Nitratkonzentration im Sickerwasser der Windwurffläche (Windwurf Herbst 1991, Laubholz-Aufforstung 1992), Wassereinzugsgebiet Anzing

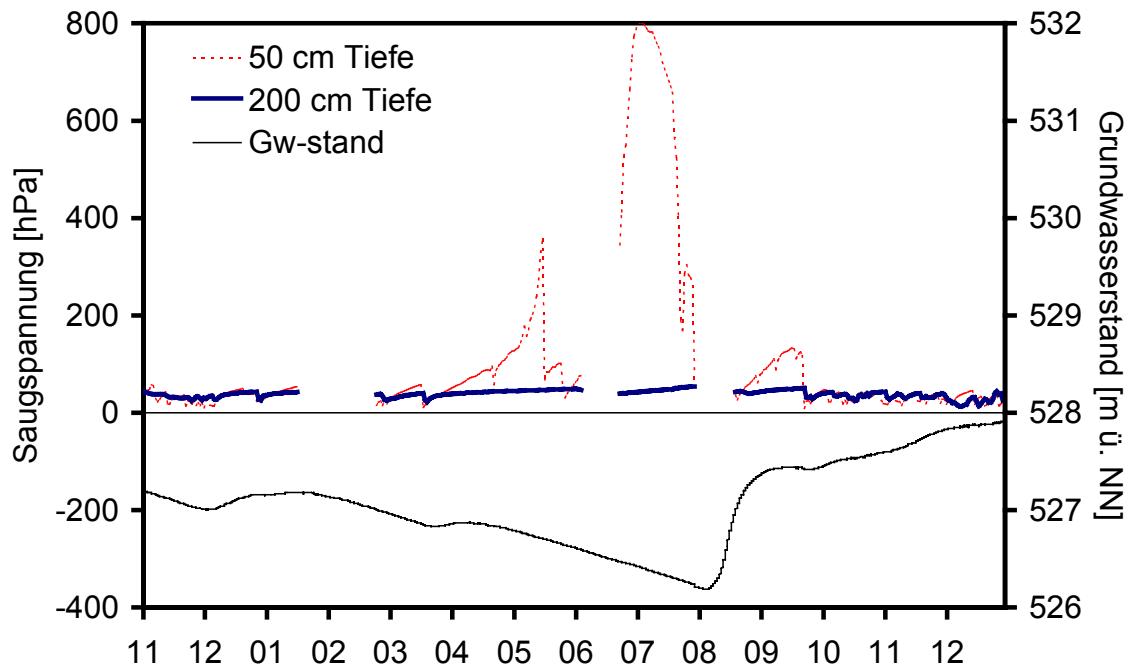


Abb. 69 Bodensaugspannung (50 und 200 cm) und Grundwasserstand, Intensivmessfläche Grünland, Wassereinzugsgebiet Anzing, Nov. 2001 - Dez. 2002

5.5 Messgebiet Nördliches Lechfeld

5.5.1 Regionale Gegebenheiten

Der Bereich Nördliches Lechfeld wird vom breiten, N-S-verlaufenden Talraum der Flüsse Lech und Wertach geprägt. Charakteristisch für den südbayerischen Raum sind die äußerst ergiebigen und intensiv genutzten, aber auch gegenüber Schadstoffeintrag wenig geschützten Grundwasservorkommen des Talschotters. Einen besonderen Schwerpunkt der Untersuchung bildet daher die Stoffbefrachtung des Grundwassers und die Grundwasserneubildung unter dem Einfluss schneller, quasi ungebremster Sickerwasserflüsse in Grobschottern.

5.5.1.1 Landschaft, Klima und Geologie

Die Talräume von Wertach, Lech und Paar, getrennt durch Schotterriegel, erreichen im Süden von Augsburg eine Breite von 12 km. Im Westen wird das nördliche Lechfeld von der zertalten Hochfläche der Staudenplatte begrenzt, im Osten von Ablagerungen des Tertiären Hügellands und von Altmoränen. Das Gebiet unterliegt intensiver landwirtschaftlicher Nutzung, besonders in Bereichen mit Lösslehmüberdeckung. Neben zusammenhängenden Wäldern, wie dem Naturpark Augsburg-Westliche Wälder und den Auwaldstreifen der Flusstäler sind die Waldstreifen der Kuppen und steilen Talränder kennzeichnend. Zwischen den urbanen Siedlungsräumen von Landsberg im Süden und Augsburg im Norden reihen sich im Talraum des Lechs zahlreiche weitere Siedlungen, Industrie- und Gewerbekomplexe sowie ein Militärflughafen. Im Lech selbst dient eine Kette von Stauhaltungen der Energiegewinnung und Abflussregulierung.

Während nördlich von Augsburg das milde Donauklima vorherrscht, nehmen nach Süden mit steigender Geländehöhe Richtung Alpen die Niederschläge zu. Das Klima der Region ist gemäßigt humid mit deutlich alpinem Einfluss. Charakteristisch für diesen Raum ist das Auftreten von Stau- und Föhnlagen und ein Überwiegen des sommerliche Niederschlagsmaximum. Die Region erhält relativ viel Sonne und es werden im langjährigen Jahresmittel ca. 1700 Sonnenstunden gemessen. Schneebedeckung wird an 60 Tagen, Frost an 110 - 120 Tagen im Jahr registriert. Die Jahresmitteltemperatur (1951 – 1980) beträgt 7-8 °C, die Temperaturdifferenz zwischen wärmsten und kältesten Monat um 19 °C und das langjährige Mittel des Jahresniederschlags (1961 – 1990) 750 bis 950 mm (BAYFORKLIM 1996).

Die Dreiteilung tertiäre Molasse – altquartäre Schotter und Moränen – jungquartäre Lechschotter bestimmt den regionalen geologischen Aufbau. Den oberen Abschluss der tertiären Molassesedimente bilden die mehrere Hundert Meter mächtigen, überwiegend sandigen und schluffigen Sedimente der Oberen Süßwassermolasse. Sie bergen verbreitet mäßig ergiebige, nutzbare Grundwasservorkommen. Westlich der Wertach wird das Tertiär von altquartären Terrassenflächen überlagert. Östlich des Lechs, von Süden bis zur Ortschaft Mering reichend, überdecken Altmoränenablagerungen der Riß-Eiszeit das Tertiär. Die heutigen Flussläufe von Lech und Wertach liegen innerhalb der holozänen Aue, die als jüngste Terrassenstufe in die älteren Randstufen der würmeiszeitlichen Niederterrasse und der rißeiszeitlichen Hochterrasse eingesenkt ist.

Ergebnisse der Messgebiete

Die Schotter des Nördlichen Lechfelds gehören zu den für den süddeutschen Raum typischen Kalkschotter-Aquiferen, die entlang der großen Flusstäler während und nach der Eiszeit entstanden sind. Sie zeichnen sich durch mächtige Grundwasserströme aus, die zu den ergiebigsten Trinkwasserressourcen in Bayern zählen. Ihre Mächtigkeit beträgt im südlichen Stadtrand von Augsburg ca. 10 m, nimmt nach Süden hin rasch zu und erreicht nahezu 20 m.

5.5.1.2 Wasserversorgung

Neben der Großstadt Augsburg nutzt ein Großteil der Gemeinden im Lechfeld den lechbegleitenden Grundwasserstrom. In vergleichbarer hydrogeologischer Situation wird aus dem Lechmündungsgebiet der mittelfränkische Ballungsraum über eine Fernleitung des Zweckverbandes Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum mit Trinkwasser versorgt. Wegen der Ergiebigkeit und günstigen hydrochemischen Eigenschaften des Talgrundwassers ist es für die Wasserversorgung unersetzlich. Allerdings gestaltet sich der Grundwasserschutz aus mehreren Gründen schwierig (LFW 1994b). Die zu schützenden Gebiete sind wegen der erheblichen Fließgeschwindigkeiten in den ausgedehnten Grundwassereinzugsgebieten sehr groß und sind auch auf den seitlichen Zustrom infiltrierenden Flusswassers abzustellen. Fließgeschwindigkeiten bis zu 30 m/d in Verbindung mit unzureichender Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung und geringen Grundwasserflurabständen bewirken eine schnelle Ausbreitung von Kontaminationen. Daher wirken sich Art und Intensität der Bodennutzung besonders rasch auf die Grundwasserbeschaffenheit aus.

Im umgebenden Tertiärhügelland wird das Trinkwasser z.T. aus Tiefbrunnen gewonnen, die Ausbautiefen bis zu mehreren Hundert Metern erreichen. Hier ist ein ausreichender Schutz gegen Schadstoffe gegeben, soweit diese in der Grundwasserüberdeckung dauerhaft zurückgehalten bzw. nicht durch übermäßige Beanspruchung des Grundwasservorkommens nachgezogen werden.

5.5.1.3 Umweltmessprogramme

Durch die langjährigen, bereits 1982 begonnenen Untersuchungen des Landesamts für Wasserwirtschaft ist das Gebiet und insbesondere der Bereich Fohlenhof gewässerkundlich gut charakterisiert. An der Versuchsfläche Fohlenhof wurden von 1989 bis 2001 die Auswirkungen unterschiedlicher Nutzungsformen- und -intensitäten auf das Sicker- und Grundwasser untersucht (LFW 1994b).

Mit folgenden Behörden und Facheinrichtungen bestehen Kooperationen bzw. Vereinbarungen zur gegenseitigen Nutzung von Informationen, Messflächen und /oder Messeinrichtungen:

- Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft: Waldklimastation Zusmarshausen
- Landesamt für Umweltschutz (Immissionsökologisches Messnetz), 1 Dauerbeobachtungsmessstelle Augsburg, 1 weitere Depositionsmessstelle (3 km südlich Fohlenhof)
- Landesanstalt für Landwirtschaft, 1 Bodendauerbeobachtungsfläche (8 km SW Fohlenhof)

- Geologisches Landesamt, 1 Bodendauerbeobachtungsmessstelle bei Haunstetten
- Stadtwerke Augsburg, Vorfeldmessstellen, Trinkwasserbrunnen

5.5.2 Wassereinzugsgebiet Augsburg

Das Wassereinzugsgebiet Augsburg gehörte Anfang der 80er Jahre zu den in Südbayern besonders stark mit Nitrat belasteten Gebieten. Verbreitet traten in Trinkwasservorkommen des Nördlichen Lechfelds Nitratgehalte über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l auf. In der Folge wurden die benachbarten Wassergewinnungsgebiete der Städte Augsburg und Königsbrunn in verschiedenen Projekten als Modellgebiet zur Entwicklung von Sanierungsstrategien für die Lösung der Nitratproblematik behandelt (OTILLINGER 1996, OTILLINGER 1992, LFW 1994b). Durch gezielte Maßnahmen im Schutzgebiet konnte hier innerhalb weniger Jahre eine Reduzierung der Nitratbelastung des Grundwassers um bis zu 10 mg/l erreicht werden. Bis heute haben die Stadtwerke 500 ha land- und forstwirtschaftliche sowie industriell genutzte Flächen erworben und einer Extensivierung zugeführt (STADTWERKE AUGSBURG 2003a). Eine umfassende Sanierung würde ein weit nach Süden reichendes Einzugsgebietsmanagement im gesamten Grundwasserzstrom mit Kooperation aller Anlieger erfordern. Bei der geplanten Neuerschließung von Grundwasser im Südteil des bestehenden Schutzgebietes kann dieser Ansatz we-

gen bestehender Nutzungskonkurrenzen noch nicht weiterverfolgt werden.



Abb. 70 Intensivmessstelle Grünland, Wassereinzugsgebiet Augsburg

Mit seinem lokalen Schwerpunkt soll das 1995 begonnene Messprogramm des MSGw die Grundlagen für das Trinkwassermanagement vertiefen und zur Sicherung dieses äußerst empfindlichen Grundwasservorkommens beitragen. Darüber hinaus ist die langfristige Beobachtung der Vorgänge in den hoch durchlässigen, grundwassernahen Schottern von allgemeiner wasserwirtschaftlicher Bedeutung.

Ergebnisse der Messgebiete

5.5.2.1 Lage und Ausstattung

Das Wassereinzugsgebiet Augsburg umfasst den mittleren und nördlichen Abschnitt des Grundwasserzustroms zu den Trinkwasserbrunnen der Städte Augsburg und Königsbrunn (Abb. 71). Es entspricht dem seit 1991 bestehenden, gemeinsamen Trinkwasserschutzgebiet. Mit einer Fläche von rund 50 km² erfasst es einen ca. 15 km langen Abschnitt des Talraums westlich des Lech. Die Geländehöhe beträgt am Südrand (Militärflugplatz) 525 m.ü. NN, im Norden (Wasserwerk Hoch-

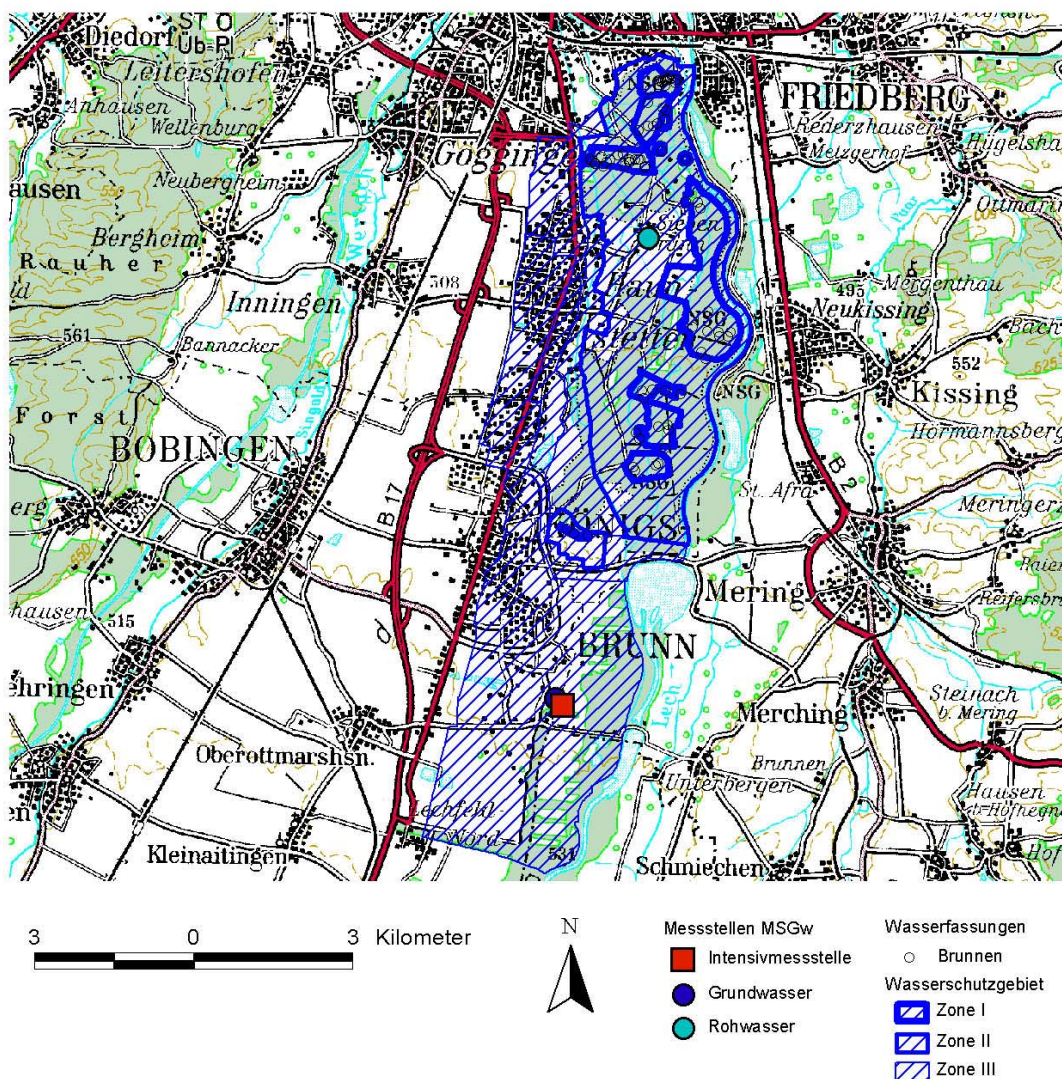


Abb. 71 Wassereinzugsgebiet Augsburg mit Lage der Messstellen

ablass) 480 m.ü.NN. Tab. 67 gibt eine aktuelle Übersicht der Messaktivitäten im MSGw. In unmittelbarer Nachbarschaft zur Intensivmessfläche befindet sich die ehemalige Versuchsfläche Fohlenhof des Landesamts für Wasserwirtschaft (LFW 1992b, LFW 1994b).

Tab. 67: Messstellen im Wassereinzugsgebiet Augsburg (Messstellen auf der Intensivmessfläche fettgedruckt)

Messobjekt	Messprogramme	Messstelle	Betrieb ab	Höhe ü. NN [m]	Bemerkung
Niederschlag	qual./quan.	Freiland	11.1995	522	
Niederschlag	qualitativ	Freiland	11.1995	524	spez. Depositionsmessnetz für organ. Problemstoffe
Sickerwasser	qual./quan.	50 cm Tiefe	01.1998	522	Einbau in Grobschottern
Sickerwasser	qual./quan.	200 cm Tiefe	01.1998	522	Einbau in Grobschottern
Grundwasser	qual./quan.	Messstelle Fohlenhof_VB2026	11.1995	522	Vorfeldmessstelle der Stadtwerke Augsburg, 5“ Rohr, bis 7,8 m ausgebaut
Rohwasser	qualitativ	zugeordnete Wasserversorgung	08.1988	493	Flachbr.714 – Siebenbrunn, Messstelle des Landesmessn. GwBeschaffenheit
Klima	quantitativ	Freifläche	01.1996	522	

5.5.2.2 Klima und Landnutzung

Abb. 72 zeigt das Klimadiagramm für die Normalperiode 1961-1990 für die nächstgelegene DWD-Klimastation Augsburg, St. Stephan. Die mittlere jährliche Niederschlagssumme von 817 mm wird von einem ausgeprägten Sommermaximum gespeist. Im Juni fällt mit durchschnittlich 115 mm dreimal so viel Niederschlag wie im trockensten Monat Oktober. Sehr kalt, mit dem

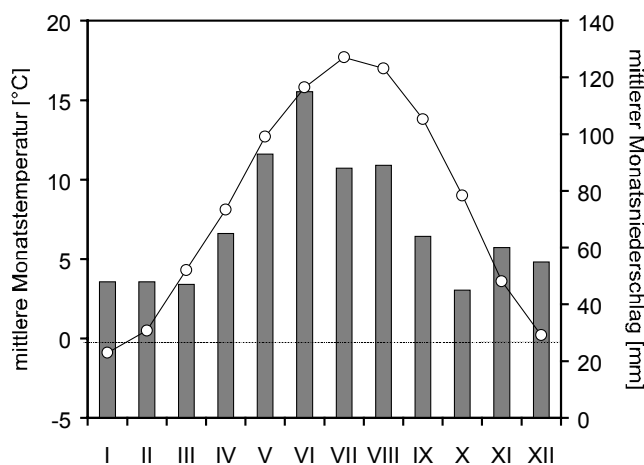


Abb. 72 Klimadiagramm (1961-90) für die Wetterstation Augsburg, St. Stephan, des DWD

Januar als einzigem Frostmonat, ist es nur von Dezember bis Februar. Die Schneedecken-Dynamik hat entsprechend geringe hydrologische Bedeutung.

Die Anteile der Landnutzungsformen im Trinkwasserschutzgebiet werden für 1992 mit 39 % Wald, 29 % Landwirtschaft und 32 % Verkehrs- und Siedlungsflächen angegeben (OTILLINGER 1992). Der Grünlandanteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche betrug 38 %, davon jedoch nur 15 % aus privatem Grundbesitz. Bis heute konnte in Kooperation

Ergebnisse der Messgebiete

mit den Landwirten der Anteil der Ackerfläche zugunsten von Grünland von 70 % 1988 auf 45 % im Jahre 2002 reduziert werden (STADTWERKE AUGSBURG 2003b).

5.5.2.3 Geologie und Böden

Würmeiszeitliche, postglaziale und junge Talschotter (sandige Kiese) bilden einen gemeinsamen, den Talraum füllenden, hoch durchlässigen Grundwasserleiter. Ihre Basis besteht aus tertiären Tonen und Sanden. Diese wirken gegenüber dem Schottergrundwasser nur teilweise wasserstauend. Im Bereich des Wasserschutzgebietes überwiegen in den oberen 25 – 40 m sandige Sedimente, die mit den aufliegenden quartären Schottern ein gemeinsames Grundwasserstockwerk bilden. Die postglazialen Lechalluvionen wurden von dem früher stark mäandrierenden Fluss abgelagert. Stellenweise bis zu 1m mächtige Auelehmschichten und geringmächtige humose Bodenauflagen von 0,1 – 0,3 m bilden bereichsweise eine wenig schützende Deckschicht.

5.5.2.4 Wasserhaushalt

Für das Wassereinzugsgebiet Augsburg wird der Wasserhaushalt der Messjahre 1996 bis 2002 dargestellt (Tab. 68). Mit 1084 mm liegt der mittlere Jahresniederschlag der DWD-Station in Kaufering erheblich über dem Wert der MSGw-Messstelle von 833 mm, entsprechend der nach Süden zunehmenden Staulage. Die potentielle Verdunstung nach HAUDE erreicht 80 % der Niederschlagshöhe und übersteigt diese in Einzeljahren. Real werden nach dem Ansatz RENGER & WESSOLEK, hergeleitet aus den Daten der Intensivmessfläche Fohlenhof, 522 mm/a, bzw. 63 % des Jahresniederschlags verdunstet. (Tab. 69). Als Restglied ergibt sich ein mittlerer Jahresabfluss von 311 mm, der bei vollständiger Versickerung der Grundwasserneubildung gleichzusetzen ist.

Tab. 68: Jährliche Wasserflüsse [mm] im Messgebiet Nördliches Lechfeld, Wassereinzugsgebiet Augsburg

Hyd. Jahr	h_N^*	h_{FN}	ETa	$h_{FN} - ETa$
1996	892	666	466	200
1997	780	594	437	156
1998	1002	700	487	213
1999	1153	902	555	346
2000	1324	1002	559	443
2001	1018	891	532	359
2002	1422	1078	617	461
MW	1084	833	522	311

* DWD Station Kaufering

Zum Vergleich wird die mittlere Grundwasserneubildung (1998-2002) an der Intensivmessfläche nach der Chloridmethode abgeschätzt. Ein Problem in der Messebene 200 cm bildet der zeitweilige Einfluss des stark chloridhaltigen Grundwassers (vgl. auch Abb. 73 und 75). Daher wurden alle eindeutig durch hohe Grundwasserstände beeinflussten Sickerwasserdaten aus der Berechnung eliminiert. Es ergibt sich für den gebietsrepräsentativen Standort eine Grundwasserneubildung von 227 mm/a und eine Verdunstung von 606 mm/a.

Tab. 69: Langjähriger Wasserhaushalt im Messgebiet Nördliches Lechfeld, Wassereinzugsgebiet Augsburg

Parameter	Mittelwerte 96 – 2002	
	[mm]	[l/s*km ²]
h _{FN}	833	26,4
ET _P (Haude)	655	20,8
ET _a (Renger&Wessolek)	522	16,6
h _{FN} – ET _a	311	9,9
SW ₂₀₀ (Chloridmethode)*	227	7,2

* 98-2002

In der Literatur werden für den betrachteten Raum Grundwasserneubildungen von 6,5-14 l/s*km² angegeben, wobei neuere Arbeiten bei 8-10 l/s*km² (250-310 mm/a) liegen. Die reale Verdunstung wird auf 550 – 600 mm/a geschätzt. Potentiell können je nach Fruchtfolge zwischen 496 und 617 mm/a verdunsten, wie Untersuchungen am Versuchsfeld Fohlenhof (April 1990 bis September 1992) zeigen (LFW 1994b). Daraus lassen sich je nach Fruchtfolge potentielle Grundwasserneubildungsraten zwischen 190 und 310 mm/a ableiten.

5.5.2.5 Stoffhaushalt

Für die hier betrachteten Teilflächen mit extensiviertem Grünland stellt der gemessene Eintrag mit dem Niederschlag den wesentlichen Eintragspfad dar. Für die forstwirtschaftlich genutzten Flächen ist auf Grund der bekannten Ausfilterungseffekte ein deutlich höherer atmosphärischer Stoffeintrag anzunehmen. Auf den noch verbliebenen Landwirtschaftsflächen mit Düngereintrag ist dieser ggf. zu berücksichtigen.

Der mittlere pH-Wert des Niederschlags liegt bei 5,1 mit einer Spanne von 4,5 bis 7,5, die noch eine schwache saisonale Versauerung erkennen lässt. Mit nur 17 µS/cm weist die mittlere Leitfähigkeit auf einen äußerst geringen Lösungsinhalt. Anorganischer Stickstoff wird in der Größenordnung von 12 kg/ha*a deponiert, wobei 2/3 des Eintrags als Ammonium-Stickstoff erfolgt, eine Folge der vorwiegend landwirtschaftlich geprägten Emissionen des Umfeldes (Tab. 70). Hinzu kommt 1 kg/ha*a organisch gebundener Stickstoff, der als Differenz von Gesamtstickstoff und anorganischen Komponenten ermittelt wird. Die Deposition von Schwefel liegt seit Beginn der Messungen sehr konstant bei ca. 4 kg/ha*a. Die jährlichen Einträge an Phosphor schwanken extrem zwischen 0,1 und 1 kg/ha o-PO₄-P wobei geringere Einträge an zunehmende Niederschlagshöhe gekoppelt sind.

Da das Sickerwasser aus 200 cm Tiefe häufiger im Schwankungsbereich der Grundwasseroberfläche bzw. des zugehörigen Kapillarraums liegt, werden die Sickerwasserkonzentrationen in 50 cm Tiefe zur Stoffbilanzierung des Standorts herangezogen. Als Grundlage für die Grundwasserneubildung dient der aus der klimatischen Wasserbilanz ermittelte Wert von 311 mm/a. Ein Großteil der Grundwasserfracht an Erdalkalien ist hier bereits in Lösung. Phosphor zeigt eine gewisse Mobilisierung aus Bodenvorräten, während atmosphärisch eingetragener Schwefel und Stickstoff weitgehend im Boden zurückgehalten werden. Früher u.U. vorhandene Nährstoffüber-

Ergebnisse der Messgebiete

schüsse sind abgebaut. Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Standort gegenwärtig, d.h. ca. 10 Jahre nach Aufgabe der intensiven Bewirtschaftung, die gewünschte Schutzfunktion gegenüber bekannten diffusen Schadstoffeinträgen erfüllt.

Tab. 70: Stoffhaushalt im Messgebiet Nördliches Lechfeld, Wassereinzugsgebiet Augsburg, ungedüngtes Grünland, Mittelwerte in kg/ha*a für 96-2002, kursive Einträge Mindestschätzung (häufig < NWG)

Parameter	Eintrag Freiland	Austrag* Grundwasser- neubildung	Bilanz	Fracht Grundwasser (Fohlenhof)
Protonen	0,019	0,00	0,019	0,00
o-Phosphat-Phosphor	<i>0,41</i>	2,03	-1,62	0,00
Chlorid	2,63	<i>0,89</i>	1,74	42,64
Sulfat-Schwefel	3,91	<i>0,37</i>	3,54	17,13
Nitrat-N	3,92	<i>0,32</i>	3,60	23,18
Ammonium-N	8,36	<i>0,02</i>	8,34	0,01
Norg	1,06	-	-	-
Calcium	4,65	254,88	- 250,23	324,14
Magnesium	0,88	41,26	- 40,38	91,25
Natrium	1,64	0,82	0,82	20,70
Kalium	1,95	3,71	-1,76	4,88

* 50 cm Tiefe

Zum Vergleich mit der Sickerwasserfracht unter Grünland wird die im Bereich Fohlenhof mit dem Grundwasser transportierte Gesamt-Stofffracht abgeschätzt. Als Richtwert für den Grundwasserfluss wird die an diesem Standort mit 311 l/m² (1996-2002) ermittelte Grundwasserneubildung verwendet. Da hier der Einfluss der Lechinfiltration gering ist (0-30 %, SCHWARZ 1999), repräsentieren die Werte recht gut die durchschnittliche geogene und anthropogene Stofffracht des unverdünnten, aus Süden zuströmenden Schottergrundwassers. Infolge langer Kontaktzeiten aber auch anthropogener Stoffzufuhr liegt die Fracht an Erdalkalien über der des Sickerwassers. Hohe Chlorid-, Stickstoff- und Schwefelfrachten sind das Ergebnis vielfältiger anthropogener Einflüsse im Zustrombereich, insbesondere der Landwirtschaft. Dagegen scheint die Mobilisierung von Phosphor auf den oberen Sickerraum, nachweislich Messstandort Fohlenhof, beschränkt (s.u.). Über die Düngung und auch die Atmosphäre eingetragener Phosphor wird vollständig im System Vegetation/Boden zurückgehalten.

5.5.2.6 Organische Stoffe aus der Atmosphäre

Trotz Flugverkehrs aus dem südlich gelegenen Militärflughafen wurden im Gebietsvergleich mit die niedrigsten Konzentrationen an Nitrophenolen ermittelt. Obwohl im Nahbereich des Messstandorts kein Ackerbau betrieben wird, wurden die Herbizide Terbutylazin (Maximum 500 ng/l) und Isoproturon (bayernweites Maximum 1996 mit 400 ng/l) nachgewiesen. Atrazin wurde das letzte Mal im Mai 1996 mit 30 ng/l nachgewiesen. Diese Konzentration deutet auf eine Fernverdriftung hin.

5.5.2.7 Grundwasserverhältnisse

Das heutige hydraulische Grundwasserregime ist erheblich von den Einflüssen der Flusskorrektur geprägt, die eine Inaktivierung alter Flussschleifen und die Absenkung des ursprünglich sehr oberflächennahen Grundwasserspiegels bewirkt hat. Die ca. 10 m mächtigen quartären Terrassenschotter des Lechtales sind ein hervorragender aber verschmutzungsempfindlicher Grundwasserleiter. Bei einem Grundwasserspiegel zwischen 0,5 und 3,5 m unter Gelände sind die Sickerstrecken sehr kurz. Der Hauptgrundwasserstrom verläuft lechparallel von Süden nach Norden. Im Bereich der Augsburgur Brunnen erreicht die Fließgeschwindigkeit ca. 20 –25 m/d, z.T. sogar Werte bis 30 m/d. EDEN & RÖDER (1987) geben für den quartären Aquifer eine mittlere Durchlässigkeit (k_f) von $1,1-2 \cdot 10^{-2}$ m/s an. Im Bereich der Talschotter erfolgt der gesamte Abfluss unterirdisch, mit Ausnahme künstlicher Ausleitungen von Lechwasser im Süden des Augsburgur Stadtgebietes. Von EDEN & RÖDER eingehend beschrieben wurde die von den Stauhaltungen ausgehende Infiltration von Lechwasser, wodurch sich im Talgrundwasser ein Ost-West-Gradient der Beschaffenheit einstellt.

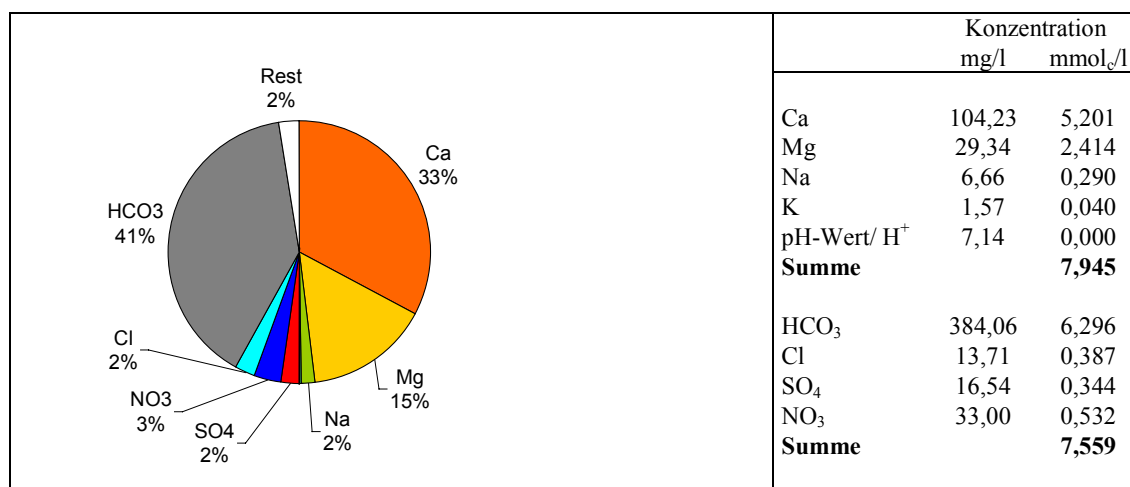


Abb. 73 Mittlere Grundwasserbeschaffenheit, Messstelle Fohlenhof VB 2026, Messgebiet Nördliches Lechfeld (Mittelwerte 1995 – 2002)

Das Grundwasser ist ein typisches quartäres Kalkschotterwasser, das im lechfernen Bereich eine Gesamtmineralisation von ca. 600 mg/l aufweist. Es befindet sich nahezu im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und weist somit weder kalkabscheidende noch kalkauflösende Eigenschaften auf. An der Typmessstelle Fohlenhof ist das Grundwasser nach FURTAK & LANGGUTH (1967) als „normal erdalkalisch, überwiegend hydrogencarbonatisch“ einzustufen. Calcium und Magnesium machen 96 % der Kationensumme aus, Hauptanion ist Hydrogencarbonat mit 82 % (Abb. 73). Die mittlere Leitfähigkeit beträgt 630 μ S/cm. Mit einer Härte von 21 ° dH ist das Grundwasser dem Härtebereich 4 nach Waschmittelgesetz zuzuordnen. Anthropogene Beeinträchtigungen werden vor allem durch den Nitratanteil von 6 % deutlich. Die Jahresmittelkonzentration von Nitrat sank im Beobachtungszeitraum kontinuierlich (1996: 35,4 mg/l; 2002: 27,8 mg/l). Neben den

Ergebnisse der Messgebiete

Auswirkungen der Extensivierungsmaßnahmen im Zustrombereich spielt wohl auch die höhere Infiltrationsrate in den letzten Jahren eine Rolle. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in den Ganglinien der beiden untersuchten Grundwassermessstellen (Abb. 74). Der Grundwasserchemismus weist auf ein zeitweise reduzierendes Milieu. So liegen die Sauerstoffkonzentrationen im Winter zwischen 5 und 10 mg/l, im Sommer nur bei 5 bis unter 2 mg/l.

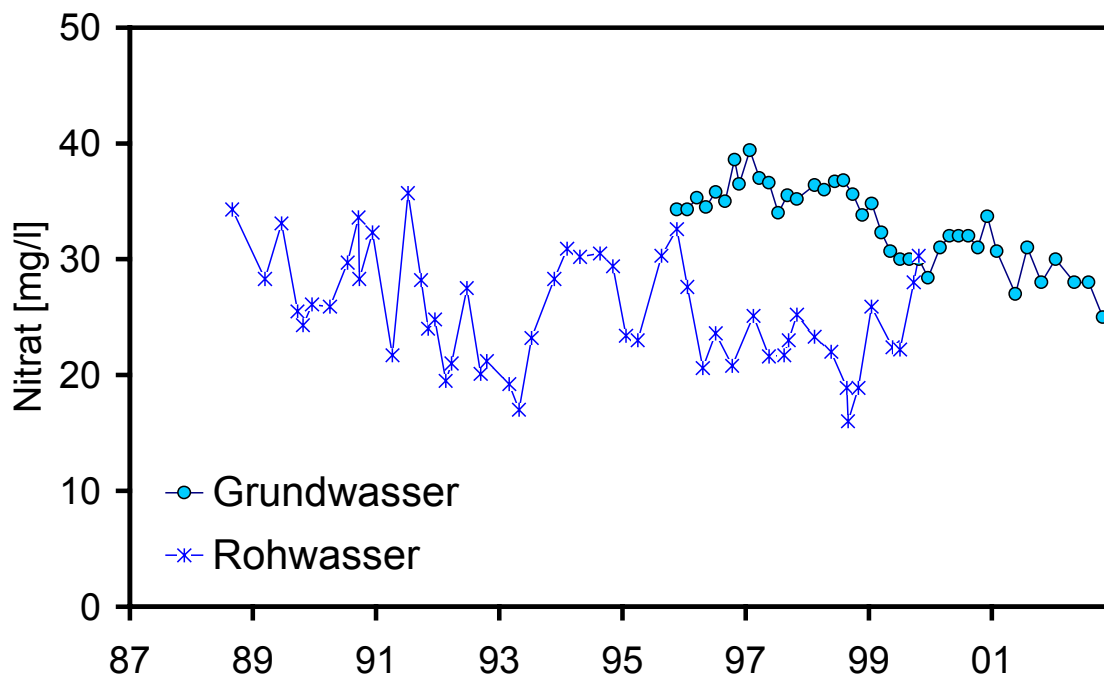


Abb. 74 Ganglinien der Nitratkonzentrationen im Grundwasser, Wassereinzugsgebiet Augsburg

Der Grundwasserstand an der repräsentativen Messstelle Fohlenhof schwankt während des Untersuchungszeitraums innerhalb von ca. 1 Meter. Als langjährige Vergleichsmessstelle dient eine ca. 300 m nordöstlich gelegene Messstelle der Stadtwerke Augsburg. Hier wird der Einfluss der Staustufen 21 und 22 deutlich, die 1983 in Betrieb genommen wurden. Der Staubetrieb veränderte den Grundwasserspiegel (Abb. 75). Im Bereich des Fohlenhofs sind ebenfalls Einflüsse vorhanden aber in geringerem Maße als bei der lechnäher gelegenen Vergleichsmessstelle. 1999 begann klimatisch bedingt eine Phase hoher Grundwasserstände in Südbayern, die die Ganglinien beider Messstellen nachzeichnen.

5.5.2.8 Wasserversorgung

Das Augsburger Trinkwasser wird überwiegend aus dem mächtigen, lechbegleitenden Grundwasserstrom im Bereich der Quartärschotter südlich der Stadt entnommen. Grundwasser aus dem hydraulisch verbundenen oberen Tertiär (20 – 80 m Tiefe) wird mit genutzt. Derzeit betreiben die Stadtwerke Augsburg 74 Brunnen, die Stadt Königsbrunn 4 Brunnen im gleichen Wasser-

schutzgebiet. Die Entnahmemenge der Stadt Augsburg betrug 2001 insgesamt 21 Mio m³. Davon stammen 67 % aus den Quartärbrunnen, nur 3 % sind reines Tiefengrundwasser aus dem am nördlichen Stadtrand erschlossenen unteren Tertiärstockwerk (bis 240 m Tiefe). Die restlichen 30 % werden dem oberen Tertiär entnommen (STADTWERKE AUGSBURG 2003b).

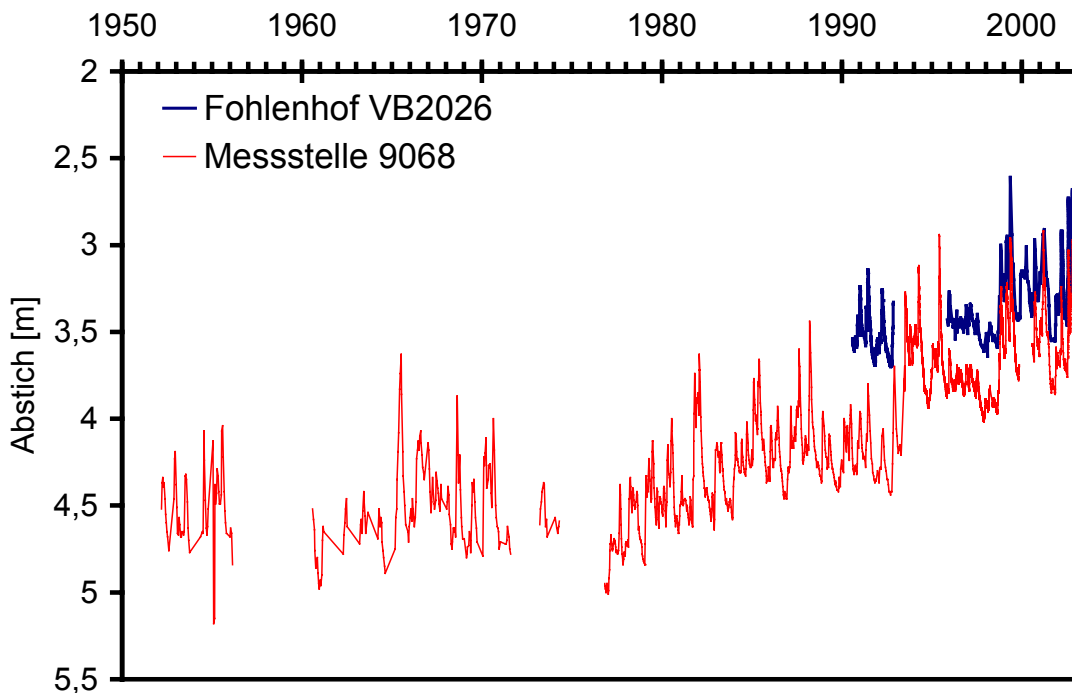


Abb. 75 Langjährige Entwicklung des Grundwasserstands im Nördlichen Lechfeld (MSGw-Messstelle Fohlenhof VB2026)

Intensive Landwirtschaft auf meist flachgründigen Böden und eine damit einher gehende steigende Nitratbelastung führte in den 80er Jahren zu starken Beeinträchtigungen der Trinkwasserqualität und 1988 zu einer Überschreitung des Grenzwerts von 50 mg/l Nitrat im Trinkwasser. Um die Nitratbelastungen im gesamten Grundwasservorkommen langfristig und nachhaltig zu reduzieren, erwerben die Stadtwerke Augsburg seit Jahren landwirtschaftliche und industriell genutzte Grundstücke innerhalb der Schutzzone. Industriestandorte wurden saniert und Landwirtschaftsflächen in ihrer Nutzung extensiviert. Bei den hier vorliegenden Verhältnissen – gut durchlässige Böden, geringer Flurabstand des Grundwassers und schnelle Fließgeschwindigkeit – stellten sich Sanierungserfolge sehr rasch ein.

Einen entscheidenden Einfluss auf die Quantität und Qualität des Grundwassers im Einzugsbereich der Augsburger Brunnen haben der Lech mit seinen Stauhaltungen sowie die aus ihm ausgeleiteten Bäche. Durch die Infiltration werden die gewinnbaren Grundwassermengen erhöht und anthropogene Belastungen des Talgrundwassers verdünnt (mittlerer Nitratgehalt im Flusswasser:

Ergebnisse der Messgebiete

4 mg/l). Andererseits können eventuelle Schadstofffreisetzungen im Flusslauf das Grundwasser kontaminieren. Mit 5–10 mg/l wird aus den flussnahen Brunnen das nitratärmste Grundwasser gefördert (LFW 1992b).

5.5.3 Intensivmessfläche Fohlenhof

5.5.3.1 Lage

Die Intensivmessfläche des Messgebietes Nördliches Lechfeld liegt in offenem Gelände etwa 700 m östlich der Lech-Staumstufe 22 (Unterbergen) und 400 m nordöstlich des Gutes Fohlenhof in direkter Nachbarschaft zum ehemaligen Versuchsfeld des LfW (LFW 1994b). Während 150 m westlich ein Gehölzstreifen für eine gewisse Abschattung sorgt, hat der 400 m östlich gelegene, lechbegleitende Auwald keinen Einfluss auf das Windfeld am Messplatz. Im Süden und Norden ist das Gelände völlig offen. Der eingezäunte Bereich mit den Messeinrichtungen umfasst ca. 600 m². Unmittelbar östlich befindet sich die eingemessene, 1000 m² große Dauerbeobachtungsfläche für die bodenphysikalischen und bodenchemischen Probennahmen.

5.5.3.2 Bewirtschaftung

Die Intensivmessfläche liegt im Bereich der von den Stadtwerken Augsburg und Königsbrunn der Extensivierung zugeführten Flächen im südlichen Teil des Wasserschutzgebiets (seit 1991 Weite Schutzzone B). Sie wird derzeit als extensiv genutztes Grünland gepflegt.

5.5.3.3 Bodenfestphase

Der Feinerdeanteil erreicht ab 30 cm Bodentiefe durchwegs nur 20-30 % (Tab. 71). Im gering-mächtigen, schluffbetonten A-Horizont zeigen die pH-Werte eine schwache Entkalkung der Feinerde an

Dazu wird sie zweimal im Jahr gemäht und das Mähgut abgefahren. Düngemittel- und Pestizideinsatz findet nicht statt. Bis zum Herbst 1990 wurde die Fläche als Acker genutzt, danach wurde sie begrünt, stillgelegt (Mulchen ohne Abfuhr des Aufwuchses) und diente bis zur Zäunung im Sommer 1995 als Schafweide.

5.5.3.4 Profilbeschreibung

Ausgangsmaterial der Böden sind äußerst feinkornarme, grobe Talschotter (Kiesbänke) im Wechsel mit eingelagerten Schluff- und Sandlinsen (Abb. 76).

Die Bodenuntersuchungen sind im Bereich der Intensivmessfläche auf den enorm verschmutzungsempfindli-



Abb. 76 Bodenprofil Intensivmessfläche, Messgebiet Nördliches Lechfeld 1998

chen Kiesboden angesetzt. Hier ist mit einem Ah-Horizont von 30 cm über unverwittertem Kies ein „Junger Auenboden“ ausgebildet. Mit ca. 75 cm Tiefe reicht eine schwache Durchwurzelung weit in den Kies hinein. Bei einem Grundwasserspiegel von ca. 2 m unter Gelände ist die Sickerstrecke sehr kurz.

Tab. 71: Kenndaten für pH, C, P und N, Intensivmessfläche Fohlenhof, Wassereinzugsgebiet Augsburg, 1998

Horizont	Tiefe [cm]	Textur	Skelett [Gew. %]	dB _F [g/cm ³]	C [%]	N [%]	C/N	pH (CaCl ₂)
aAh	0-10	Us			4,07	2,1	1,95	6,88
	10-20	Us	59	0,51	3,57	0,7	5,20	6,92
aAh-eCv	20-30	Uls	63	0,48	3,29	0,7	4,89	6,98
IIaGo-eCv	30-50	fs	84	0,27	0,31	< 0,08		7,15
	50-75	fs	79	0,37	0,28	< 0,08		7,22
IIIaGo-eCv	75-83	fs	81	0,36	0,13	< 0,02		7,35
IVaGo-eCv	83-105	fs	71	0,52	0,25	< 0,08		7,38
	105-130	fs	81	0,37	0,11	< 0,02		7,47
	130-155	fs	83	0,42	0,15	< 0,02		7,40
VaGo-eCv	155-180	Ss	86	0,25	0,17	< 0,02		7,63

Humusgebundener Stickstoff findet sich nur bis 30 cm Tiefe, schwache Kohlenstoffgehalte dagegen im gesamten Bodenprofil. Die vom Calcium dominierte Basensättigung liegt im gesamten Profil bei 100 % (Tab. 72).

Tab. 72: Austauschbar gebundene Kationen, Intensivmessfläche Fohlenhof, Wassereinzugsgebiet Augsburg, 1998

Bodentyp: Auenpararendzina										
Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _e [%]								AK _e [mmol _c /kg]	BS [%]
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn		
aAh	89,9	9,3	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	323,0	99,9
	90,7	8,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	308,7	100,0
aAh-eCv	90,4	9,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	302,7	99,9
IIaGo-eCv	91,0	8,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	200,8	99,9
	90,7	8,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	195,2	99,9
IIIaGo-eCv	96,5	3,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	148,5	99,9
IVaGo-eCv	91,8	7,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	199,7	99,9
	95,4	4,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	168,0	99,9
	95,2	4,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	184,4	99,9
VaGo-eCv	92,6	6,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	196,1	99,9

Nach Calcium und Magnesium bestimmen Aluminium und Eisen den Gesamtelementvorrat der Feinerde (Tab. 73). Die hohen Vorräte der obersten Schlufflage ergeben sich auf Grund der Bodenverdichtung und des geringeren Skelettanteils. Sie können bei den Schwermetallen durch atmosphärischen Eintrag anthropogen überprägt sein.

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 73: Gesamtvorräte [kg/ha], Intensivmessfläche Fohlenhof, Wassereinzugsgebiet Augsburg, 1998

Bodentyp: Auenpararendzina										
Horizont	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cd	Pb	N
aAh	175215	68423	8167	2744	24610	14687	845	0,405	20,3	(26322)
	29561	11494	1473	478	4475	2500	144	0,067	3,9	3484
aAh-eCv	25553	9910	1230	404	3834	2117	122	0,052	2,8	3210
IIaGo-eCv	14214	4517	354	165	1066	597	30	0,008	0,4	-
	31062	10025	891	407	2625	1412	55	0,015	1,0	-
IIIaGo-eCv	10194	3182	137	70	437	272	15	0,004	0,2	-
IVaGo-eCv	56906	19243	1537	660	4830	2556	96	0,028	1,8	-
	30205	9357	504	260	1520	911	51	0,014	0,6	-
	31295	9538	506	274	1546	951	56	0,013	0,6	-
VaGo-eCv	13515	3630	326	156	907	534	27	0,007	0,4	-
Summe*	342706	126793	13790	4928	41874	24139	1308	0,579	30,5	-

* bis 1 m Tiefe

5.5.3.5 Bodenlösungsphase (Sickerwasser)

Das Sickerwasser beider Tiefenstufen ist geprägt vom Kalk- und Dolomitgehalt des durchströmten Sediments (Tab. 74). Kalklösung, saisonal variierend in Abhängigkeit von der biologischen Kohlensäureproduktion, ist der dominierende Faktor für den Gesamtlösungsinhalt des Sickerwassers.

Tab. 74: Beschaffenheit des Sickerwassers, Intensivmessfläche Fohlenhof, Wassereinzugsgebiet Augsburg (Mittelwerte 1998 – 2002)

Tiefe [cm]	LF [µS/cm]	pH- Wert	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]
50	409	7,69	< 0,5	0,4	0,5	82,0	13,3	0,3	1,2	2,123	299
200	481	7,59	2,3	3,2	5,7	87,6	17,7	1,4	5,5	0,846	337

Entsprechend liegen die Calciumkonzentrationen in 50 cm Tiefe im Winterhalbjahr bei 40 – 60 mg/l, im Sommerhalbjahr bei 100 – 140 mg/l. Die Leitfähigkeiten bewegen sich entsprechend von 250 bis 630 µS/cm. Der Hauptlösungsinhalt nimmt auf 1,5 m Sickerstrecke nur wenig zu, d.h. die Einstellung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts ist im obersten halben Meter weitgehend abgeschlossen. Auffallend sind die hohen Phosphatkonzentrationen, die in 50 cm Tiefe während des Beobachtungszeitraums fallende Tendenz aufweisen, in 200 cm dagegen konstant sind. Auch für Fluorid (gemessen 1998-2000) wurden hohe Konzentrationen zwischen 0,8 und 1,2 mg/l ermittelt (nicht dargestellt). Ein korrelativer Zusammenhang liegt nicht vor ($r^2 < 0,05$). Auch ein Materialeffekt kann ausgeschlossen werden. Ein Zusammenhang zwischen den erhöhten Phosphatkonzentrationen und der früheren Nutzung als Ackerfläche ist möglich. Konzentrationszunahmen in der tieferen Messebene gehen auf den sporadischen Anstieg des stärker kontaminierten Grundwassers zurück. Entsprechend sind Nitratgehalte über 10 mg/l mit Sicherheit grundwasserbeeinflusst (Abb. 77). Dieser Einfluss kann durch die Saugspannungsmessungen nachgewiesen werden.

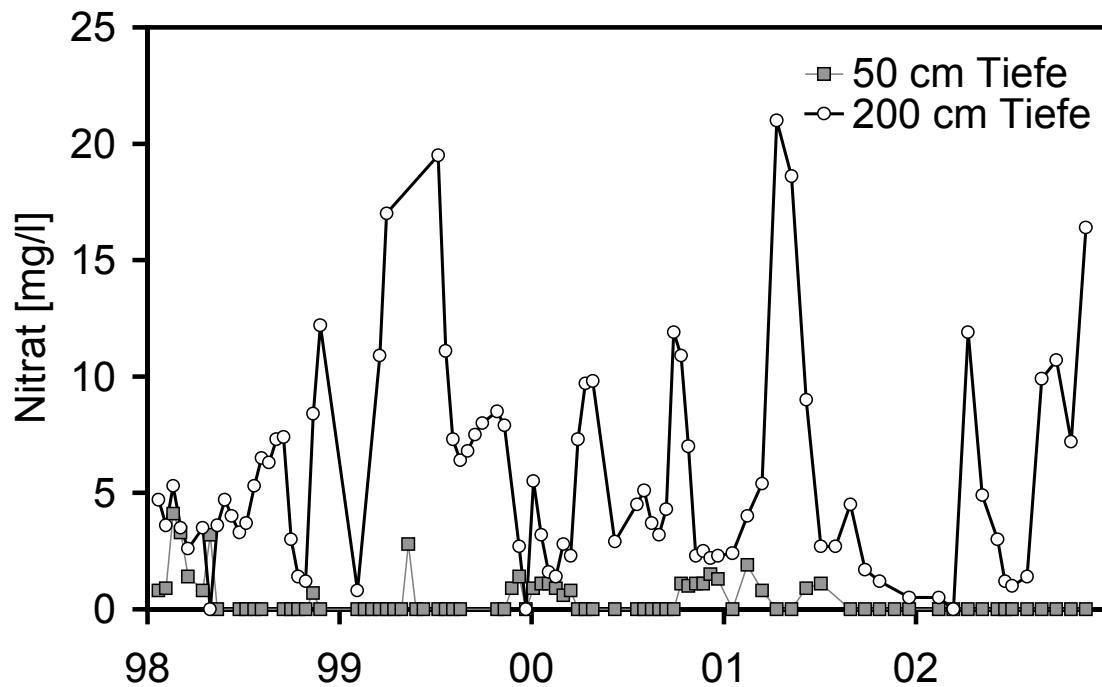


Abb. 77 Nitratkonzentration im Sickerwasser (50 und 200 cm), Intensivmessfläche Fohlenhof, Wassereinzugsgebiet Augsburg

Als Folge hoher Niederschläge wird im August, November und Dezember 2002 in der Messtiefe 200 cm zeitweilig vollständige Wassersättigung (negative Saugspannungswerte) registriert (Abb. 78). Dies korreliert mit den hohen Grundwasserständen an der Grundwassermessstelle Fohlenhof. Auch in 50 cm Tiefe führen die sommerlichen Starkniederschläge zu hohen Bodenfeuchten (niedrige Saugspannungen). Üblicherweise trocknet der durchlässige, kaum speicherfähige Boden im Sommer und Herbst regelmässig bis unter 50 cm Tiefe aus, wobei die Saugspannungen deutlich über 500 hPa ansteigen. Das nasse Jahr 2002 war in die dieser Hinsicht eher untypisch.

Ergebnisse der Messgebiete

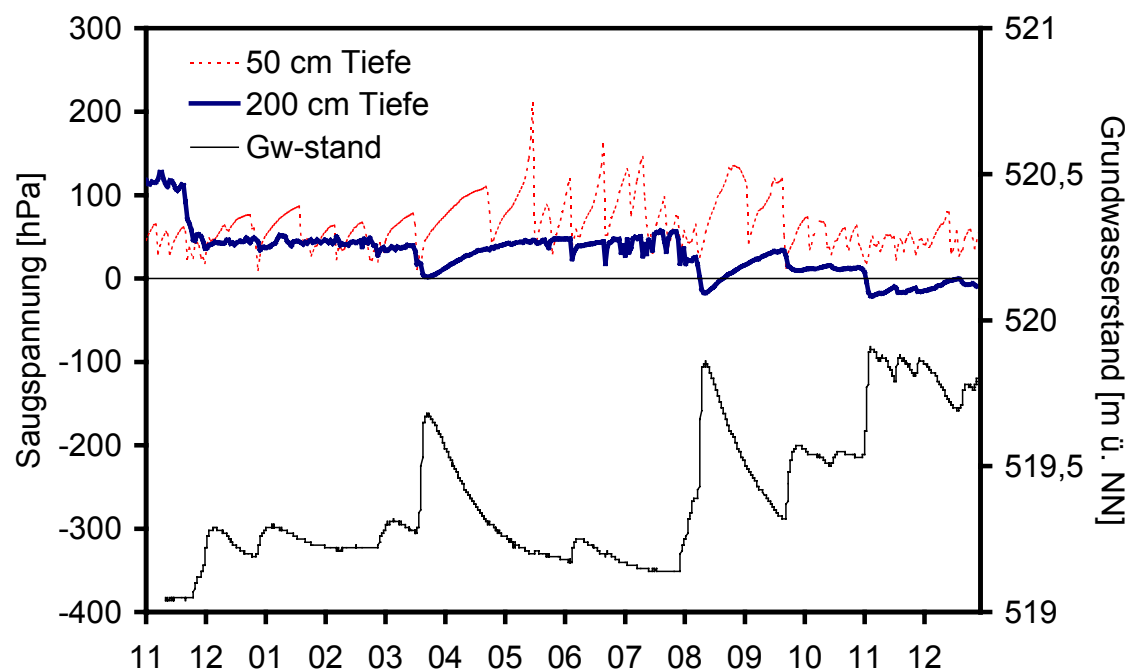


Abb. 78 Bodensaugspannung (50 und 200 cm) und Grundwasserstand, Intensivmessfläche Fohlenhof, Wassereinzugsgebiet Augsburg, Nov. 2001 - Dez. 2002

5.6 Messgebiet Donau/Gäuboden

5.6.1 Regionale Gegebenheiten

Die unterhalb Regensburg zwischen Bayerischem Wald und Tertiärhügelland eingesenkte, rund 15 km breite Terrassenlandschaft der Donau ist als Gäuboden bzw. Dungau bekannt. Seit Jahrtausenden werden die verbreiteten, sehr fruchtbaren Lößböden des niederbayerischen Ackergäues bewirtschaftet und zählen deshalb zu den Kornkammern Bayerns. Die heutzutage hohe Intensität des Ackerbaus hat trotz des natürlichen Schutzes durch die vorhandenen Lehmdecken eine latente Gefährdung des Grundwassers zur Folge. Ein lokaler Schwerpunkt ist daher die Untersuchung des Stofftransports in der Lehmüberdeckung als Grundlage für den vorsorgenden Grund- und Trinkwasserschutz.

5.6.1.1 Landschaft, Klima und Geologie

Im Raum Straubing beträgt die Höhendifferenz der Donauniederung (320 m ü. NN) zu den nahen Gipfeln des Vorderen Bayerischen Waldes über 700 m. Bergseitig begrenzen schmale, lössüberdeckte Terrassenstreifen den Flusslauf, während sie nach Süden weit in das angrenzende, ebenfalls von Lössdecken geprägte Hügelland hineingreifen. Die Flösschen Pfatter, Große und Kleine Laber sowie Aiterach entwässern und gliedern das Tertiärhügelland Richtung Donau in einer weitgehend waldfreien Ackerbau-landschaft.

Das Klima ist kontinental geprägt, da die Jahresschwankung der monatlichen Lufttemperatur über 20 °C (Maß für die Kontinentalität) erreicht und ein hochsommerliches Maximum und ein Minimum im Spätwinter die Niederschlagsverteilung charakterisieren. Im Staubereich der Bayerwald-Randhöhen ist ein steiler Niederschlagsgradient zwischen der Donauniederung (650 mm/a) und den Gipfellagen (bis 1300 mm/a) ausgebildet. Im Gäuboden selbst gelangen von 650 – 850 mm/a etwa 200 – 300 mm/a zum Abfluss. Die Sonnenscheindauer beträgt im Mittel 1600-1700 h pro Jahr und es errechnet sich eine Jahresmitteltemperatur von 8 - 8,5 °C (BAYFORKLIM 1996).

Unter den quartären Sedimentfolgen sind im gesamten Gebiet Tertiärsedimente verbreitet, die wiederum dem an Bruchlinien gestaffelten, nach Nordosten ansteigenden kristallinen Grundgebirge aufliegen. Die Mächtigkeiten der donaubegleitenden, überwiegend mittel- bis feinkiesigen Quartärterrassen liegen zwischen 4 und 10 m. Außerhalb der jungen Talböden sind Löß- bzw. Lößlehmauflagen fast flächendeckend auf den rißeiszeitlichen Hochterrassen und den noch älteren Deckenschottern verbreitet. Sie können lokal bis zu 10 m mächtig sein und erreichen im Mittel 3-7 m. Auf den Löß- und Lößlehmdeckschichten sind Parabraunerden, z.T. mit Pseudovergleyung entwickelt.

5.6.1.2 Wasserversorgung

Bedingt durch die intensive Landwirtschaft treten im Bereich des Gäubodens Nitrat – und PBSM-Belastungen in der Regel verstärkt im Grundwasser auf. Da auf Grund des hohen Speichervermögens der Böden eine kurzfristige Sanierung häufig nicht möglich ist, wird hier das wenig, bzw.

Ergebnisse der Messgebiete

unbelastete Tertiärwasser des 2. Grundwasserstockwerkes als Zusatzwasser genützt, um die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung einhalten zu können. Diese Tertiärwassernutzungen werden Zug um Zug zurückgefahren, sobald sich die Qualitätssituation in den quartären Gewinnungsanlagen wieder verbessert. Entsprechende Programme auf der Basis von freiwilligen Vereinbarungen und Kooperationsmodelle mit den Landwirten sind von den bedeutenderen Wasserversorgungsunternehmen wie z.B. den Stadtwerken Straubing und Plattling sowie des Zweckverbandes Irlbachgruppe eingerichtet worden und werden mit viel Engagement betrieben.

Die Versorgungsstruktur ist überregional durch örtliche Wasserversorgungsunternehmen geprägt. Von überregionaler Bedeutung ist die Wassergewinnung Moos der Wasserversorgung Bayerischer Wald, über die zahlreiche Städte und Gemeinden in diesem Bereich mit Zusatzwasser versorgt werden. Auf Grund der besonderen Untergrundverhältnisse im Gewinnungsgebiet Moos halten sich die Belastungen aus der Landwirtschaft auch ohne Sanierungsprogramme in Grenzen.



Abb. 79 Intensivmessfläche mit Messschacht, Wassereinzugsgebiet Straubing

5.6.1.3 Umweltmessprogramme

Mit folgenden Behörden und Facheinrichtungen bestehen Kooperationen bzw. Vereinbarungen zur gegenseitigen Nutzung von Informationen, Messflächen und/oder Messeinrichtungen:

- Landesanstalt für Landwirtschaft (Bodendauerbeobachtungsfläche)
- Stadtwerke Straubing, Wasserversorgung
- Justizvollzugsanstalt Straubing, landwirtschaftlicher Betrieb

5.6.2 Wassereinzugsgebiet Straubing

Das Wassereinzugsgebiet Straubing wird seit 1995 als Intensivmessgebiet des MSGw untersucht, wobei hier spezielle Messeinrichtungen zur Beobachtung des Sickerwassers unter Ackerbau angelegt wurden (s. Abb. 4, 79 und 86).

5.6.2.1 Lage und Ausstattung

Das Wassereinzugsgebiet Straubing liegt in der Donauebene unmittelbar südlich des Stadtgebietes (Abb. 80). Es wird vom Zustromgebiet der Quartärbrunnen der Wasserversorgung gebildet. Mit einer Fläche von ca. 9 km² und einer mittleren Geländehöhe von 330 m ü. NN erfasst es die

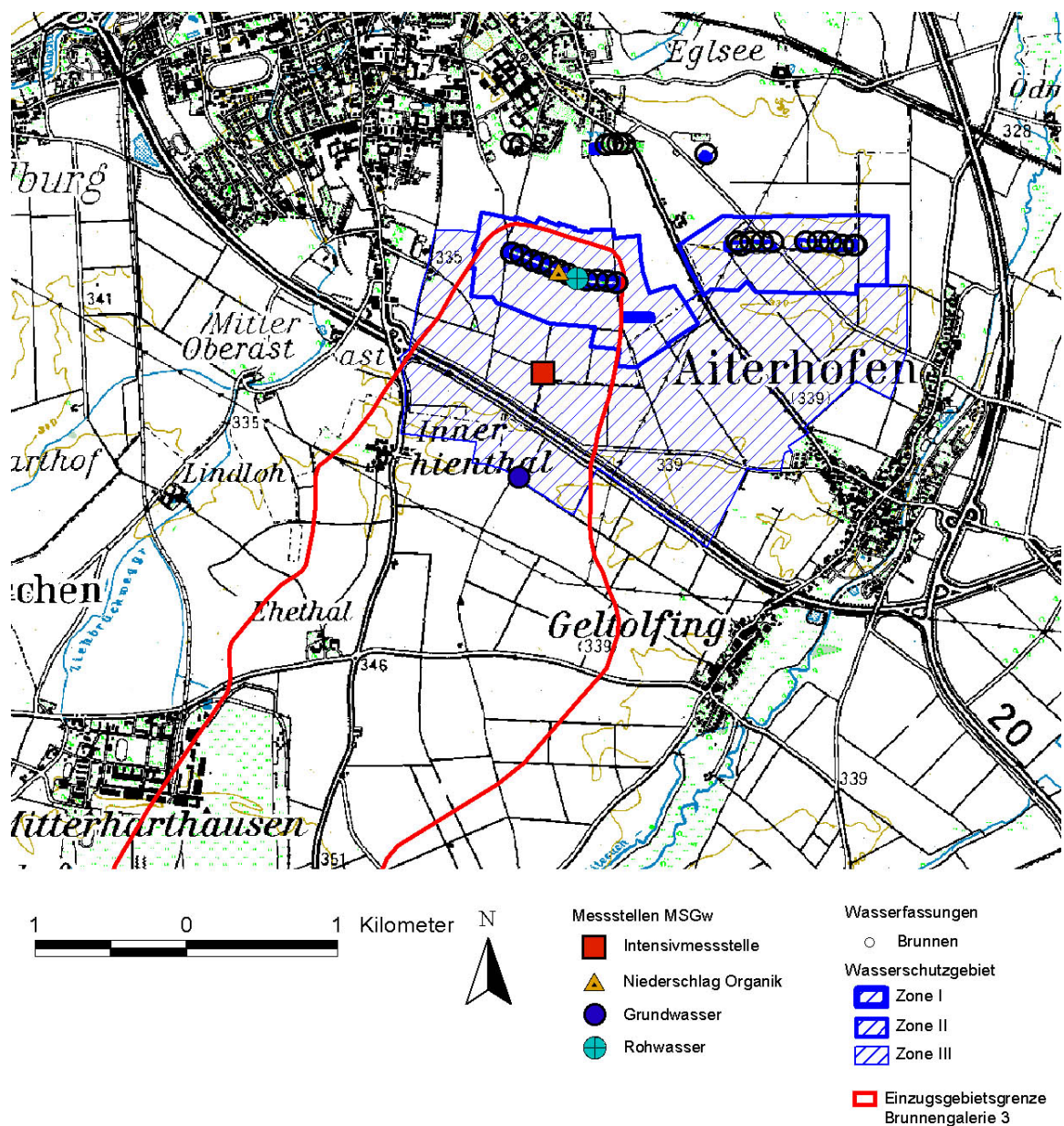


Abb. 80 Wassereinzugsgebiet Straubing, Brunnengalerie III mit Lage der Messstellen

Ergebnisse der Messgebiete

altquartären Schotterterrassen zwischen dem Tertiärrand im Süden (Linie Salching-Mitterharthausen) und den am südöstlich Stadtrand gelegenen Brunnengalerien im Norden. Tabelle 75 gibt eine Übersicht der Messaktivitäten. Seit 1985 ist in dem Gebiet eine Bodendauerbeobachtungsfläche der Landesanstalt für Landwirtschaft angelegt. Ein zunehmend ausgeweitetes Netz von Vorfeldmessstellen wird von den Stadtwerken zur Kontrolle des Grundwassers betrieben. Alle Messstellen liegen im Wasserschutzgebiet.

Tab. 75: Messaktivitäten im Wassereinzugsgebiet Straubing (Messstellen auf der Intensivmessfläche fett)

Messobjekt	Messprogramme	Messstelle	Betrieb ab	Höhe ü. NN [m]	Bemerkung
Niederschlag	qual./quan.	Freiland	05.1996	339	
Niederschlag	qualitativ	Freiland, Organ. Spurenstoffe	04.1995	337	spez. Depositionsmessnetz für organ. Problemstoffe
Sickerwasser	qual./quan.	100 cm Tiefe	07.1998	339	Messschacht, Horizontalsonden
Sickerwasser	qual./quan.	200 cm Tiefe	07.1998	339	Messschacht, Horizontalsonden
Sickerwasser	qual./quan.	450 cm Tiefe	07.1998	339	Messschacht, Horizontalsonden
Sickerwasser	qual./quan.	800 cm Tiefe	07.1998	339	Messschacht, Schrägsonden
Grundwasser	qual./quan.	Messstelle Innerhienthal N33	12.1996	341	Vorfeldmessstelle N33, 5“-Messrohr, Ausbautiefe 19,5 m
Rohwasser	qualitativ	zugeordnete Wasserversorgung	04.1998	333	Brunnen 305, Ausbautiefe 17,2 m
Klima		Klimamessstelle	10.1996	339	

5.6.2.2 Klima und Landnutzung

Abb. 81 zeigt das Klimadiagramm der nächstgelegenen DWD-Klimastation Straubing (Wst) für die Normalperiode 1961-1990. Sie befindet sich ca. 3 km südsüdöstlich der Intensivmessfläche auf 350 m ü.NN. Die mittlere jährliche Niederschlagssumme von 783 mm wird von einem ausgeprägten Sommermaximum bestimmt. Von Juni bis August fällt etwa ein Drittel des Jahresniederschlags. Im langjährigen Verlauf schwanken die Jahresniederschläge zwischen 450 und 1100 mm. Trockenjahre können daher zu Problemen in der Landwirtschaft führen, wenn das gespeicherte Bodenwasser den Verdunstungsanspruch der Kulturpflanzen nicht abdeckt. Gelegentlich kann die Grundwasserneubildung ausbleiben. Bei insgesamt drei Frostmonaten ist nur der Ja-

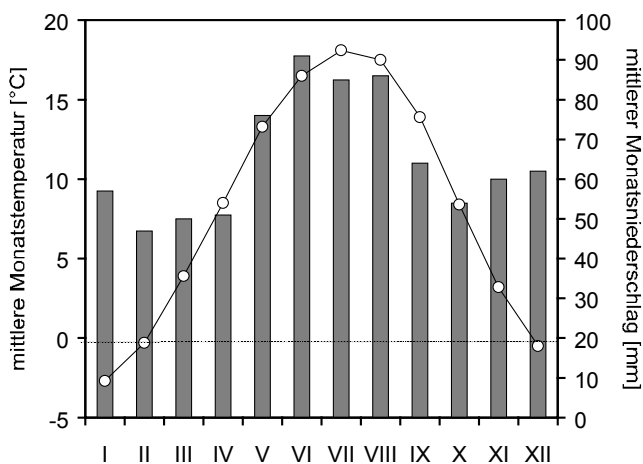


Abb. 81 Klimadiagramm (1961 - 90) für die Wetterstation Straubing (WST) des DWD

nuar sehr kalt. Schneedecken sind i.d.R. ohne hydrologische Bedeutung. Vorherrschende Feldfrüchte im landwirtschaftlichen Ackerbau sind Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln. Intensität und Methoden der Bewirtschaftung beeinflussen den Stoffbestand im Sickerwasser. Die Aufbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie der Anbau der Haupt- und Zwischenfrüchte mit unterschiedlichen Wachstumszyklen, variierendem Nährstoffbedarf und spezifischem Erntezeitpunkt gehören zu den anthropogenen Faktoren, die auf den Boden wirken. Weitere Landnutzungen im Wassereinzugsgebiet betreffen dörfliche Siedlungen, einzelne Sondernutzungen sowie ein teilweise stark ausgelastetes örtliches und überörtliches Straßennetz.

5.6.2.3 Geologie und Böden

Stauende Basis und randliche Begrenzung des Quartärgrundwassers im Süden sind die Feinsedimente des Tertiärs. Der Grundwasserzstrom zu den Quartärbrunnen erfolgt, beginnend am SSW gelegenen Tertiärrand, über ca. 5 km zunächst in altpleistozänen (Deckenschotter), dann in ribeiszeitlichen (Hochterrasse) Terrassensanden und –kiesen. Hier setzen die Brunnenfelder an. Letztlich mündet der Grundwasserstrom in die flussnahe Niederterrasse und tritt dort aus. Der Übergang von den Deckenschottern zur Hochterrasse liegt unmittelbar nördlich der Intensivmessfläche. Für die Deckenschotter wurden Mächtigkeiten von ca. 10 m, für die mittel- bis feinkiesige Hochterrasse von 7 - 9 m (örtlich 4 m) ermittelt. Beide Terrasseneinheiten sind von Lößlehmen überdeckt, die im Bereich der Brunnenfelder Mächtigkeiten von 3 m im Osten bis 7 m im Westen (MSGw-Rohwassermessstelle) aufweisen. Auf den Lößlehmen sind tiefgründige, im tieferen Bereich z.T. kalkhaltige Parabraunerden oder pseudovergleyte Parabraunerden entwickelt.

5.6.2.4 Wasserhaushalt

Für den Wasserhaushalt werden die Daten der Intensivmessfläche zu Grund gelegt. Danach liegt der mittlere Jahresniederschlag (1997-2002) bei 676 mm (Tab. 76). Es gab kein ausgesprochenes Trockenjahr. Die Jahre 2000 bis 2002 weisen ergiebigeren Niederschläge auf. Nach Methode RENGER & WESSOLEK wird eine Verdunstung von 490 mm/a bestimmt, wobei für das Gebiet eine nutzbare Feldkapazität von 188 mm angenommen wird. Die berechnete Grundwasserneubildung erreicht 187 mm/a bzw. 28 % des Niederschlags. In den Jahren nach 1999 führten die höheren Raten der Grundwasserneubildung zu deutlichem Anstieg der Grundwasserstände (s. Abb. 85.).

Tab. 76: Jährliche Wasserflüsse [mm] im Messgebiet Donau/Gäuboden, Wassereinzugsgebiet Straubing

Hyd. Jahr	h_N^*	h_{FN}	ETa	$h_{FN} - ETa$
1997	620	586	470	116
1998	687	618	483	135
1999	709	656	488	168
2000	775	711	494	217
2001	842	763	508	255
2002	905	723	494	229
MW	756	676	490	187

* DWD Station Straubing (Wst)

Ergebnisse der Messgebiete

Nach dem Ansatz von RENGER&WESSOLEK liegt die reale Verdunstung erheblich unter der potentiell möglichen (Tab. 77). Der geschätzte Wert für die Grundwasserneubildung im Messzeitraum (187 mm/a) kann mittels der Chloridmethode grob gegengeprüft werden. Grundlage sind die Daten des atmosphärischem Chlorideintrags im Messzeitraum und der Chlorid-Überschüsse aus Düngemitteln sowie die Chloridkonzentration des Sickerwassers in 200 cm Tiefe. Damit kann für den Zeitraum von 1998 bis 2002 im Mittel eine Sickerwasserrate von 250 mm/a geschätzt werden.

Tab. 77: Langjähriger Wasserhaushalt im Messgebiet Donau/Gäuboden, Wassereinzugsgebiet Straubing

Parameter	Mittelwerte 97 – 2002	
	[mm]	[l/s*km ²]
h_{FN}	676	21,4
ET_P (Haude)	639	20,3
ET_a (Renger&Wessolek)	490	15,5
$h_{FN} - ET_a$	187	5,9
SW_{200} (Chloridmethode)*	250	7,9

* 1998 - 2002

5.6.2.5 Stoffhaushalt

Bei einem mittleren pH-Wert von 5,5 (Spanne 4,3 -8,0) ist der protonengebundene Säureeintrag mit dem Niederschlag (Bulk-Verfahren) äußerst gering (Tab. 80). Anorganisch gebundener Stickstoff wird mit ca. 13 kg/ha*a atmosphärisch deponiert. 75 % des Eintrags erfolgen als Ammonium-Stickstoff, da die Emissionen im Umfeld vorwiegend landwirtschaftlich geprägt sind. Aus derselben Quelle stammt auch ca. 1 kg/ha*a organisch gebundener Stickstoff. Die Niederschlagsdeposition von Schwefel liegt seit Beginn der Untersuchung konstant bei ca. 4 kg/ha*a. Extrem schwankende Phosphateinträge von 0,1 bis 1,4 kg/ha*a deuten auf wechselnde Intensität von Nahemissionen.

Der terrestrische Eintrag für Stickstoff, Phosphor und Kalium ergibt sich aus den Nährstoffsalden der landwirtschaftlichen Flächen. Sie werden für den hier untersuchten Schlag aus der Aufbringung als Mineraldünger (viehloser Ackerbaubetrieb) und der Nährstoffabfuhr über Ernteprodukte abgeschätzt. Aus Tabelle 78 geht hervor, dass die Stickstoffüberschüsse im registrierten Zeitraum 1986-2002 gering sind. Von 1986-1993 überwogen die Überschüsse (-4 bis 55 kg/ha*a). Nach einer weitgehend von Defiziten charakterisierten Periode von 1994 bis 1998, überwogen im Zeitraum 1999-2002 mit Ausnahme des letzten Jahres die Überschüsse. Der Phosphor- und Kalialdo war sowohl im langjährigen Mittel als auch in Einzeljahren negativ. Ergänzend zum langjährigen Mittel sind in Tab. 79 die Nährstoffsalden für den Bezugszeitraum des Depositions- und Sickerwassermonitorings sowie für die letzte Fruchtfolge angegeben.

Auf den Nährstoffsalden der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung, dem Eintrag mit dem Niederschlag und dem Austrag mit dem Sickerwasser basierend, wird die Stoffbilanz für die hydrogeo-

logisch gebietsrepräsentative Intensivmessfläche vorgestellt (Tab. 79). Die Bilanz wird als Summe von Stoffdeposition und Stoffsaldo der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung abzüglich dem Austrag mit dem Sickerwasser berechnet.

Tab. 78: Nährstoffsalden 1986 – 2002 aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (kg/ha*a, Düngung – Abfuhr), Wassereinzugsgebiet Straubing, Intensivmessfläche und Bodendauerbeobachtung

Zeitraum	N	P	K
Mittel 1986 – 2002	15,0	-11,4	-12,7
Mittel 1997 – 2002	6,4	-12,0	-13,7
Mittel 2000 – 2002*	17,3	-10,6	11,0

* letzte Fruchtfolge

Tab. 79: Nährstoffhaushalt im Sickerraum (0-1 m Tiefe), Messgebiet Donau/Gäuboden, Wassereinzugsgebiet Straubing, Intensivmessfläche/Acker, Mittelwerte in kg/ha*a für 1997-2002, kursive Werte Mindestschätzung (häufig < NWG)

Nährstoff (Element)	Eintrag	Eintrag	Eintrag	Austrag	Bilanz
	Freiland Bulk	Landwirtschaft Stoffsaldo	Summe	Sickerwasser	
Stickstoff	13,8	6,4	20,2	8,7	11,5
Phosphor	0,8	-12,0	-11,2	0,0	-11,2
Kalium	3,6	-13,7	-10,1	0,3	-10,4

Die Bilanzergebnisse enthalten Unsicherheiten, da sie durch Trends der Bewirtschaftungsintensität beeinflusst werden, der Messzeitraum relativ kurz ist und die Nährstoffsalden auf jährlichen Schätzungen beruhen. Der Nährstoffaustrag mit dem Sickerwasser wird für 100 cm Tiefe berechnet, um näherungsweise den Nitratfluss ohne die nachfolgende starke Denitrifikation zu erhalten. Allerdings ist hier noch ein pflanzlicher Wasserentzug anzunehmen. Vom durchschnittlichen Stickstoffüberschuss in Höhe von 20,2 kg/ha*a werden 11,5 kg/ha im Humus gebunden oder denitrifiziert, 8,7 kg/ha*a werden als Nitrataustrag registriert. Die Verluste an Phosphor und Kalium sind äußerst gering.

Tab. 80 gibt einen Gesamtüberblick der erfassten Stoffhaushaltskomponenten. Schwefel, der überwiegend aus dem Mineraldünger stammt (nicht quantifiziert), wird mit 15,8 kg/ha*a im Sickerwasser transportiert. Wichtig ist hier die Frachtentwicklung zwischen 1 und 8 m Tiefe. Sie steigt für Sulfat-Schwefel auf ca. 33 kg/ha*a an, geht aber für Nitrat-Stickstoff auf ca. 3 kg/ha*a zurück (vgl. Konzentrationen in Tab. 86). Offensichtlich wird Nitrat reduziert zu Gunsten der Oxidation von Sulfat.

Im Gegensatz zur Stofffracht im Sickerwasser spiegelt das örtliche Grundwasser (Messstelle Innerhiental N33) die summarischen Einflüsse im Zustrombereich. Die angenommene Flussrate entspricht der Sickerwasserrate von 187 mm/a. Hohe Chloridfrachten weisen auf einen zusätzlichen Eintrag von Straßensalz und höhere Düngergaben im südlichen Zustrombereich. Die

Ergebnisse der Messgebiete

Grundwasserfracht für Sulfat-Schwefel entspricht annähernd der relativ hohen Sickerwasserfracht in 8 m Tiefe an der Intensivmessfläche. Allerdings ist auch der Nitratstrom im Grundwasser bei weitem stärker als im beobachteten Sickerwasser. Höhere Nutzungsintensitäten, Art und Verteilung der Düngemittel und möglicherweise wechselnde Redox-Milieus in der Grundwasserüberdeckung sind als wesentliche Faktoren anzusprechen.

Tab. 80: Stoffhaushalt im Messgebiet Donau/Gäuboden, Wassereinzugsgebiet Straubing, Acker, Mittelwerte in kg/ha*a für 97-2002, kursive Werte Mindestschätzung (häufig < NWG)

Parameter	Eintrag	Eintrag	Austrag*	Bilanz	Fracht Gw Innerhienthal N33
	Freiland	Landwirtschaft	Grundwasser-		
	Bulk	Stoffsaldo	neubildung		
Protonen	0,0	-	0,0	0,0	0,0
o-Phosphat-Phosphor	0,8	-12	0,0	-11,2	0,0
Chlorid	3,3	34,7	43,1	-5,1	140,4
Sulfat-Schwefel	4,0	-	15,8	-	37,1
Nitrat-N	3,6	-	8,9	-	18,8
Ammonium-N	9,3	-	0,0	-	0,0
Norg	1,0	-	-	-	-
Gesamt-N	13,8	6,4	8,7	11,5	18,8
Calcium	3,4	-	172,8	-	248,6
Magnesium	0,5	-	47,5	-	63,9
Natrium	1,8	-	16,9	-	14,8
Kalium	3,6	-13,7	0,3	-10,4	1,0

* 100 cm Tiefe, 1998 - 2002

5.6.2.6 Organische Stoffe aus der Atmosphäre

Der intensiv landwirtschaftlich genutzte Standort lässt erhöhte Konzentrationen von PBSM erwarten. Tatsächlich konnten zahlreichen Substanzen in hohen Konzentration nachgewiesen werden. So konnten über 4 Jahre für das Voraufbau-Herbizid Pro-sulfocarb maximale Konzentrationen ermittelt werden (Maximum 2500 ng/l), die höchstwahrscheinlich aus lokaler Anwendung stammen. Ein erstmaliger Nachweis gelang für das Insektizid Pirimicarb. Auch Anwendungen der „älteren Herbizide“ Terbutylazin und Isoproturon ist in der Nähe zu vermuten. So wird eine Umstellung von Atrazin auf Terbutylazin erkennbar (Abb. 82). Die Nitrophenolkonzentrationen

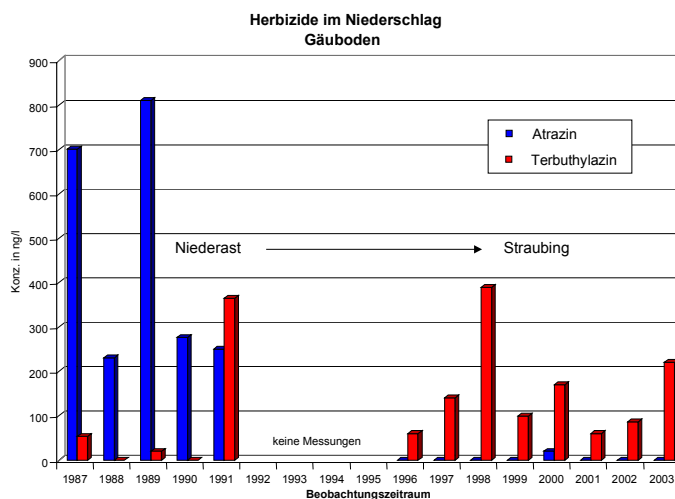


Abb. 82 Entwicklung der Deposition für ausgewählte Triazine, Wassereinzugsgebiet Straubing

onen sind im Bayern weiten Vergleich leicht erhöht.

5.6.2.7 Grundwasserverhältnisse

In den Kiessanden der quartären Hochterrasse strömt das Grundwasser vom südlichen Randtertiär nach Nordosten Richtung Donau. Es regeneriert sich aus Niederschlägen, die im randlichen Tertiärhügelland und vor allem auf den lehmüberdeckten Terrassenflächen versickern. Die STADTWERKE STRAUBING (1997) geben für den Zeitraum 1966-1987 eine Neubildungsrate von 160 mm/a an, wobei das Minimum bei 50 mm/a das Maximum bei 350 mm/a lag. Bei einem Gefälle von 0,1 bis 10 % betragen die k_f -Werte der Terrassensedimente 1 bis $4 \cdot 10^{-3}$ m/s. Eine bedeutende hydraulische Wechselwirkung mit den unterlagernden tertiären Feinsedimenten wird im Wassereinzugsgebiet nicht angenommen.

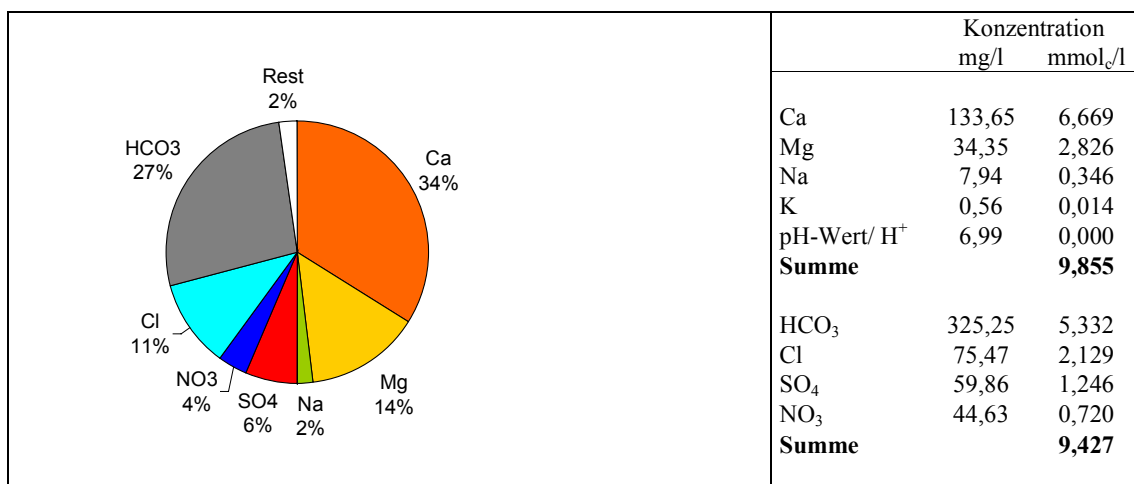


Abb. 83 Mittlere Grundwasserbeschaffenheit (1996-2002), Messstelle Innerhienthal N33, Messgebiet Donau/Gäuboden

Die Grundwasserbeschaffenheit der Vorfeldmessstelle Innerhienthal N33 wird nach FURTAK LANGUTH als „normal erdalkalisch, überwiegend hydrogencarbonatisch - sulfatisch“ eingestuft. Mit einer Leitfähigkeit von ca. 800 µS/cm ist der Mineralstoffgehalt etwas höher als in den Grundwasservorkommen der voralpinen Schotterplatten. Die Härte von 27 ° dH ist dem Härtebereich 4 nach Waschmittelgesetz zuzuordnen. Trotz der meist mehrere Meter mächtigen Lehmüberdeckungen werden deutliche Anteile landwirtschafts- und straßensalztypischer Ionen im Grundwasser festgestellt (Abb. 83). Die Nitratkonzentrationen der beiden untersuchten Grundwassermessstellen sind relativ ähnlich und schwanken zwischen 40 und 50 mg/l (Abb. 84).

Ergebnisse der Messgebiete

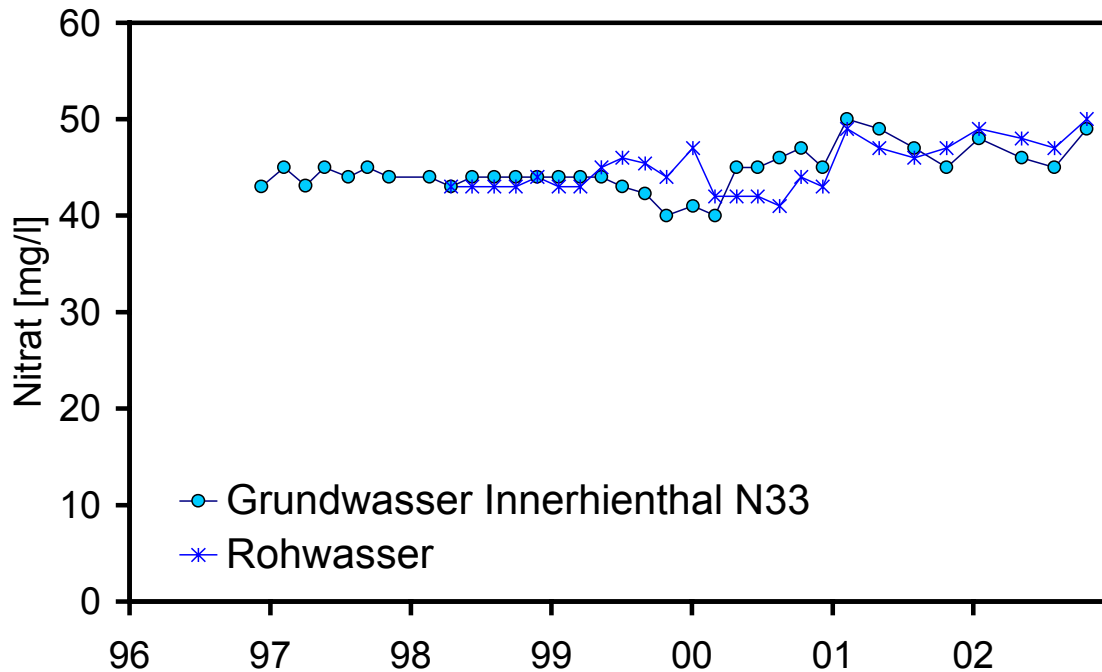


Abb. 84 Ganglinien der Nitratkonzentrationen im Grundwasser, Wassereinzugsgebiet Straubing

Der Grundwasserstand an der Messstelle Innerhienthal N33 ist seit Ende der 90er Jahre stark ansteigend und liegt damit im allgemeinen Trend der oberflächennahen Grundwasservorkommen in Südbayern (Abb. 85). Die fast 70-jährige Zeitreihe der etwa 1,8 km nordwestlich gelegenen Vergleichsmessstelle (Straubing 228) zeigt, dass Grundwasserstände dieser Höhe im vergangenen Jahrhundert auch nach Einrichtung der Brunnengalerie 3 im Jahr 1973 nichts außergewöhnliches waren.

5.6.2.8 Wasserversorgung

Die Grundwassergewinnungsgebiete der Stadt Straubing liegen im SE der Stadt im Bereich der älteren Donauterrassen. Hier erfolgt die Trinkwasserversorgung aus 26 Flachbrunnen im Quartär und 3 Tiefbrunnen im Tertiär. Dem Tertiärwasser wird natürlich enthaltenes Ammonium, Mangan und Eisen in einer speziellen Aufbereitungsanlage entzogen. Bei einem Jahreswasserbedarf von ca. 3 Mio m³ werden 45.000 Einwohner mit Trinkwasser versorgt. Sobald die Qualität des Quartärwassers dessen alleinige Nutzung ermöglicht, sollen die Tertiärbrunnen, die zur Zeit zur Verbesserung der Trinkwasserqualität beitragen, wieder stillgelegt werden.

Es besteht ein für den Grundwasserschutz typisches Ausgleichsproblem zwischen den Ansprüchen einer ertragreichen Landwirtschaft und der Sicherstellung der Trinkwasserversorgung. Seitens des Wasserversorgungsunternehmens wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt,

um ein langfristiges Trinkwassermanagement für das Einzugsgebiet der Quartärbrunnen entwickeln zu können. Insbesondere die Nitratproblematik erforderte eine Einbeziehung des gesamten

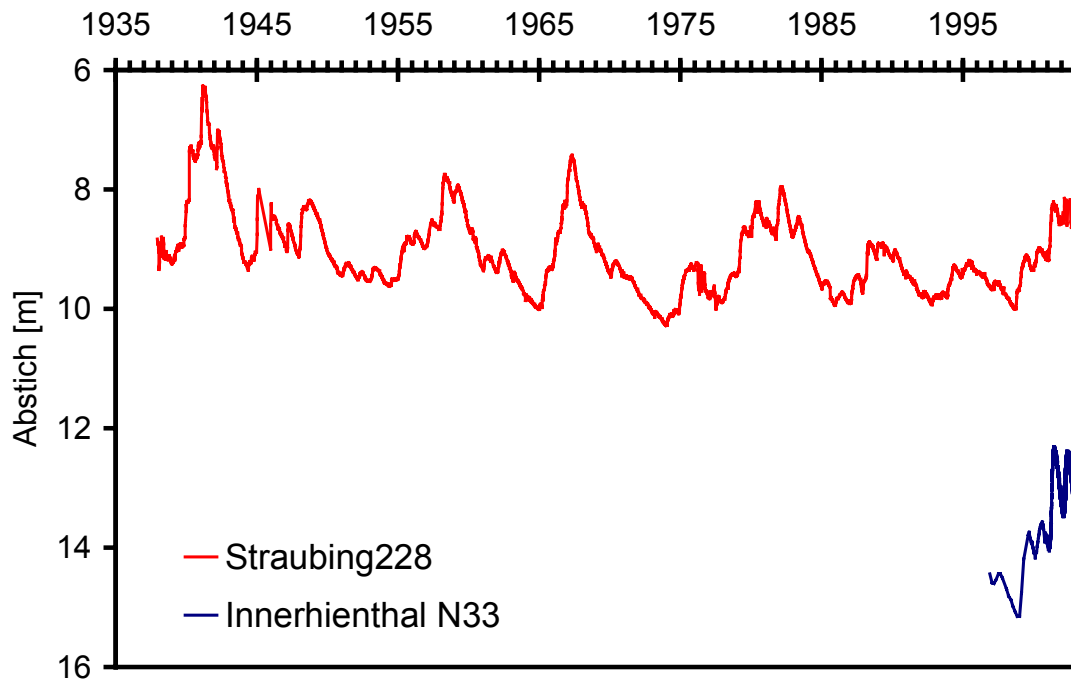


Abb. 85 Langjährige Entwicklung des Grundwasserstands, Wassereinzugsgebiet Straubing

Grundwassereinzugsgebiets in die Planungen. Hier wird über die Schutzgebietsgrenzen hinausgehend, durch freiwillige Bewirtschaftungsverträge mit den betroffenen Landwirten, angepasst an die speziellen Bewirtschaftungs- und Standortverhältnisse, ein weitgehender Trinkwasserschutz erreicht. Die grundwasserschonende Landbewirtschaftung hat vorrangig zum Ziel, den Gehalt an auswaschbarem Stickstoff im Boden zu minimieren. Dazu zählt auch der Anbau von Zwischenfrüchten. Die Gehalte der Ackerböden an mobilem Stickstoff werden regelmäßig nach der Nmin-Methode kontrolliert.

5.6.3 Intensivmessfläche Straubing

Die Intensivmessfläche ist ein Acker (Schlag), auf dem die Landesanstalt für Landwirtschaft seit 1985 eine Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF 032) betreibt. Hier wurde ein Messschacht für die Beobachtung der ungesättigten Zone installiert (Abb. 86).

Ergebnisse der Messgebiete

5.6.3.1 Lage

Die Messeinrichtungen liegen in 349 m ü.NN, 1,5 km südlich der Randbebauung von Straubing und 300 m nördlich der vielbefahrenen Bundesstrasse 8. Der 4,2 ha große Schlag reicht vom zentralen Bereich der quartären Hochterrasse bis in Nähe der donauseitigen Randstufe zur Niederterrasse. Abgesehen von einer Abschattung der Klimastation nach Nordosten (Feldhecke) ist das Windfeld rundum sehr offen. Der Abstand des Messschachtes zur nächstgelegenen Brunnengalerie in Fließrichtung des Grundwassers beträgt knapp 700 m.

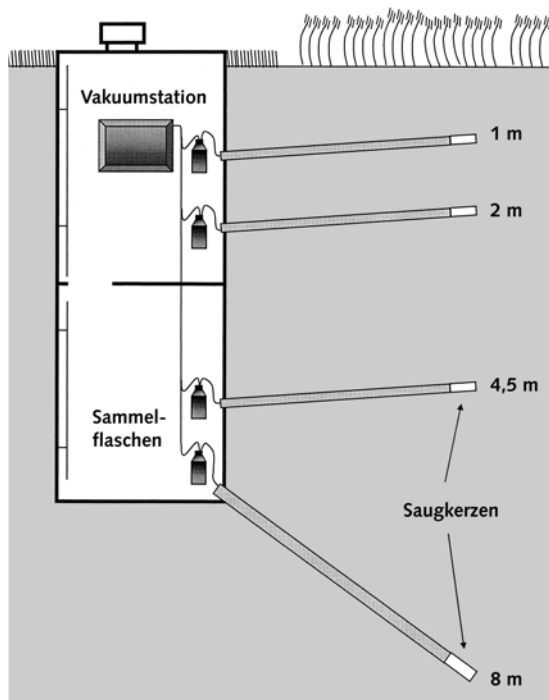


Abb. 86 Schemaskizze des Messschachtes zur Beobachtung des Sickerwassers im Messgebiet Donau/Gäuboden

5.6.3.2 Bewirtschaftung

Alle Bewirtschaftungsmaßnahmen wurden vom landwirtschaftlichen Betrieb in einer Schlagkartei protokolliert. Demnach war der Zeitraum 1986 - 2002 von der Fruchtfolge Zuckerrüben – Weizen – Gerste bestimmt, je einmal unterbrochen durch Kartoffel bzw. Mais (Tab. 81). Seit 1998 wird soweit möglich Zwischenfruchtanbau betrieben. Die zumeist in mehreren Teilgaben ausgebrachte Stickstoffmenge schwankt zwischen 100 und 190 kg/ha*a. Die N_{min}-Werte lagen im Frühjahr zwischen 29 und 105 kg/ha, im Dezember zwischen 16 und 42 kg/ha.

Tab. 81: Bewirtschaftungsdaten der Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Straubing

	Fruchtfolge	Ernte	Ertrag [dt/ha]	Dünger	Düngetermin	Stickstoffgabe [kg/ha*a]	Zwischenfrucht	Nmin-Frühj. (0-90 cm) [kg/ha]	Nmin-Dez. (0-90 cm) [kg/ha]
1986	Gerste	04.07.86	57	Thomaskali und KAS		158			
1987	Zuckerrüben	05.10.87	600	Carbonkalk, 13/13/2, KAS		163	Phazelia		
1988	Weizen	10.08.88	70	Thomaskali, KAS		157			
1989	Gerste	07.07.89	70	Phosphatkali, KAS		161			
1990	Zuckerrüben	25.10.90	700	Phosphatkali, KAS		162			
1991	Weizen	10.08.91	70	Phosphatkali, KAS 27 %		130		72	
1992	Mais	06.10.92	137	Phosphatkali, KAS		144		105	
1993	Weizen	05.08.93		Kali 40, KAS 27%		134		38	
1994	Zuckerrüben	20.10.93	677	Kali		100	Senf		
1995	Weizen	02.08.95	82	?		189		32	
1996	Kartoffel	02.09.96	490	PK 10/24	1.9.1995	162			
				KAS	1.4.1996				
1997	Weizen			KAS	13.3.1997	193			
				KAS	23.4.1997				
				KAS	30.5.1997				
				KAS	10.6.1997				
				Phosphatkali	11.9.1997				
1998	Gerste	20.07.98	69	KAS	12.3.1998	100	Senf	31	42
				KAS	9.4.1998				
				Phosphatkali	13.8.1998				
1999	Zuckerrüben	02.11.99	815	KAS	29.3.1999	179			21
				KAS	4.5.1999				
				Aminosol, Flurabel	7.5.1999				
				Flurabel	16.6.1999				
2000	Weizen	10.08.00	70	KAS	21.3.2000	150	Senf	55	16
				KAS	27.4.2000				
				KAS	25.5.2000				
2001	Gerste	05.07.01	71	Phosphatkali	31.8.2000	160	Senf	29	19
				KAS	1.3.2001				
				KAS	26.4.2001				
				KAS	10.5.2001				
2002	Zuckerrüben	15.11.02	801	Phosphatkali	23.08.01	134			5
				Kali 40, KAS	2.4.02				
				KAS	2.5.02				
				Aminosol	3.5.02				
				Solubor	27.6.02				
				Solubor	29.7.02				

Ergebnisse der Messgebiete

5.6.3.3 Profilbeschreibung

Auf der ribeiszeitlichen Hochterrasse des Donautales hat sich eine knapp 1 m mächtige, kalkfreie Parabraunerde entwickelt (Tab. 82). Sie ist aus dem knapp 2 m mächtigen Jüngerem Löß hervorgegangen, der im oberen Abschnitt noch stark kalkhaltig ist. Der unterlagernde Ältere Lößlehm ist kalkfrei. In ca. 5,5 m Tiefe steht die sandige bis sandig-kiesige, Grundwasser führende Hochterrasse an. Ihre Gesamtmächtigkeit beträgt im Bereich der Intensivmessfläche etwa 15 m, so dass die Schichtgrenze zu den unterlagernden tertiären Feinsedimenten etwa ca. 20 m unter Gelände anzunehmen ist.

Tab. 82: Tiefenprofil der Intensivmessfläche/Bodendauerbeobachtungsfl., Wassereinzugsgebiet Straubing (Daten LfL)

Tiefe [cm]	Bodenhorizont	Bodenart (Text)	Bodenart	Kalkgehalt	Boden/Geologie
- 30	Ap	Schluff, stark lehmig	UI3	Spuren	Pflughorizont
- 50	Al	Schluff, stark lehmig	UI3	0	Mineralboden
- 90	Bt	Lehm, schluffig, tonig	Ltu	0	Mineralboden
- 200	Cn	Schluff, stark lehmig	UI3	sehr stark	Jüngerer Löß
- 280		Schluff, sehr stark lehmig	UI4	schwach	Jüngerer Löß
- 340		Lehm, schluffig	Lu	0	Älterer Lößlehm
- 550		Lehm, tonig, schluffig	Ltu	0	Älterer Lößlehm
- 565		Mittelsand, stark tonig, sehr stark kiesig	mSt3g4	0	Riß-Hochterrasse
- 600		Mittelsand, schwach tonig, schwach kiesig	mSt2g2	0	
- 640		Mittelsand, schwach kiesig	mSg2	0	
- 730		Mittelsand	mS		
- 750		Feinmittelsand, stark tonig	fmSt3		

5.6.3.4 Bodenfestphase

Die Festphase der Bodenaufgabe wird anhand der Bodendauerbeobachtungsfläche charakterisiert. Bei einem geringen Kalkgehalt von 1% liegen die pH-Werte des Oberbodens im schwach sauren Bereich. Durch regelmäßige Zufuhr über die Düngung wird in der Krume eine fast 100 %-ige Basensättigung gehalten. Die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte erreichen hier nahezu das 10-fache des Unterbodens, bei einem C/N-Verhältnis von ca. 2,5 in beiden Horizonten (Tab. 83 und 84).

Tab. 83: Kenndaten für pH, C, P und N, Intensivmessfläche/Bodendauerbeobachtungsfläche, Wassereinzugsgebiet Straubing, 1985/86, Acker

Bodentyp: Parabraunerde								
Horizont	Tiefe [cm]	Textur	Skelett [Gew. %]	d _B [g/cm ³]	C [%]	N [%]	C/N	pH (CaCl ₂)
Ap	0 – 27	Ut4	0	-	1,04	0,12	9	6,70
Al	35 – 45	Ut4	0	-	0,45	0,05	9	6,75
Bt	50 – 95	Tu3	0	-	-	-	-	-
C	ab 95	Ut4	0	-	-	-	-	-

Tab. 84: Austauschbar gebundene Kationen, Intensivmessfläche/Bodendauerbeobachtungsfläche, Wassereinzugsgebiet Straubing, 1985/86, Acker

Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK _{pot} [%]								AK _{pot} [mmol _c /kg]	BS [%]
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn		
Ap	83,6	9,4	4,5	0,6	-	-	-	-	128,0	98,0
Al	67,3	17,3	2,5	1,0	-	-	-	-	196,5	88,2
Bt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Die Gehalte der typischen Schwermetalle liegen weit unter den 90%-Perzentilen der Hintergrundwerte für Löß und Lößlehm in Südbayern (Suttner et al. 1998). Für Cadmium zeigt sich eine merkliche Anreicherung im Pflughorizont, die bei knapp einem Drittel des Vorsorgewertes von 1 mg/kg nach BBodSchV liegt (Tab. 85).

Tab. 85: Gesamtgehalte [mg/kg], Intensivmessfläche/Bodendauerbeobachtungsfläche, Wassereinzugsgebiet Straubing, 1985/86, Acker

Horizont	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cd	Pb	Zn	P
Ap	3800	3500	12500	6148	23410	936	0,31	35,25	51,65	599
Al	-	-	-	-	29370	847	0,07	31,50	70,25	325
Bt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5.6.3.5 Bodenlösungsphase (Sickerwasser)

In den 5-jährigen Mittelwerten (Tab. 86) sind bewirtschaftungs- und klimabedingte saisonale Schwankungen, Trends infolge geänderter Bewirtschaftungsmethoden und tiefenabhängige Stoffumsatzprozesse integriert. Die höchsten Grundwasserstände werden ca. 9 m unter Gelände registriert, sodass die 8 m - Messebene im Sickerwasser eine gute Beurteilung der am Standort in das Grundwasser übertretenden Stoffe ermöglicht.

Tab. 86: Beschaffenheit des Sickerwassers, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Straubing (Mittelwerte 1998 – 2002)

Tiefe [cm]	LF [µS/cm]	pH- Wert	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]
100	562	7,74	23,2	25,5	21,2	92,9	25,5	9,1	0,2	0,003	321
200	605	7,64	17,7	27,6	6,8	94,1	30,8	8,2	0,2	0,004	369
450	581	7,78	19,1	61,1	8,3	83,0	33,1	12,4	0,3	0,009	323
800	661	7,71	19,0	52,9	11,8	82,9	25,9	30,3	40,4	0,075	386

Noch ungeklärt sind die Ursachen für die hohen Konzentrationen von Natrium, Kalium und Orthophosphat in 8 m Tiefe, zumal sie in dieser Höhe im Grundwasser nicht auftreten. Für Nitrat ist ein Abbau durch Denitrifikation in der teilweise sehr bindigen, stauanfälligen Grundwasserüberdeckung anzunehmen. Mit der Tiefe ansteigende Sulfatgehalte deuten auf eine gleichlaufende

Ergebnisse der Messgebiete

Oxidation von reduziertem Schwefel hin. Hydrogencarbonat mit Calcium und Magnesium erreicht bereits in 100 cm Tiefe hohe Werte wegen der hier einsetzenden kalkhaltigen Lößlagen.

In 1 m Tiefe sind die saisonalen Bewirtschaftungseinflüsse, mit variierenden Nitratgehalten von 0 bis über 60 mg/l, sehr deutlich (Abb. 87). Nährstoffentzug über die Pflanzenwurzeln ist hier noch möglich. Auch Chlorid zeigt hier eine ausgeprägte Dynamik mit Konzentrationen zwischen 2 und 48 mg/l. In Einzeljahren sind die Korrelationen zwischen den Nitrat- und Chloridkonzentrationen sehr ausgeprägt ($r^2 > 0,9$), ein Hinweis auf identische Stoffquellen. Ab 200 cm Tiefe liegen die Nitratkonzentrationen unterhalb 25 mg/l. Obwohl der Nährstoffeintrag bereits langjährig gering ist, zeigt sich hier ein deutlicher Trend zu weiter abnehmenden Werten. Auffällig ist die schwache Variation der Nitratgehalte in 4,5 m Tiefe, also im Bereich einer ausgeprägten Stauschicht.

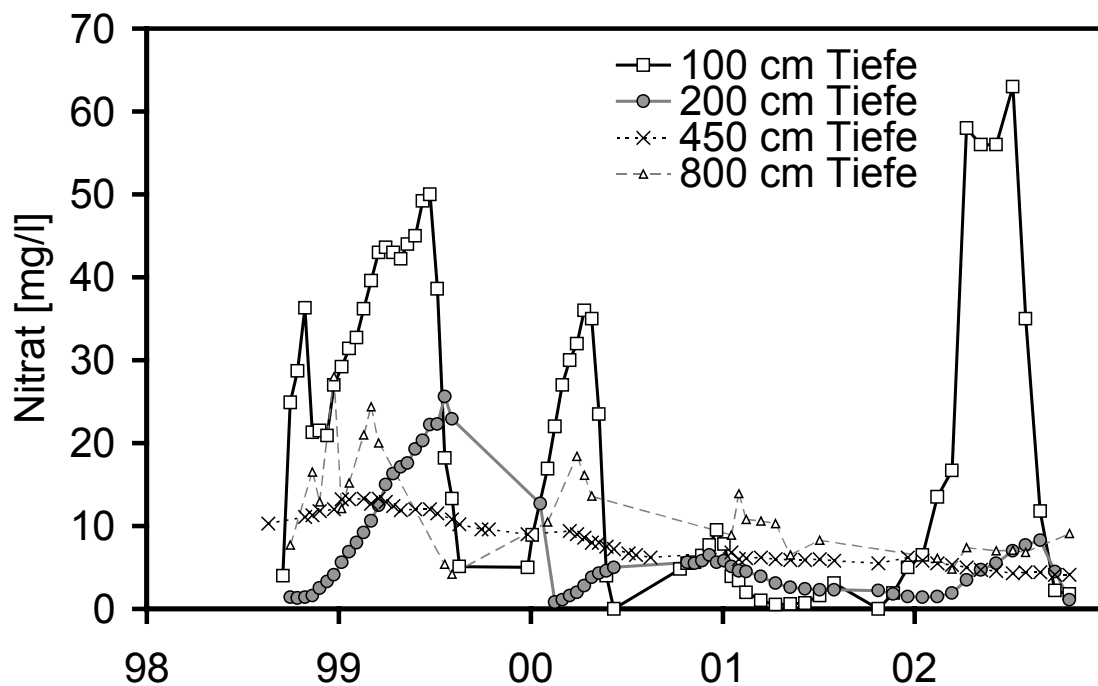


Abb. 87 Nitratkonzentration im Sickerwasser, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Straubing

Die Bodensaugspannungskurven für das Beispieljahr 2002 sind typisch saisonal geprägt (Abb. 88). Auf Grund der guten Speichereigenschaften des Bodens und ausreichender Niederschlagszufuhr steigen die Werte in der oberen, noch durchwurzelteten Messebene nicht über 300 hPa an. In 450 cm Tiefe werden maximal 100 hPa erreicht. Hier wird nahezu über ein halbes Jahr Stauwasser registriert. Im März mit seinen überdurchschnittlichen Niederschlägen erreicht der Wasserstau über knapp 2 Wochen eine Druckhöhe von maximal 1 m. Das Grundwasser reagiert mit 2 bis 3 Monaten Verzögerung auf die anhaltende Durchfeuchtung des oberen Sickertraums. Dagegen haben die hohen sommerlichen Niederschläge von Juni bis Ende August (294 mm) keinen mar-

kanten Einfluss auf den Grundwasserstand, obwohl zeitweise eine Zunahme der Bodenfeuchte bis in 200 cm Tiefe beobachtet wird. Erst im November steigt der Grundwasserstand wieder an, ca. 1 Monat nach einsetzender Wiederbefeuchtung des Bodens.

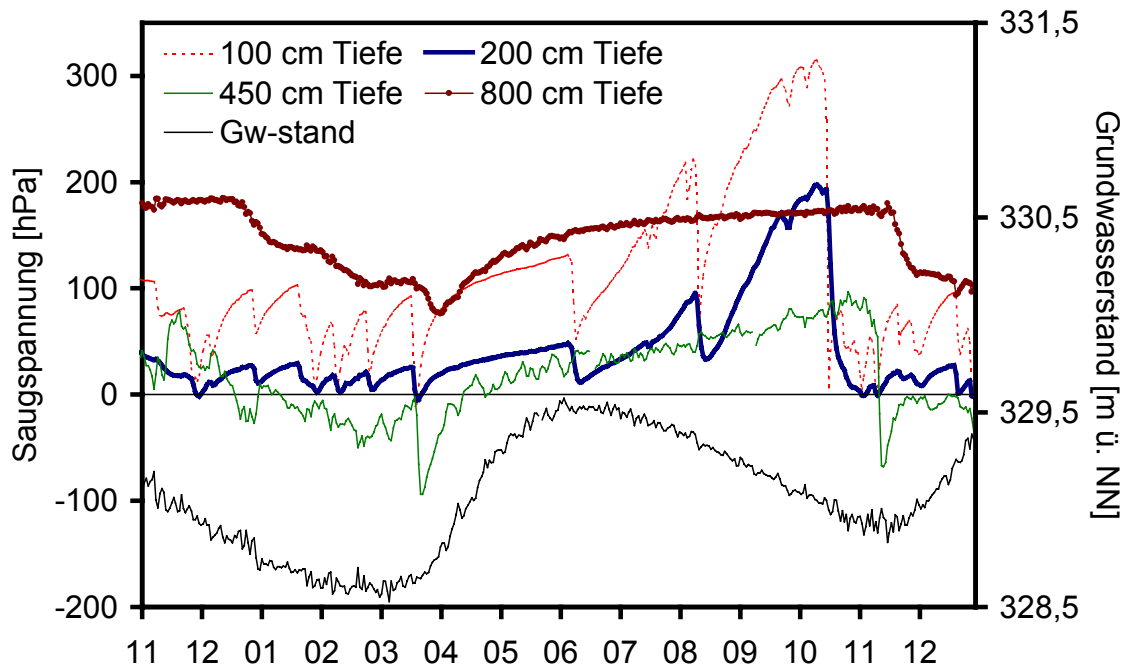


Abb. 88 Bodensaugspannung [hPa] in 100, 200, 450 und 800 cm Tiefe und Grundwasserstand, 1.11.2001 - 31.12.2002, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Straubing

5.7 Messgebiet Südliche Frankenalb

5.7.1 Regionale Gegebenheiten

Das Messgebiet Südliche Frankenalb, mit der zwischen Schwarzer Laaber und Altmühl gelegenen Hochfläche um die Ortschaft Hemau, bildet einen Ausschnitt der Landschaftseinheit Fränkischer Jura. Charakteristisch sind die teilweise verkarsteten trockenen Hochflächen im Wechsel mit tiefeingeschnittenen, wasserführenden Talsystemen. Im Sickerwasser gelöste Kohlensäure greift den Kalk und Dolomit an, so dass sich Spalten und größere Hohlräume bis hin zu Höhlen bilden können. Brechen solche Hohlräume ein, entstehen an der Oberfläche Dolinen und Einbruchstäler, in denen sich das Niederschlagswasser aus umgebenden Hangflächen sammelt und schnell in den Untergrund versickert. In Bereichen mit mächtigerer lehmiger Überdeckung und entsprechendem Wasserspeichervermögen der Böden wird verbreitet Ackerbau betrieben.

5.7.1.1 Landschaft, Klima und Geologie

Mit Gipfelhöhen von 600 bis 700 m ü. NN quer zur Hauptwindrichtung ist das Gebiet durchaus niederschlagsbegünstigt. Das Klima ist subozeanisch bis subkontinental. So herrscht bei Nordwest- und Westwetterlagen der maritime Einfluss vor, bei Ostwetterlagen wird der kontinentale Einfluss deutlich. Die Sonne scheint durchschnittlich 1600 - 1700 Stunden pro Jahr. An ca. 70 Tagen im Jahr ist der Boden schneebedeckt und an ca. 100 Tagen im Jahr tritt Frost auf. Die Jahresmitteltemperatur (1951 –1980) beträgt 7 – 8 °C, die Jahresschwankung der monatlichen Lufttemperatur um 18 °C. Vom langjährigen Mittel des Jahresniederschlags (1961-1990) in Höhe von 750 – 850 mm gelangen 200 – 300 mm zum Abfluss (BAYFORKLIM 1996).

Die Karbonatgesteine des weißen Jura (Malm) der südlichen Frankenalb entstanden in zwei Sedimentationszyklen, von denen jeder mit mergeligen Gesteinen beginnt und mit schichtig ausgebildeten Kalksteinen endet. Der erste Zyklus beginnt mit dem Malm alpha, der zweite inmitten des Malm gamma. Im zweiten Sedimentationszyklus treten weit verbreitet Riffgesteine auf, die im ersten Zyklus nur eine lokale Bedeutung haben und nach ihrer Entstehung meist zu Dolomitgesteinen umgewandelt wurden. In den Deckschichten wechseln geringmächtige Verwitterungsbildungen des Kalksteins und Dolomits mit unterschiedlich mächtigen Überdeckungen aus Alblehmen, Kreide- und Tertiärsedimenten.

5.7.1.2 Wasserversorgung

Auf den Hochalbfeldern herrscht seit jeher Wasserarmut. In historischer Zeit wurde versucht, diesen Mangel mit der Anlage von Zisternen zu beheben. Heutzutage werden Grundwasser und Quellen genutzt, jedoch sind die nutzbaren Grundwasservorräte im Vergleich zu anderen Landesteilen gering. Die Wasserarmut führte gleichzeitig zu Problemen bei der Abwasserbeseitigung. Nachdem auf den Albhochflächen keine Vorfluter zur Verfügung stehen, wurden nicht selten Dolinen zur Abwasserversickerung verwendet. Diese Praxis führte in Folge Umgehung der Bodenzone und schneller Verlagerung des Abwassers in die Klüfte und Karsthohlräume zu hohen stofflichen Belastungen des Grundwassers.

Aufgrund dieser Situation waren frühzeitig Zusammenschlüsse der Kommunen nötig, um die öffentliche Trinkwasserversorgung zu sichern. Daher sind in diesem Raum zahlreiche Zweckverbände zur Wasserversorgung auf regionaler Ebene entstanden.

5.7.1.3 Umweltmessprogramme

Derzeit bestehen im Messgebiet Südliche Frankenalb fachliche Verbindungen zu den folgenden Kooperationspartnern:

- Landesanstalt für Landwirtschaft (Bodendauerbeobachtung)
- Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: Waldklimastation Riedenburg, Bodendauerbeobachtung
- Wasserversorgungsunternehmen

Eine Bodendauerbeobachtungsmessstelle auf landwirtschaftlich genutztem Standort liegt in ca. 3,5 km Entfernung östlich der Intensivmessfläche. Unter Berücksichtigung von Klima und Standort (die BDF erfasst keine Kalksteinverwitterung sondern lehmige Albüberdeckung) sind Datenvergleiche möglich. Darüber hinaus befinden sich im Umkreis von ca. 16 km drei weitere Bodendauerbeobachtungsmessstellen (zwei forstlich genutzte der LWF und ein Sonderstandort des GLA) sowie südlich der Altmühl die Waldklimastation Riedenburg der LWF in einem Eichenbestand.



Abb. 89 Intensivmesstelle, Messgebiet Südliche Frankenalb

Das LfU betreibt im Rahmen des Immissionsökologischen Messnetzes an der Donau bei Eining eine Dauerbeobachtungsstation mit Depositionsmessung und aktivem Biomonitoring. Der nächste Messstandort des LfU-Depositionsmessnetzes liegt 30 km nordnordöstlich des Messgebietes bei Ens Dorf.

5.7.2 Wassereinzugsgebiet Birkenhof

5.7.2.1 Lage und Ausstattung

Das Wassereinzugsgebiet entspricht dem Einzugsgebiet des Brunnens Birkenhof der Stadtwerke Hemau. Es befindet sich nördlich der Stadt Hemau und erstreckt sich im Bereich eines trockenen Seitentälchens zum sog. Kesseltal über eine Fläche von 4,7 km² (Abb. 90).

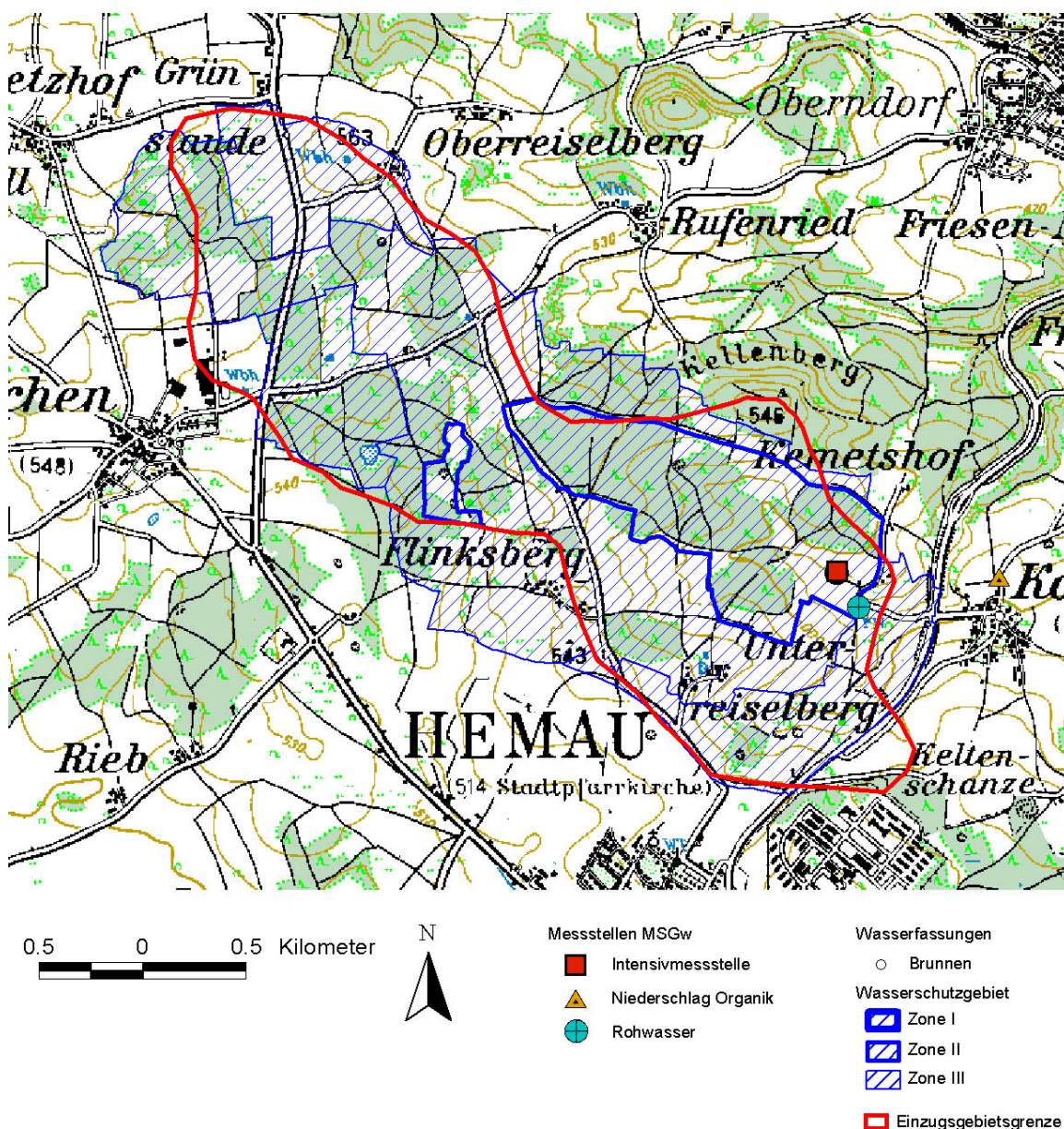


Abb. 90 Das Wassereinzugsgebiet Brunnen Birkenhof mit der Lage der Messstellen, Messgebiet Südliche Frankenalb

Die Gebietshöhe reicht von 480 bis 546 m ü. NN. Das ebenfalls trockene Kesseltal verbindet auf Höhe der Ortschaft Kollersried das Hochplateau von Hemau-Painten mit dem tief eingeschnittenen Tal der Schwarzen Laaber. Die Schwarze Laaber ist der Hauptvorfluter des Gebietes. Außer der Messstelle für die Deposition von organischen Spurenstoffen (1 km östlich im Bereich der zentralen Trinkwasseraufbereitung) befinden sich alle Messeinrichtungen der Intensivmessfläche im Nahbereich der Brunnenfassung auf einem südexponierten Hang. Die Beobachtung der atmosphärischen Deposition und des Rohwassers erfolgt seit 1996, Klima und Boden werden seit Herbst 1998 beobachtet (Tab. 87). Auf der Albhochfläche mit ihren hohen Grundwasserflurabständen stehen keine freien Messstellen zur Verfügung. Daher werden in diesem Gebiet neben den Rohwasserdaten des Versorgungsbrunnens keine weiteren Grundwasserdaten erhoben.

Tab. 87: Messstellen im Messgebiet Südliche Frankenalb (Messstellen auf der Intensivmessfläche fett)

Messstelle	Messprogramm	Bezeichnung	Betrieb ab	Höhe ü.NN [m]	Bemerkung
Niederschlag	qual./quan.	Freiland	05.1996	490	
Niederschlag	qualitativ	Organika	06.1995	497	ca. 1 km ² östlich der Intensivmessfläche
Sickerwasser	qual./quan.	50 cm Tiefe	10.1998	490	neues Messsystem
Sickerwasser	qual./quan.	200 cm Tiefe	10.1998	490	neues Messsystem
Rohwasser	qualitativ	zugeordnete Wasserversorgung	07.1996	490	Brunnen II Birkenhof
Klima			10.1998	490	

5.7.2.2 Klima und Landnutzung

Das Messgebiet ist gekennzeichnet durch ein Übergangsklima der Landschaftsräume Fränkische Alb und Regensburger Bucht. Die nächstgelegene Klimastation Parsberg des DWD (560 m ü.NN)

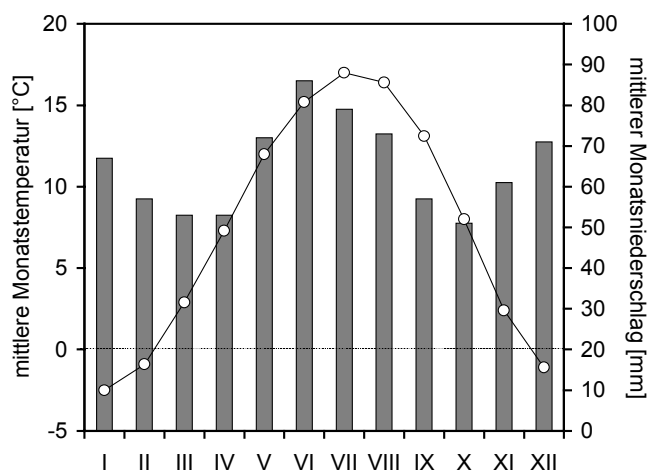


Abb. 91 Klimadiagramm für die Klimahauptstation Parsberg für 1961 - 90 (Daten DWD)

liegt ca. 12 km nördlich (Abb. 91). Hier beträgt die mittlere Jahrestemperatur (1961 – 90) 7,5 °C und der mittlere Jahresniederschlag 780 mm. Dezember bis Februar sind Frostmonate. Die Jahresniederschläge zeigen ein ausgeprägtes Sommer- und ein Wintermaximum. Auch an der mit 450 m ü.NN wesentlich tiefer an der Schwarzen Laaber gelegene Niederschlagsstation Beratzhausen (3,5 km nordöstlich) beträgt das langjährige Mittel des Niederschlags 777 mm/a.

Ergebnisse der Messgebiete

Etwa 60 % des Einzugsgebietes sind landwirtschaftlich genutzt. Der Rest ist mit Wald, überwiegend Nadelholzforsten, bedeckt. Neben dem überwiegenden Ackerbau macht Grünlandnutzung nur 3 % der Gesamtfläche aus. Flächenmäßig am bedeutendsten ist der Anbau von Getreide und Futterpflanzen (Mais). Die Viehdichte im Gemeindegebiet Hemau wird für 1987 mit 1,57 GV/ha angegeben.

5.7.2.3 Geologie und Böden

Oberflächenverkarstung mit zahlreichen Kleindolinen im Wechsel mit tertiärzeitlichen lehmigen Überdeckungen charakterisieren die als Flächenalb ausgebildete Karstlandschaft des Einzugsgebietes. Im Rahmen einer Bestandsaufnahme wurden im 4,7 km² großen Einzugsgebiet 25 Dolinen kartiert. Die bis zu 200 m mächtigen Schichten des Weißjura sind schwach nach Südosten geneigt. Sie sind zum Teil mit tertiären Molassesedimenten überdeckt, Kreidevorkommen haben keine größere Bedeutung. Auf den jurassischen Kalk- und Dolomitgesteinen haben sich Karbonatböden (Rendzinen, Kalkstein-Braunlehme), auf den Decklehmen zum Teil auch podsolierte Braunerden ausgebildet.

5.7.2.4 Wasserhaushalt

Die mittlere Niederschlagshöhe (1997-2002) an der Intensivmessfläche liegt mit 743 mm/a ca. 10 % niedriger als an der ca. 60 Höhenmeter tiefer gelegenen, nach Westen exponierten DWD-Station Beratzhausen (Tab. 88). An der Intensivmessfläche könnte u.U. das nach Norden eingeschränkte Windfeld die niedrigen Werte mit verursachen. Die Messungen werden dennoch für hinreichend repräsentativ gehalten.

Tab. 88: Jährliche Wasserflüsse [mm] im Messgebiet Südliche Frankenalb, Wassereinzugsgebiet Birkenhof

Hyd. Jahr	h_N^*	h_N	ETa	$h_N - ETa$
1997	780	610	448	162
1998	844	718	489	229
1999	832	715	485	230
2000	848	741	476	265
2001	845	743	531	212
2002	Ausfall	933	532	401
MW 97-02	830	743	494	250

* DWD Station Beratzhausen

Die potentielle Verdunstung nach Haude beträgt im 6-jährigen Mittel 582 mm/a. Sie liegt 15 % über der tatsächlichen Verdunstung, die nach RENGGER & WESSOLEK für den Grünlandstandort der Intensivmessfläche mit 494 mm/a ermittelt wird (Tab. 89). Es verbleibt eine Sickerwasserrate von ca. 250 mm/a, die der Grundwasserneubildung gleichzusetzen ist. Sie repräsentiert die schwach bis mäßig verlehnten Kalksteinverwitterungsböden, kann aber näherungsweise auf das Gesamtgebiet angewandt werden. Die nach KÖPF & ROTHASCHER aus den Niedrigwasserabflüssen der Schwarzen Laaber für den Zeitraum 1961-90 berechnete Grundwasserneubildung liegt mit ca. 150 mm/a deutlich niedriger (LFW 1996).

Tab. 89: Langjähriger Wasserhaushalt im Messgebiet Südliche Frankenalb, Wassereinzugsgebiet Birkenhof

Parameter	Mittelwerte 97 – 2002	
	[mm]	[l/s*km ²]
h _N	743	
ET _P (Haude)	582	18,5
ET _a (Renger&Wessolek)	494	15,7
h _N – ET _a	250	7,9
Sw ₂₀₀ (Chloridmethode)*	653	20,7

* 99 - 2002

Aus der Chloridbilanz in 2 m Tiefe ergibt sich eine extrem hohe Sickerwasserrate von 653 mm/a (Tab. 89). Die geringe Aufkonzentrierung des Chlorids ist vermutlich auf überwiegend präferenzielle Sickerwasserflüsse und geringen Pflanzenwasserentzug im Wirkungsbereich der Saugkerzen zurückzuführen. Da auf der Basis von standörtlichen Durchschnittswerten der nutzbaren Feldkapazität durchaus reguläre Verdunstungs- und Sickerwasserraten angesetzt werden, bleiben noch offene Fragen zum tatsächlichen Versickerungsverhalten des Bodenmosaiks. Wahrscheinlich sind laterale Zwischenabflüsse aus den stärker verlehmteten Zonen in die stark durchlässigen, grusig-felsigen Bodenbereiche.

5.7.2.5 Stoffhaushalt

Bei einem mittleren pH-Wert des Niederschlags (1997-2002) von 5,06 beträgt der jährliche Protoneneintrag nur 0,07 kg/ha (Tab. 90). Die Spanne von 4,0 bis 7,6 weist auf zeitweilige atmosphärische Säureeinträge wie auf Lösung alkalischer Stäube hin.

Tab. 90: Stoffhaushalt im Messgebiet Südliche Frankenalb, Wassereinzugsgebiet Birkenhof, ungedüngtes Grünland, Mittelwerte in kg/ha*a für 97-2002, kursive Werte Mindestschätzung (häufig < NWG)

Parameter	Eintrag	Austrag*	Bilanz	Fracht Grundwasser Brunnen Birkenhof
	Freiland	Grundwasserneubildung		
Protonen	0,07	0,00	0,07	0,00
o-Phosphat-Phosphor	2,89	0,01	2,88	0,05
Chlorid	3,89	1,57	2,32	60,38
Sulfat-Schwefel	4,12	1,38	2,74	13,24
Nitrat-N	3,61	0,42	3,19	20,34
Ammonium-N	9,41	0,01	9,40	0,01
Norg	2,33	-	-	-
Nges	15,35	0,43	14,92	20,35
Calcium	4,01	165,32	-161,31	180,88
Magnesium	0,58	116,41	-115,83	86,35
Natrium	2,07	2,70	-0,63	10,82
Kalium	2,37	0,69	1,68	2,81

* 200 cm Tiefe

Anorganischer Stickstoff wird in der Größenordnung von 13 kg/ha*a deponiert, hinzu kommen ca. 2,5 kg/ha*a organisch gebundener Stickstoff. Die Schwefeleinträge erreichen nur noch ca. 4

Ergebnisse der Messgebiete

kg/ha*a. Bei extremer zeitlicher Schwankung ist der atmosphärische Eintrag von Phosphor relativ hoch. Etwa die Hälfte der Messwerte liegt unterhalb der Nachweisgrenze von 0,005 mg/l o-PO₄-P und die jährlichen Einträge schwanken zwischen 1 und 5 kg/ha*a o-PO₄-P.

Die Stoffausträge werden in dem abflusslosen Gebiet über den Austrag mit dem Sickerwasser in 200 cm Tiefe ermittelt. Dabei wird die ermittelte Sickerwasserrate bzw. Grundwasserneubildung von 250 mm/a angesetzt. Während Stickstoff, Schwefel, Protonen und Phosphor zum Teil vollständig zurückgehalten werden, werden Erdalkalien infolge der Kalklösungsprozesse in großer Menge freigesetzt.

Setzt man die Grundwasserneubildung dem Grundwasserabfluss gleich, können die Frachten im beobachteten Grundwasserstrom (Brunnen Birkenhof) berechnet werden. Während die geogene Fracht von Erdalkalien ähnliche Größenordnungen wie im Sickerwasser erreicht, sind die Frachten von Chlorid, Stickstoff, Schwefel und Natrium durch Einflüsse aus Landwirtschaft und Straßensalzung stark erhöht.

5.7.2.6 Organische Stoffe aus der Atmosphäre

Der Messstandort im Wassereinzugsgebiet Birkenfeld ist von intensiver landwirtschaftlich Nutzung beeinflusst. Entsprechend wurden hohe Konzentrationen der Herbizide Terbutylazin (Maximum 520 ng/l) und Isoproturon (Maximum 300 ng/l) beobachtet. Bei diesen hohen Konzentrationen ist eine Anwendung im Nahbereich anzunehmen. Auch hier ist, wie an den anderen Messstandorten, der Wechsel beim Einsatz von Herbiziden nach dem Verbot von Atrazin (1990) zu erkennen (Abb. 92). Trotzdem wurde Atrazin bis 2002 nachgewiesen, wobei bei diesen niedrigen Konzentrationen die Herkunft offen bleiben muss. Die Nitrophenolkonzentrationen liegen auf ähnlichem Niveau wie im Messgebiet Donau/Gäuboden. Eine zukünftige Gefährdung des Grundwassers mit luftverfrachtetem Terbutylazin und seinen Metaboliten kann nicht ausgeschlossen werden.

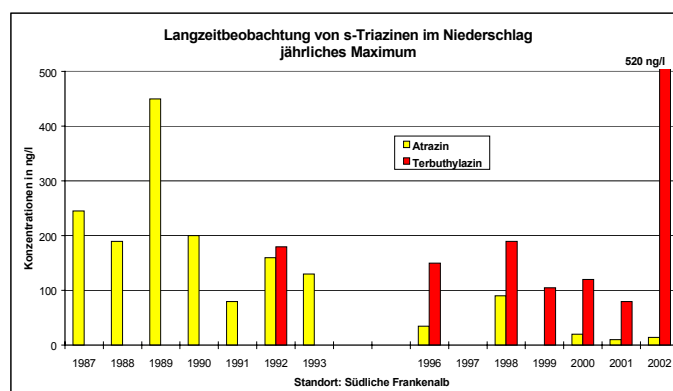


Abb. 92 Entwicklung der Triazinbelastung aus der Luft, Raum Südliche Frankenalb

5.7.2.7 Grundwasserverhältnisse

Auf der Linie Hemaue – Neukirchen reicht die Hauptwasserscheide zwischen Schwarzer Laaber und Altmühl an das Wassereinzugsgebiet des Brunnens Birkenhof heran. Das Einzugsgebiet wird vollständig über Sicker- und Grundwasser mit Fließrichtung von West nach Ost in das Tal der Schwarzen Laaber entwässert. Mittels Isotopenuntersuchungen wurde die mittlere Verweilzeit des gut durchmischten Grundwassers auf 50 Jahre bestimmt (STADT HEMAUE 1992). Jüngere Grundwasserkomponenten mit einem Alter von weniger als 20 Jahren machen einen Anteil von ca. 30 % aus. Überwiegend erfolgt die Grundwasserneubildung über die direkte Versickerung von Niederschlägen in den Kuppenbereichen sowie in Senken und Dolinen, in denen sich die Zwischenabflüsse aus den lehmigen Deckschichten sammeln. Die Mächtigkeit des Grundwasservorkommens im Malm beträgt bis zu 220 m. Das typische Malm-Grundwasser ist als „normal erdalkalisches Wasser, überwiegend hydrogencarbonatisch“ einzustufen (Abb. 93).

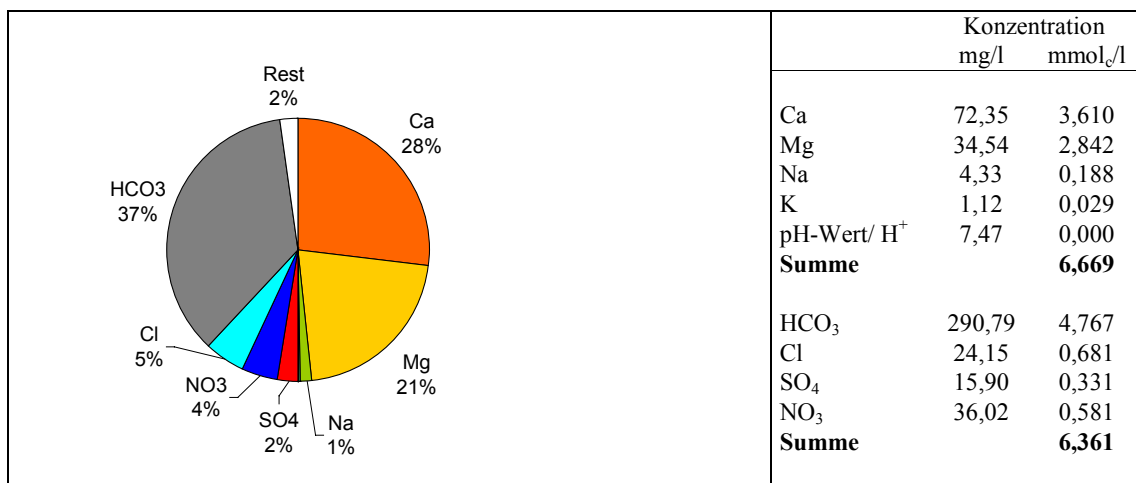


Abb. 93 Mittlere Grundwasserbeschaffenheit, Messgebiet Südliche Frankenalb (Mittelwerte 1996 – 2002)

Der pH-Wert liegt bei 7,5, die elektrische Leitfähigkeit bei 529 µS/cm. Erdalkalien machen 98 % der Kationen aus, bei einem Verhältnis von Calcium zu Magnesium von 1,3. Hydrogencarbonat dominiert mit 74 % die Anionenäquivalentsumme. Mit 22 % der Anionensumme weisen Chlorid, Sulfat und Nitrat auf anthropogene Beeinflussung des Grundwassers hin. Chlorid ist mit einer mittleren Konzentrationen von 24 mg/l am stärksten vertreten. Die Nitratkonzentration bewegt sich zwischen 30 und 40 mg/l mit steigender Tendenz (Abb. 94). In den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts lagen die Nitratwerte noch ca. 10 mg/l niedriger. Mit einer Härte von 18 ° dH ist das Wasser „ziemlich hart“ und dem Härtebereich 3 nach Waschmittelgesetz zuzuordnen. Belastungen mit Pflanzenschutzmitteln nehmen in den letzten Jahren zu.

Ergebnisse der Messgebiete

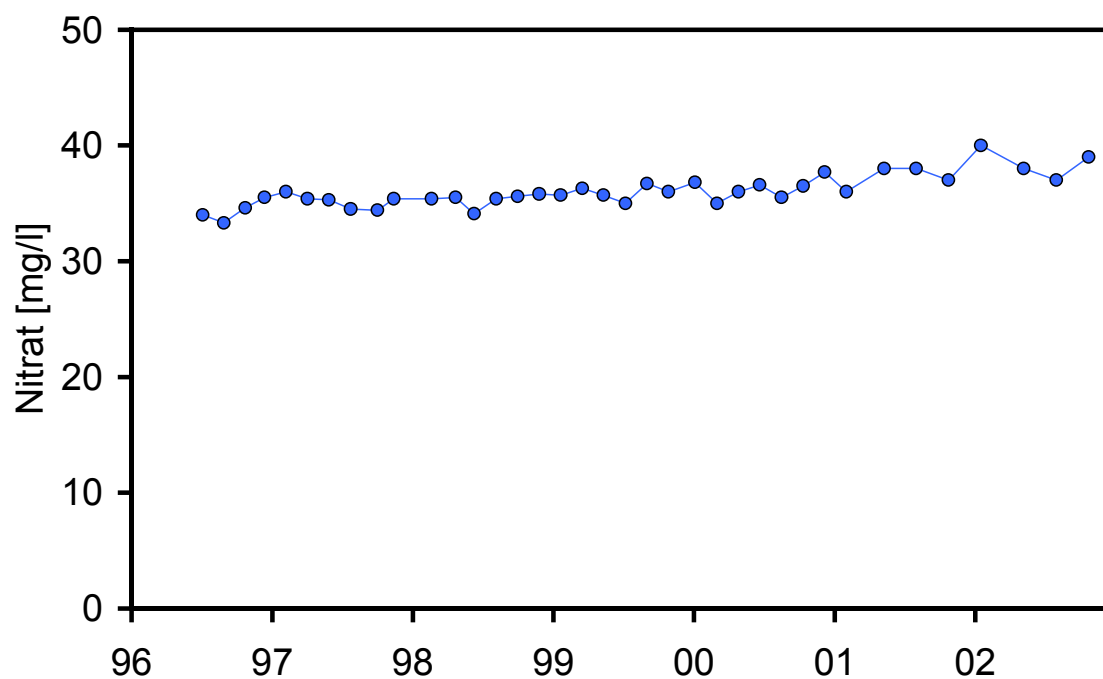


Abb. 94 Ganglinien der Nitratkonzentrationen im Grundwasser, Wassereinzugsgebiet Birkenhof

Die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände in der Südlichen Frankenalb ist nur an wenigen Messstellen dokumentiert. Einerseits existieren nicht viele Messstellen auf der Hochfläche, andererseits soll die Beobachtungszeit weit genug zurück reichen. Als Referenzmessstelle dient ein bis 115 m ausgebauter Tiefbrunnen in Ihrlersstein (13 km südlich vom Wassereinzugsgebiet Birkenhof gelegen), der ebenfalls den Malm erschließt. Hier zeigen sich über die letzten 30 Jahre ausgeglichene Grundwasserstände bei allerdings ausgeprägter jährlicher und mehrjähriger Dynamik (Abb. 95).

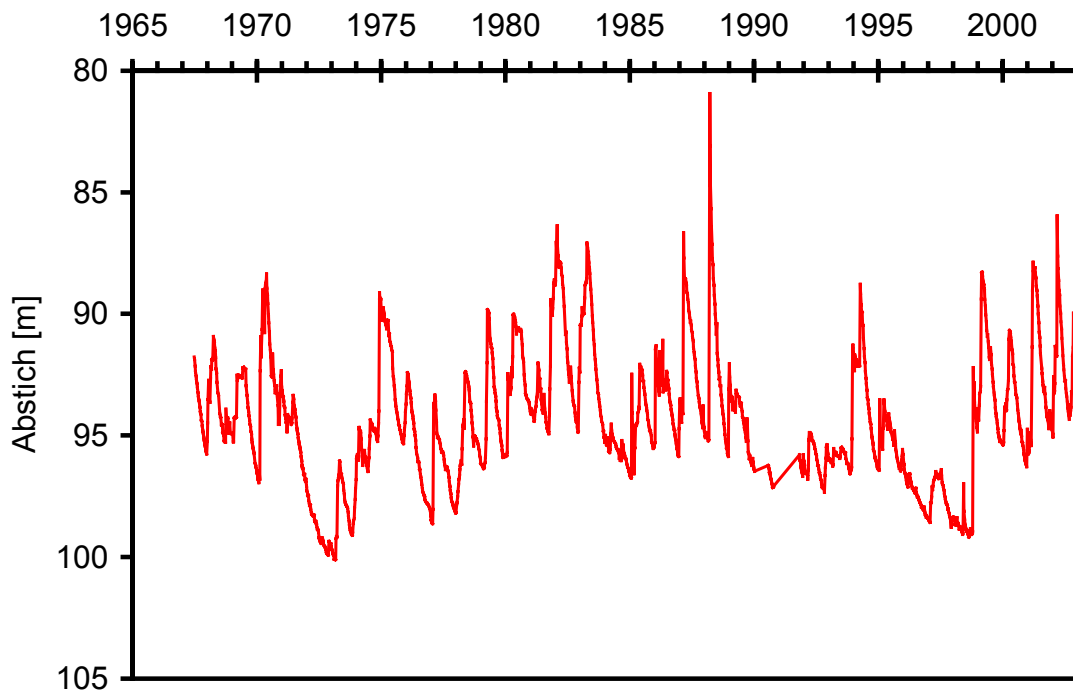


Abb. 95 Langjährige Entwicklung des Grundwasserstands in der Südlichen Frankenalb (Messstelle Ihrlerstein)

5.7.2.8 Wasserversorgung

Der 122,5 m tiefe Brunnen Birkenhof ist einer von drei Brunnen zur Sicherung der Wasserversorgung von Hemau. Er erschließt Kalksteine und Dolomite des unteren und mittleren Malm. Mit ca. 82 m Mächtigkeit ist der Malm-gamma und -delta in Riff-Fazies, mit ca. 45 m Mächtigkeit der untere Malm-alpha und -beta ebenfalls in Riff-Fazies erschlossen. Der Brunnen erreicht gerade nicht mehr den mittleren Jura (Dogger), der den Wasserstauer bildet. Im Bereich der Verfilterung in 80,4 – 97,4 und 101,5 – 121,5 m Tiefe sind Dolomite und Hornstein, unterhalb von 104 m Kalkstein erschlossen. Vorhandene Klüfte sind im verfilterten Bereich mit Sand gefüllt. Die Flurabstände des Grundwassers liegen zwischen 45 und 50 m. In den letzten Jahren wurde die Fördermenge zurückgefahren. Sie betrug 2001 nur mehr knapp 90.000 m³/a, bei einer bewilligten Entnahmemenge von 300.000 m³/a. Die Hauptversorgung der Stadt erfolgt derzeit über den weiter westlich liegenden Brunnen III, der das Grundwasser des unterlagernden Dogger-Sandsteins erschließt und nicht mit Pflanzenschutzmitteln belastet ist. Die Mischung der Wässer garantiert die Abgabe von einwandfreiem Trinkwasser an den Verbraucher.

Ergebnisse der Messgebiete

5.7.3 Intensivmessfläche Birkenhof

5.7.3.1 Lage und Bewirtschaftung

Die Intensivmessfläche liegt in 490 m üNN am unteren Ende eines für die Karstlandschaft typischen Trockentals im Übergangsbereich zwischen der Hochfläche von Hemau-Painten im Süden und dem Laabertal im Norden. Sie liegt an einem trockenen südexponierten Hang mit extensiv genutztem Grünland und Waldbedeckung im rückwärtigen Kuppenbereich. Dagegen wird die benachbarte Talmulde und der lehmüberdeckte Gegenhang intensiv ackerbaulich genutzt.



Abb. 96 Bodenprofil Intensivmessfläche, Messgebiet Südliche Frankenalb, 1999

5.7.3.2 Profilbeschreibung

Die geringmächtige (< 20 cm), mit Dolomitbrocken und Felsresten durchsetzte Bodenauflage (Abb. 96) vom Typ der Braunerde - Terra fusca ist aus tonigen Verwitterungsrelikten des anstehenden Riffdolomits und Resten einer lehmigen Überdeckung hervorgegangen. In einer Auflockerungszone bis etwa 5 m Tiefe finden sich dolomitsandige Zersatzpartien und eingeschwemmter Ton zwischen dolomitischem Blockwerk. Darunter steht der mittlere und untere Malm in Riff-Fazies an, dessen Gesamtmächtigkeit hier etwa 130 m beträgt. Klüfte sind vielfach sandig zum Teil auch tonig verfüllt.

5.7.3.3 Bodenfestphase

Die Boden-Probennahme erfolgte im Frühjahr 1999 in direkter Nachbarschaft zum Sickerwasser-Messplatz auf einem vergleichbaren Standort. Auf Grund der geringen Bodenentwicklung über dem anstehenden Dolomitfels konnte das Bodenprofil nur bis 55 cm Tiefe ausgehoben werden. Die Kohlenstoffgehalte im Übergang zur Felszone sind durch dolomitisches Feinmaterial beeinflusst (Tab. 91). Mit pH-Werten von 6,8 - 7,0 zeigt die obere, tonig-lehmige Bodenauflage kaum Ansätze von Bodenversauerung. Entsprechend sind nur im Oberboden Spuren von austauschbarem Mangan nachweisbar, während die Basensättigung im gesamten Bodenprofil bei 100 % liegt (Tab. 92). Im Wechsel mit Dolomitgrus auftretende Toneinschlammungen sorgen auch im Unterboden für eine hohe Austauschkapazität.

Tab. 91: Kenndaten für pH, C, P und N, Intensivmessfläche, Messgebiet Südliche Frankenalb, 1997, Grünland

Bodentyp: Braunerde - Terra fusca								
Horizont	Tiefe [cm]	Textur	Skelett [Gew. %]	dB_F [g/cm ³]	C [%]	N [%]	C/N	pH (CaCl ₂)
IBv-Ah	0 – 8	Lt2	4	1,20	4,39	0,36	12,2	6,83
IAh-Bv	8 – 16	Lt3	16	0,48	3,81	0,27	14,1	7,01
IIT	16 – 30	Tl	20	0,56	4,40	0,11	5,1	7,20
IIIcxCv+T	30 - 55	Ts2	7	0,55	7,80			7,34

Tab. 92: Austauschbar gebundene Kationen, Intensivmessfläche, Messgebiet Südliche Frankenalb, 1999, Grünland

Bodentyp: Braunerde - Terra fusca										
Horizont	Anteil der austauschbaren Kationen an der AK_e [%]								AK_e [mmol _c /kg]	BS [%]
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Fe	Mn		
IBv-Ah	64,1	34,6	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	294,6	99,9
IAh-Bv	63,3	35,3	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	292,0	100,0
IIT	60,2	38,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	306,8	100,0
IIIcxCv+T	56,9	42,3	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	271,9	100,0

Anders als bei der Kationenaustauschkapazität zeigen die Gesamtgehalte maßgebliche Anteile an gesteinsbürtigem Aluminium, Eisen und Mangan (Tab. 93). Auffällig sind die erhöhten Werte der obersten, wohl genetisch abweichenden Bodenschicht. Die erhöhten Gehalte von Cadmium und Blei sind zum Teil auf anthropogenen, atmosphärischen Eintrag zurückzuführen, bleiben aber unter den Hintergrundwerten, die für Kalksteinverwitterungsböden angegeben werden (SUTTNER et al. 1998).

Tab. 93: Gesamtvorräte [kg/ha], Intensivmessfläche, Messgebiet Südliche Frankenalb, 1999, Grünland

Bodentyp: Braunerde - Terra fusca										
Horizont	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Cd	Pb	N
IBv-Ah	16857	11251	11012	2372	48365	22669	890	0,588	44,9	3503
IAh-Bv	7123	5232	3999	802	17599	8332	298	0,194	18,5	1034
IIT	34348	24648	5388	737	34734	15572	318	0,228	20,1	831
IIIcxCv+T	144232	99927	3761	235	46013	18510	248	0,206	23,8	-
Summe	202561	141058	24160	4147	146711	65082	1754	1,216	107,4	5368

5.7.3.4 Bodenlösungsphase

Das auf der Intensivmessfläche beprobte Sickerwasser wird von den carbonathaltigen Deckschichten geprägt. Bereits in 50 cm Tiefe hat sich ein charakteristischer Chemismus eingestellt, der dem aus 2 m Tiefe gewonnen Sickerwasser sehr ähnlich ist (Tab. 94). Unter den Erdalkalien weist Magnesium einen deutlichen Tiefengradienten auf. Mittlere Leitfähigkeiten um 500 μ S/cm liegen in der Größenordnung des Grundwassers. Die Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe Calcium, Magnesium und Hydrogencarbonat schwanken saisonal stark mit der biologischen Aktivität (Kohlensäurebildung) des Bodens.

Ergebnisse der Messgebiete

Tab. 94: Beschaffenheit des Sickerwassers, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Birkenhof (Mittelwerte 1998 – 2002)

Tiefe [cm]	LF [$\mu\text{S/cm}$]	pH-Wert	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	o-PO ₄ [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]
50	491	7,80	< 0,5	0,6	< 0,5	66,3	37,8	0,6	< 0,1	0,007	369,7
200	539	7,95	0,6	1,7	0,8	66,1	46,6	1,1	0,3	0,009	413,0

Chlorid wird bis in 2 m Tiefe kaum aufkonzentriert, was ein Indiz dafür ist, dass mit den Saugkerzen relativ schnell versickerndes Bodenwasser gewonnen wird. Nitrat wird auf dem extensiv bewirtschafteten Grünlandstandort (2-maliger Grasschnitt im Jahr) kaum ausgewaschen, trotz deutlicher Einträge aus der Atmosphäre. Auf dem durchlässigen Standort treten in 2 m Tiefe saisonal geringe Nitratspitzen auf, die möglicherweise auf lateralen Wasserzufluss auf dem anstehenden Fels zurückzuführen sind (Abb. 97).

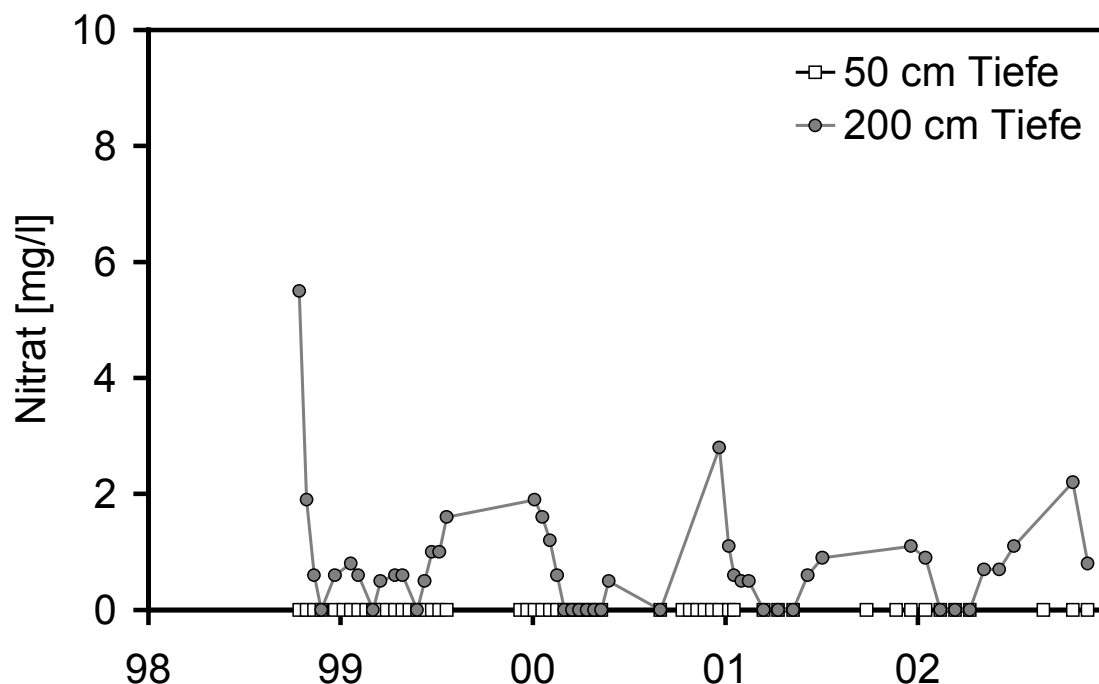


Abb. 97 Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Birkenhof

Während sommerlicher Trockenperioden ist es meist nicht möglich Sickerwasser zu gewinnen, da die Grobporen völlig trocken sind. Auch das Jahr 2002 war von trockenen Sommermonaten gekennzeichnet, wie Saugspannungen bis 770 hPa zeigen (Abb. 98). In 2 m Tiefe wird Grundwasserneubildung von Ende November bis Anfang März, dann erst wieder ab Ende Oktober registriert. Im späten Frühjahr und Sommer findet keine Wiederbefeuchtung des Bodens in dieser Tiefe

statt, auch nicht durch den Starkniederschlag im August, der in 50 cm Tiefe eine zeitweilig stärkere Bodenvernässung verursacht.

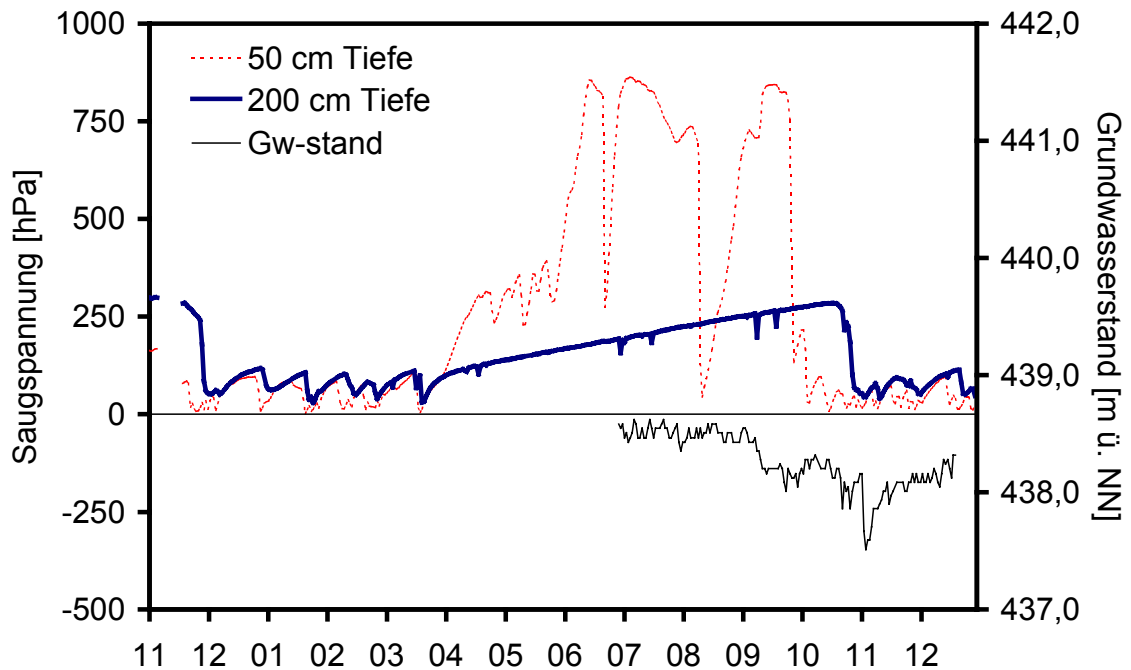


Abb. 98 Bodensaugspannung (50 und 200 cm) und Grundwasserstand, Intensivmessfläche, Wassereinzugsgebiet Birkenhof, Nov. 2001 - Dez. 2002

Der Ruhewasserspiegel im Brunnen Birkenhof, der seit Mitte 2002 aufgezeichnet wird, steigt im November wieder an. Dabei wird zwischen dem Anstieg der Bodenfeuchte in 2 m Tiefe (22. Oktober) und der ersten Reaktion des Grundwasserstands (5. November) eine Reaktionszeit von 14 Tagen registriert. Die Signalübertragung erfolgt über einen Flurabstand von knapp 50 m.

6 Beiträge zu aktuellen Fragen des Gewässerschutzes

In Ergänzung zur Dokumentation der Messgebiete werden wegen der allgemeinen Bedeutung für Fragen des landesweiten Gewässerschutzes folgende Themen behandelt:

- Belastungsfaktor atmosphärische Deposition (Säurebildner, Stickstoff, Spurenmetalle)
- Gewässerbelastung durch Eutrophierung (Stickstoff, Phosphor, Einfluss der Landnutzung)
- Spurenmetalle in den Gewässern
- Aspekte des Trinkwasserschutzes

Die stoffliche Einflüsse aus der Atmosphäre nehmen zweifellos einen beachtlichen Anteil an der Gewässerbelastung aus diffusen Quellen ein. Dies gilt insbesondere für Gebiete ohne landwirtschaftliche Bewirtschaftung, denen i.d.R. qualitativ hochwertiges Grundwasser zugeschrieben wird. Stickstoff und Phosphor sind die treibenden Substanzen einer Eutrophierung der Gewässer, also der Fließgewässer und des Grundwassers gleichermaßen. Hierfür wird die Immissionsituation im Gebietsvergleich dargelegt. Spurenmetalle sind trotz nachlassender Bedeutung des Flächeneintrags eine umweltwirksame Stoffgruppe, die der Kontrolle bedarf, insbesondere unter dem Aspekt von Mobilisierungspotentialen in versauerten Böden und Sedimenten (BIEBER 2000). Die abschließenden Hinweise zum Trinkwasserschutz ergeben sich aus der Verbindung der gebietsbezogenen Zustands- und Prozessbeobachtung mit der Rohwassersituation örtlicher Wasserversorgungen.

Sämtliche Betrachtungen beziehen sich auf die 5-jährige Vergleichsperiode 1998 - 2002, für die durchgängig Daten aus allen Messgebieten zur Verfügung stehen. Damit geben sie einen Überblick der aktuellen Zustands- und Belastungssituation in den untersuchten Gebieten.

6.1 Belastungsfaktor atmosphärische Deposition

Mittlere Leitfähigkeiten von 16 bis 21 $\mu\text{S}/\text{cm}$ verweisen landesweit auf sehr geringe Lösungsinhalte im Freilandniederschlag, der nicht durch Filter- und Auswaschungsprozesse an Pflanzenoberflächen beeinflusst ist. Die Säurebelastung aus der Atmosphäre kann als Summe der mit dem Freilandniederschlag deponierten Säure-Anionen Sulfat und Nitrat sowie des Säurebildners Ammonium angegeben werden. Danach schwankt die Säurebelastung in den einzelnen Messgebieten zwischen 1,03 und 1,58 $\text{kmol}/\text{ha} \cdot \text{a}$ (Tab. 95). Im Freiland bewirken die hohen Niederschläge des Bayerischen Waldes eine etwas stärkere Belastung als im Fichtelgebirge. Insgesamt jedoch ist im Freiland keine Versauerungsgefährdung der Gewässer gegeben. Vorhandene Säureüberschüsse werden in der Landwirtschaft großflächig durch Aufbringung basischer Dünger kompensiert.

Von Bedeutung für die Herkunftsanalyse sind die unterschiedlichen Belastungsmuster. Während die Sulfatkomponente in den Mittelgebirgen Nord- und Ostbayerns 27-30 % der gesamten Säurebelastung ausmacht, sinkt sie an den tiefer liegenden, landwirtschaftlich geprägten Standorten bis unter 25 %. Auf Grund der massiven Minderung der Schwefelemissionen trägt Sulfat inzwischen am wenigsten zur Säurebelastung bei, hat jedoch noch eine gewisse Bedeutung in ferntransport-

Beiträge zu aktuellen Fragen des Gewässerschutzes

tierten Niederschlägen. Der Hauptanteil wird durch Ammonium mit 38 – 58 % eingetragen, insbesondere dort wo die Landwirtschaft im Umfeld dominiert, wie im Lechfeld, im Donau/Gäuboden und in der Frankenalb.

Tab. 95: Deposition von Sulfat, Nitrat und Ammonium im Freilandniederschlag und ihre prozentualen Anteile sowie die elektrische Leitfähigkeit (Mittelwerte 1998 bis 2002)

Messgebiet	Sulfat	Nitrat	Ammonium	Summe	Leitfähigkeit
	[kmol _e /ha*a]/[%]	[kmol _e /ha*a]/[%]	[kmol _e /ha*a]/[%]	Säureequival. [kmol _e /ha*a]	
Hochspessart	0,37 / 30	0,39 / 32	0,47 / 38	1,23	20
Bayerischer Wald	0,42 / 27	0,52 / 33	0,63 / 40	1,58	17
Fichtelgebirge	0,37 / 27	0,41 / 30	0,58 / 43	1,36	19
Münchener Schotterebene	0,24 / 24	0,32 / 31	0,47 / 45	1,03	16
Nördliches Lechfeld	0,24 / 22	0,29 / 27	0,55 / 51	1,07	15
Donau/Gäuboden	0,25 / 21	0,26 / 21	0,70 / 58	1,21	21
Südliche Frankenalb	0,25 / 21	0,26 / 21	0,70 / 58	1,21	20

An den Waldstandorten sind die Belastungen durch die Filterwirkung des Kronenraums bis zum Faktor 2 erhöht (Tab. 96), wenn auch erheblich niedriger als in den 80er Jahren. Besonders ausgeprägt ist der Filtereffekt bei den Fichtenbeständen im Fichtelgebirge und in der Münchener Schotterebene. Der Fichtenbestand im Bayerischen Wald ist von der Strukturänderung nach Borkenkäferbefall (nachlassende Filterwirkung) gekennzeichnet.

Tab. 96: Säurebelastung von Sulfat, Nitrat und Ammonium im Waldbestand (Kronentraufe) und ihre prozentualen Anteile sowie die elektrische Leitfähigkeit (Mittelwerte 1998 bis 2002)

Messgebiet	Sulfat	Nitrat	Ammonium	Summe	Leitfähigkeit
	[kmol _e /ha*a]/[%]	[kmol _e /ha*a]/[%]	[kmol _e /ha*a]/[%]	Säureequival. [kmol _e /ha*a]	
Hochspessart	0,37 / 30	0,40 / 32	0,44 / 38	1,21	30
Bayerischer Wald	0,50 / 27	0,47 / 33	0,51 / 40	1,49	29
Fichtelgebirge	0,84 / 27	0,77 / 30	0,75 / 43	2,36	55
Münchener Schotterebene	0,35 / 24	0,53 / 31	0,68 / 45	1,56	36

Als Schwellenwerte für eine Überlastung versauerungsempfindlicher Böden (Critical Loads) werden 0,2 bis 1,0 kmol_e/ha*a angegeben. Es besteht daher weiterhin ein erheblicher Versauerungsdruck auf die pufferschwachen Böden und Gewässer der nord- und ostbayerischen bewaldeten Mittelgebirgsareale (LFW 1997, LFW 1999b). Die nach dem Rückgang der Schwefeleinträge einsetzende Wiedererholung der Fließgewässer wird sich sehr zögerlich fortsetzen. Soweit Grundwasser durch Sickerwasser aus tiefgründig versauerten Deckschichten gespeist wird, ist eine Wiedererholung in absehbarer Zeit eher fraglich.

Während der langfristige Trend für die Schwefelbelastung stark negativ ist (ALEWELL et al. 2001, IHLE 2001, MATZNER et al. 2001), verharren die Stickstoffeinträge aus der Luft auf

mittlerem bis hohem Niveau (Abb. 99). Sie schwanken im Bestand bei leicht abnehmender Tendenz zwischen 10 und 25 kg/ha*a, im Freiland zwischen 10 und 20 kg/ha*a.

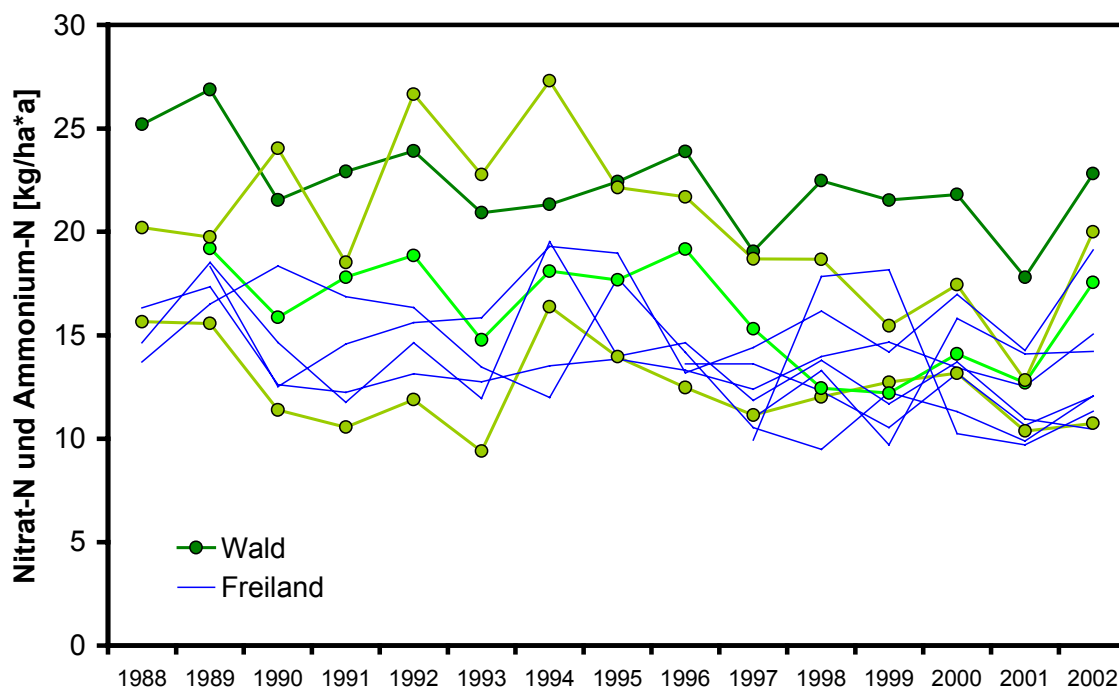


Abb. 99 Entwicklung der Stickstoffdeposition (Summe aus Nitrat- und Ammonium-Stickstoff), alle Messgebiete

Weder für Nitrat-Stickstoff noch für Ammonium-Stickstoff sind bislang auf der Immissionsseite ausreichende Verbesserungen festzustellen, wie sie durch die eingeleiteten Reduktionsmaßnahmen auf der Emissionsseite (u.a. Umweltpakt Bayern, Programm Stickstoff 2000) erreicht werden sollen. Diese Schlussfolgerung deckt sich mit Untersuchungen Dritter (z.B. MANDERSCHIED et al. 2001, LWF 2002, BEILKE & UHSE 1999).

Die atmosphärische Belastung mit Spurenmetallen wurde mit einem eigenen Sammelsystem ermittelt (s. Kapitel 4.3.2.1). Den hier vorgestellten Daten liegen monatliche Analysenwerte zugrunde (Tab. 97). Mangan und Aluminium wurden im wesentlichen zur Bilanzierung versauerungsrelevanter Fragen untersucht, während Nickel, Zink, Blei und Cadmium die Stoffgruppe der Schwermetalle im eigentlichen Sinn repräsentieren. Während Mangan, Aluminium und Zink mit mehreren 100 g/ha*a atmosphärisch deponiert werden, sind die Einträge von Nickel, Blei und vor allem Cadmium um ein bis zwei Größenordnungen niedriger.

Beiträge zu aktuellen Fragen des Gewässerschutzes

Tab. 97: Atmosphärische Deposition von Spurenmetallen im Freilandniederschlag [g/ha*a] (Mittelwerte 1998 bis 2002)

Messgebiet	Mn	Al	Ni	Zn	Pb	Cd
Hochspessart	524	273	9,4	221	27	2,3
Bayerischer Wald	700	119	7,8	241	34	1,5
Fichtelgebirge	41	187	2,3	102	41	1,5
Münchener Schotterebene	76	190	23,6	207	18	0,9
Nördliches Lechfeld	72	395	0,8	502	12	0,7
Donau/Gäuboden	288	479	40,8	152	21	1,3
Südliche Frankenalb	59	84	3,2	144	13	1,0

Die räumliche Verteilung der Belastungen ist parameterbezogen uneinheitlich. Sie liegen in der Grössenordnung, die bundesweit für ländliche Regionen angegeben werden (BIEBER 2000). Für Blei, das im wesentlichen aus der Emission von verbleiten Kraftstoffen stammt, gibt es parallel zur Einführung von bleifreiem Benzin einen stark abnehmenden Trend (Abb. 100). Die Depositionsraten der anderen Spurenmetalle weisen im Messzeitraum überwiegend keine Trends auf.

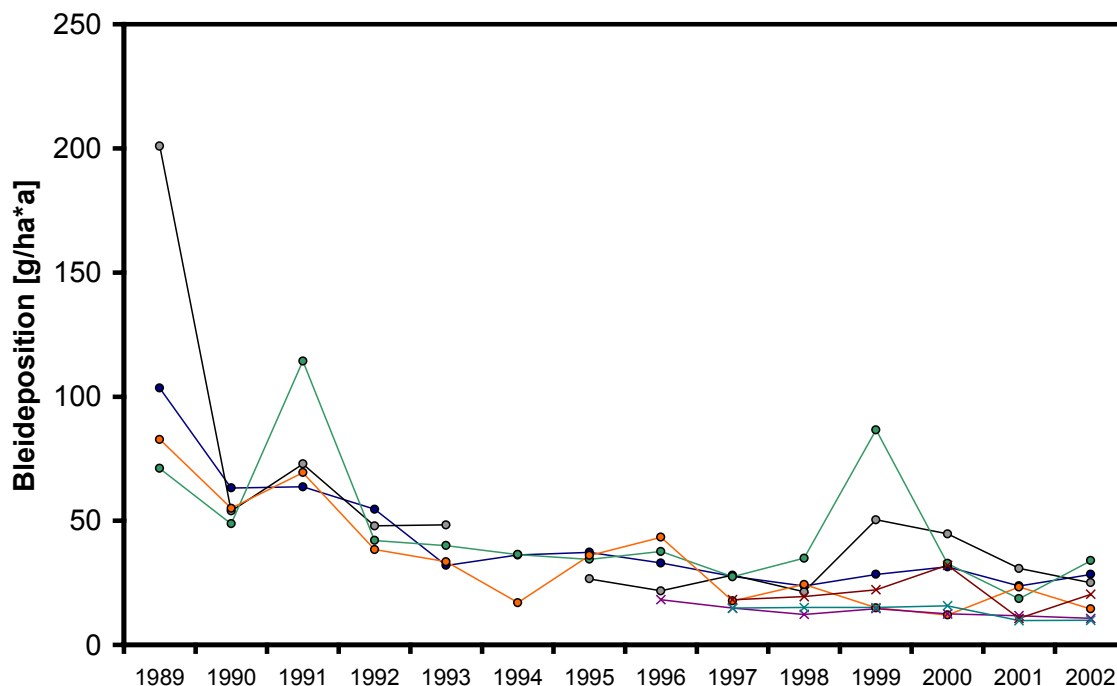


Abb. 100 Entwicklung der Bleideposition im Freilandniederschlag

6.2 Eutrophierung der Gewässer

Hauptverursacher für die Eutrophierung der Gewässer sind die in großen Mengen durch die Landwirtschaft ausgebrachten Nährstoffe Stickstoff und Phosphor. Da Nitrat-Stickstoff neben der

Nitratbelastung und Eutrophierung auch zur Versauerung der Gewässer beitragen kann, müssen seine Wirkungen bei sehr unterschiedlichen Konstellationen des Landschaftswasserhaushalts kontrolliert werden.

Die untersuchten Gewässer werden durch die mittleren Nitratkonzentrationen charakterisiert (Tab. 98), da weitere Stickstoffverbindungen wie Nitrit und Ammonium in den sauerstoffreichen, nicht abwasserbelasteten Gewässern ohne Bedeutung sind. Angesichts einer zunehmenden Auf-sättigung von Waldböden mit anthropogenem Stickstoff sind die Nitratgehalte der Gewässer in den untersuchten Waldgebieten noch weitgehend gering. Anhaltende Nitratkonzentrationen über 10 mg/l sind allerdings ein Indiz für Störungen des natürlichen Stickstoffhaushalts in den Wäl-dern der betroffenen Einzugsgebiete. Besonders günstig wirken sich Laubholzbestände aus, wie die Ergebnisse aus dem Hochspessart eindrucksvoll zeigen. Der aus Sicht des Gewässerschutzes ungenügende Stickstoffrückhalt in reinen Fichtenbeständen ist im Nationalpark Bayerischer Wald als Folge des flächenhaften Borkenkäferbefalls erheblich verstärkt. Auch im Fichtelgebirge füh-ren höhere Stickstoffeinträge, zum Teil in Verbindung mit deutlichen Waldschäden, zu leicht erhöhten Nitratkonzentrationen. Durch flächenhaft vorhandene Denitrifikationspotentiale (Moore, Nassböden) in den abflusswirksamen Bereichen der Landschaft werden die Ausgangskonzentra-tionen allerdings vermindert, sodass sich am Pegel eines Wassereinzugsgebietes häufig die ge-ringsten Nitratkonzentrationen finden.

Tab. 98: Nitratkonzentration [mg/l] der Gewässer im Gebietsvergleich (Mittelwerte 1998 bis 2002)

Messgebiet	Landnut-zung	Sickerwasser 50 cm	Sickerwasser 200 cm	Grund-wasser	Roh-wasser	Quell-wasser	Abfluss
Hochspessart	Laubwald	< 0,5	< 0,5	2,7	3,2	3,5	2,3
Bayerischer Wald	Mischwald	10,6	21,8*	6,1	5,2	19,4	13,2
Fichtelgebirge	Fichte	10,4	5,9	9,9	3,8	12,2	3,0
Münchener Schotterebene	Fichte	1,7	5,7	35,1	32,4	-	-
Münchener Schotterebene	Grünland	3,0	7,8	-	-	-	-
Nördliches Lechfeld	Grünland	0,6	5,5	31,6	-	-	-
Donau /Gäuboden	Acker	21,2**	6,8	44,7	44,9	-	-
Südliche Frankenalb	Grünland	< 0,5	0,8	-	36,4	-	-

* Wert aus 150 cm Tiefe

** Wert aus 100 cm Tiefe

Angesichts der erheblichen und zum Teil unvermeidlichen Nutzungskonflikte mit der Landwirt-schaft ist es eine besondere Aufgabe des Grundwasserschutzes, die noch weitgehend hervor-ra-gende Qualität des Grundwassers unter Wald zu erhalten. Dies wird nur möglich sein, wenn das auch in der EU-Wasserrahmenrichtlinie ausgesprochene Verschlechterungsverbot konsequent in die Verursacherbereiche hineinwirkt.

Bei landwirtschaftlich genutztem Umfeld kann der atmosphärische Stickstoffeintrag 10 – 30 % des Eintrags über Düngemittel betragen und ist daher in den Stickstoffbilanzen zu berücksichti-gen. Der Haupteffekt geht jedoch von den Stickstoffüberschüssen aus Düngemitteln aus. Nitrat-

Beiträge zu aktuellen Fragen des Gewässerschutzes

konzentrationen von 30 – 50 mg/l im Grund- und Rohwasser sind typisch für die Ackerbaugelände in Südbayern. Aus Sicht des regionalen Gewässerschutzes ist Südbayern begünstigt, da die in Nitrat umgewandelten Stickstoffüberschüsse durch sehr hohe Sickerwassermengen verdünnt werden. Denitrifikation ist ein weiterer, noch nicht großflächig bewerteter Faktor zur Minderung der Nitratkonzentration. Ein gutes Beispiel zeigt das Messprofil im Ackerbaugelände des Donau/Gäuboden. Weitere unter Grünland eingerichtete Messprofile liefern Referenzdaten für unbelastete Standorte. Hier werden im Sickerwasser sehr geringe Nitratkonzentrationen registriert, wie sie sonst nur in ungestörten Waldgebieten zu finden sind.

Die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen ist insbesondere an den landwirtschaftlich geprägten Messstellen uneinheitlich. Einen deutlichen Anstieg der Nitratkonzentration weist das Malm-Grundwasser des Messgebietes Südliche Frankenalb auf (s. Abb. 94). In ungestörten Waldgebieten werden trotz des vorhandenen Risikos der Stickstoffübersättigung überwiegend fallende Tendenzen beobachtet.

Tab. 99: Ortho-Phosphat-Phosphorkonzentration [$\mu\text{g/l}$] der Gewässer im Gebietsvergleich (Mittelwerte 1998 bis 2002)

Messgebiet	Landnutzung	Sickerwasser 50 cm	Sickerwasser 200 cm	Grund- wasser	Roh- wasser	Quell- wasser	Abfluss
Hochspessart	Laubwald	< 5	< 5	< 5	16	8	7
Bayerischer Wald	Mischwald	7	< 5*	< 5	< 5	< 5	< 5
Fichtelgebirge	Fichte	5	< 5	10	14	5	10
Münchener Schotterebene	Fichte	5	< 5	< 5	5	-	-
Münchener Schotterebene	Grünland	839	78	-	-	-	-
Nördliches Lechfeld	Grünland	697	276	< 5	-	-	-
Donau /Gäuboden	Acker	< 5**	< 5	20	20	-	-
Südliche Frankenalb	Grünland	< 5	< 5	-	22	-	-

* Wert aus 150 cm Tiefe

** Wert aus 100 cm Tiefe

Phosphor wurde als Ortho-Phosphat bestimmt, das die wichtigste gelöste Phosphorverbindung im Grundwasser darstellt. Die in Tabelle 99 zusammengestellten Daten berücksichtigen die häufig unter der Nachweisgrenze ($5 \mu\text{g/l o-PO}_4\text{-P}$) liegenden Konzentrationen in halber Höhe.

Mit durchschnittlichen Phosphorkonzentrationen unter $25 \mu\text{g/l}$, zum Teil unter $5 \mu\text{g/l}$ ist das untersuchte Grundwasser weitgehend unbelastet. Der in der Literatur diskutierte Schwellenwert von $50 \mu\text{g/l}$ für Gewässereutrophierung wird nirgends überschritten. Leicht erhöhte Werte sind im Fichtelgebirge geogenen Ursprungs, in den Gebieten Donau/Gäuboden und Südliche Frankenalb geringen Einflüssen der Landwirtschaft zuzuschreiben. Das Sickerwasser ist überwiegend phosphorfrei, auch am untersuchten Ackerstandort des Gebietes Donau/Gäuboden. Hier wurde das in den letzten Jahren ausgebrachte Phosphatkali offensichtlich bedarfsgerecht dosiert, wie die Phosphorbilanzen nachweisen (s. dazu Tab. 78, 79 und 80). Eine Ausnahme bilden die sehr hohe Konzentrationen der beiden Grünlandstandorte in der Münchener Schotterebene und im Lechfeld, bei negativem zeitlichem Trend und Abnahme mit der Profiltiefe. Ein Zusammenhang mit übermäßi-

ger Phosphordüngung unter vorausgegangener ackerbaulicher Nutzung ist wahrscheinlich. Daten zu Phosphoreinträgen und -konzentrationen in den Gewässern wurden mehrfach für Einzugsgebietsstudien verwendet. So konnte z.B. mit den Messreihen des Lehstenbaches (Messgebiet Fichtelgebirge) aufgezeigt werden, dass die Phosphorbelastung des Weißenstädter Sees zu etwa der Hälfte aus den waldbestandenen Flächen des Einzugsgebietes stammt (MERTENS 2003).

Im MSGw werden überwiegend Referenzstandorte ohne lokale Belastung untersucht. Sie eignen sich besonders zum Nachweis langfristiger Veränderungen des Nährstoffhaushalts und der Auswirkungen von Instabilitäten auf die Gewässer. An diesen Standorten ist eine deutliche Gewässerbelastung durch die anhaltende Überdüngung der Wälder noch nicht erkennbar, auch nicht eine mögliche Nährstoffmobilisierung auf Grund gesteigerter Bodentemperaturen. Im Hinblick auf die Auswirkungen der Landwirtschaft ist es wünschenswert, den Standort Donau/Gäuboden durch einen Messstandort mit erhöhtem Verlagerungsrisiko für Düngernährstoffe zu ergänzen.

6.3 Spurenmetalle in den Gewässern

Als Spurenmetalle werden die Schwermetalle plus dem leichteren Aluminium zusammengefasst. Seit die großflächige Verbreitung von staub- und niederschlagsgebundenen Spurenmetallen nachgelassen hat, gilt das Hauptaugenmerk den Risiken aus der Freisetzung anthropogener und natürlich vorkommender Spurenmetalle im Boden.

Tabelle 100 gibt einen Überblick über die mittleren Konzentrationen in den Gewässern der Messgebiete. Werte kleiner Bestimmungsgrenze wurden mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Die mittleren pH-Werte wurden über die Protonenkonzentrationen berechnet.

Spurenmetalle können bei niedrigen pH-Werten in Lösung gehen, u.U. auch durch Bindung an gelöste oder kolloidale Komplexe wie Huminstoffe. Unter den landwirtschaftlich genutzten Flächen werden kaum Spurenmetalle im Sickerwasser nachgewiesen, da hier die Böden durch kalkbeeinflusstes Ausgangssubstrat und die Zufuhr kalkhaltiger Düngemittel hohe pH-Werte aufweisen. Entsprechend gering sind die Konzentrationen im Grundwasser. Beispielhaft zeigt der Vergleich von Wald und Grünland in der Münchener Schotterebene den höheren Mobilisierungsgrad im entkalkten und versauerten Waldboden. In den kalkfreien Mittelgebirgen gilt dies je nach Versauerungsgrad für die gesamte Sickerzone, den hier abgezweigten Zwischenabfluss und gegebenenfalls das oberflächennahe Grund- und Quellwasser. Gemessen an den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung liegen die Konzentrationen von Cadmium, Nickel und Blei allerdings für alle Standorte im unkritischen Bereich. Dabei ist das weitgehend stabil im Boden fixierte Blei sehr unauffällig, während das vergleichsweise mobile Cadmium einen deutlichen Mobilisierungsgrad aufweist.

Überschritten wird der Grenzwert vom ausschließlich geogenen Aluminium, teilweise auch von Mangan. Die Höhe der Aluminiumkonzentration im Sickerwasser ist von Ausgangssubstrat, vom

Beiträge zu aktuellen Fragen des Gewässerschutzes

Versauerungsgrad, den Konzentrationen der Säureanionen Sulfat und Nitrat sowie dem pH-Wert abhängig.

Tab. 100: Mittlere Spurenmetallkonzentrationen der Gewässer im Gebietsvergleich (Mittelwerte 1998 bis 2002)

Messgebiet	Wasser	Al [mg/l]	Mn [mg/l]	Cd [µg/l]	Pb [µg/l]	Zn [mg/l]	Ni [µg/l]	pH
Grenzwert nach TrinkwV		0,20	0,05	5	25	-	20	6,5-9,5
Hochspessart	Sickerwasser 50 cm	1,08	0,27	0,3	1	0,04	2	4,65
	Sickerwasser 200cm	1,99	0,20	0,5	< 1	0,02	3	4,46
	Grundwasser	< 0,02	0,01	0,2	< 1	0,01	3	5,31
	Rohwasser	< 0,02	< 0,01	0,2	< 1	0,04	3	5,47
	Quellwasser	0,03	0,01	0,3	< 1	0,02	2	5,47
	Bachwasser	0,05	0,02	0,4	< 1	0,02	2	6,28
Bayerischer Wald	Sickerwasser 50 cm	1,41	0,14	0,3	1	0,06	2	4,72
	Sickerwasser 150cm	3,07	0,24	0,5	1	0,02	2	4,53
	Grundwasser	0,07	0,01	< 0,1	2	0,01	< 1	5,28
	Rohwasser	0,19	0,02	0,1	< 1	0,01	< 1	5,20
	Quellwasser	0,99	0,05	0,3	1	0,02	< 1	4,90
	Bachwasser	0,50	0,04	0,3	1	0,02	< 1	4,74
Fichtelgebirge	Sickerwasser 50 cm	4,13	0,16	0,5	1	0,06	3	4,30
	Sickerwasser 200cm	4,30	0,19	0,8	1	0,02	2	4,29
	Grundwasser	1,16	0,10	0,4	< 1	< 0,01	< 1	4,80
	Rohwasser	0,12	0,02	0,2	< 1	< 0,01	< 1	5,44
	Quellwasser	2,72	0,30	1,1	< 1	0,02	2	4,30
	Bachwasser	0,71	0,06	0,4	1	0,02	1	4,25
Münchener Schotterebene	Siwa Wald 50 cm	0,64	0,54	0,2	< 1	0,02	2	6,25
	Siwa Wald 200cm	0,02	0,01	< 0,1	< 1	0,01	< 1	7,48
	Siwa Grünl 50 cm	< 0,02	0,07	< 0,1	< 1	0,01	1	6,95
	Siwa Grünl 200cm	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,01	< 1	7,49
	Grundwasser	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	0,04	1	7,21
	Rohwasser	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	0,02	2	7,34
Nördliches Lechfeld	Sickerwasser 50 cm	0,02	0,03	< 0,1	< 1	< 0,01	2	7,69
	Sickerwasser 200cm	< 0,02	0,01	< 0,1	< 1	< 0,01	3	7,59
	Grundwasser	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	0,01	< 1	7,14
Donau / Gäuboden	Sickerwasser 100 cm	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,01	< 1	7,74
	Sickerwasser 200cm	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,01	< 1	7,64
	Grundwasser	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,01	< 1	6,99
	Rohwasser	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	0,01	< 1	7,02
Südliche Frankenalb	Sickerwasser 50 cm	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,01	1	7,79
	Sickerwasser 200cm	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,01	1	7,96
	Rohwasser	< 0,02	< 0,01	0,1	< 1	0,09	< 1	7,49

Diese Faktoren können in Abhängigkeit von der Grundwasserneubildung und damit verbundenen Versauerungsschüben starken saisonalen Schwankungen unterworfen sein. Die Mangan- und

Aluminiumgehalte im Sickerwasser unter Wald sind als grundwassergefährdend einzustufen. Sie wirken auch als Belastungen des Interflow bzw. des Direktabflusses, wie die meist höheren Konzentrationen von Quell- und Bachwasser aufzeigen.

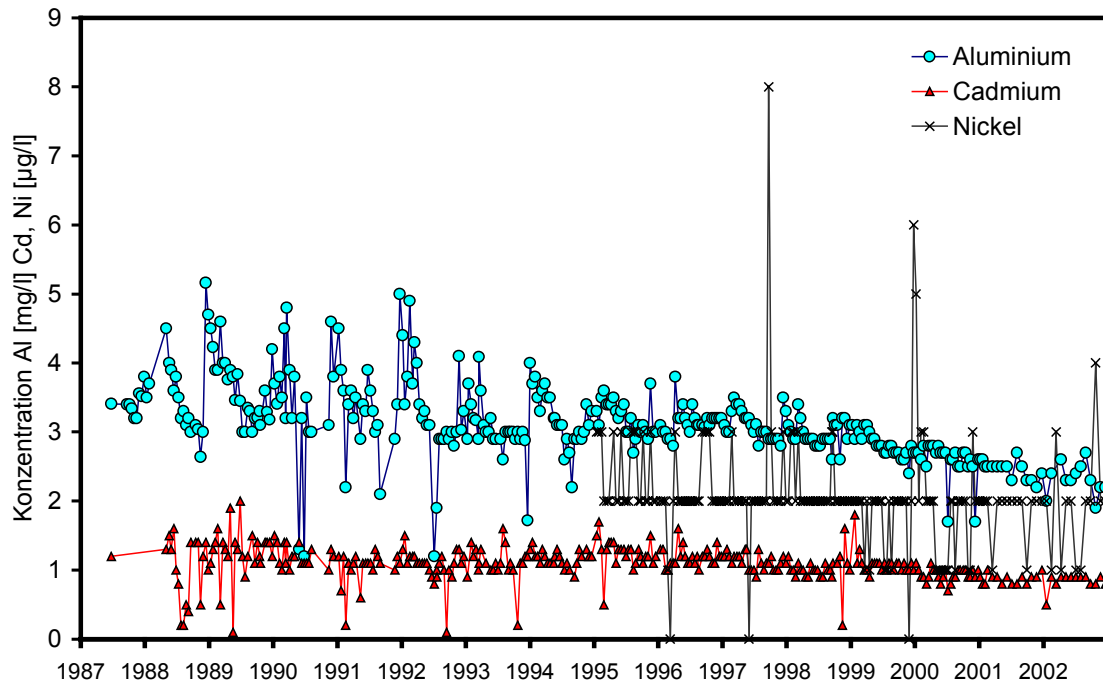


Abb. 101 Ganglinie ausgewählter Spurenmetalle im Quellwasser des Schlöppnerbrunnens, Wassereinzugsgebiet Lehstenbach

Eine typische Entwicklung zeigt die anfänglich sehr stark versauerte Quelle Schlöppnerbrunnen im Wassereinzugsgebiet Lehstenbach/Fichtelgebirge. Sie entwässert ein hochliegendes, sehr flaches Grundwasservorkommen. Nachlassender Säureeintrag, gekoppelt mit rückläufigen Konzentrationen von Sulfat und Nitrat führt zu sinkenden Belastungen für Aluminium und für das Schwermetall Cadmium (Abb. 101). Keine Veränderungen werden bei Blei, Zink und Nickel beobachtet. Für die etwas tieferen, versauerten Grundwasservorkommen ist bezüglich der Mobilität der Spurenmetalle, insbesondere des Aluminiums, noch keine Entlastung zu erwarten.

Im Rahmen der Untersuchungen ist nur die Freisetzung von Aluminium und Mangan in den versauerungsempfindlichen Gebieten als anhaltendes Problem zu sehen. Jedoch sollte auf die mögliche Mobilisierung anthropogener Schwermetallanreicherungen in den Böden weiter geachtet werden. Dabei ist der Belastungspfad Boden - Fließgewässer von besonderem Interesse.

6.4 Aspekte des Trinkwasserschutzes

In den vorangegangenen Darstellungen der Messgebiete wurden jeweils die Rohwasserdaten ausgewählter Wasserversorgungen mit aufgeführt und im Zusammenhang mit den Einzugsgebietsprozessen interpretiert. Abschließend wird hier ein Überblick unter dem Aspekt des Trinkwasserschutzes gegeben. Dabei werden die Messgebiete in drei hydrogeologischen Komplexen zusammengefasst:

- Südbayerische Schotterplatten und Flusstalfüllungen (Porengrundwasserleiter)
- Kristallines Grundgebirge und Buntsandstein (Kluftgrundwasserleiter)
- Fränkischer Jura (Karstgrundwasserleiter)

6.4.1 Südbayerische Schotterplatten und Flusstalfüllungen

Wegen des Wasserreichtums der quartären Sand- und Schotterablagerungen einerseits und vielfach günstiger Bedingungen für Intensivlandwirtschaft andererseits gestaltet sich der Ausgleich wasserwirtschaftlicher und landwirtschaftlicher Interessen häufig schwierig. Die drei MSGw-Gebiete repräsentieren hydrogeologische Varianten mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen für Nährstoff- und Schadstoffeinträge in das Grundwasser (Tab. 101).

Im Messgebiet Donau/Gäuboden zeichnet sich ab, dass ein hohes landwirtschaftliches Produktionspotential auch in den Trinkwassereinzugsgebieten möglich ist, wenn Düngerausbringung und pflanzliche Stickstoffausnutzung optimal gesteuert werden. Allerdings ist wegen der hohen Grundwasserflurabstände und der relativ geringen Neubildungsrate mit einem langen Zeitraum zu rechnen, bis sich Sanierungserfolge im Grundwasser einstellen. Die Schutzfunktion des mächtigen Decklehms gegenüber Nitratauswaschung wird durch natürliche Denitrifikationsprozesse unterstützt. Eine bessere Kenntnis des vorhandenen Denitrifikationspotentials und Quantifizierung der begleitenden Stoffumsätze ist durch das Messprogramm zu erwarten. Entsprechend benötigt der landesweite Grundwasserschutz mehr Information über den natürlichen Nitratabbau in der Fläche, um vorhandene Emissions- und Immissionsdaten des Stickstoffs besser bewerten zu können.

Für die Sicker- und Grundwässer der Münchener Schotterebene und des nördlichen Lechfelds kann Nitratabbau weitgehend ausgeschlossen werden, soweit keine moorigen und anmoorigen Überdeckungen vorliegen. Die hohe Grundwasserneubildungsrate sorgt für eine Verdünnung von Schadstoffkonzentrationen, allerdings bleiben die verursachten Schadstofffrachten unverändert. Maßnahmen zur Extensivierung der Landwirtschaft und zur Minderung siedlungsbedingter Schadstoffverluste sind in Trinkwassereinzugsgebieten meist erforderlich, wenn die forstliche Flächennutzung unbedeutend ist.

Tab. 101: Trinkwasserschutz in den Messgebieten mit quartären Schotterflächen

Gebiet	Schutzwirkung der Gwüberdeckung	Landnutzung	Maßnahmen zum Trinkwasserschutz	Risiken für das Grundwasser
Donau/Gäuboden	gut, mächtige, lokal ausgedünnte Lehmdecke, starke Denitrifikation	intensiver Ackerbau	Extensivierung der Landwirtschaft in der engeren Schutzzone, Minimierung der Nährstoffverluste im Einzugsgebiet, (Zusatzversorgung aus tieferem GwStockwerk (Tertiär))	Erhalt des landwirtschaftlichen Produktionspotentials, Abbau des natürlichen Denitrifikationspotentials, Aufkonzentrierung wg. geringer GwNeubildung
Münchener Schotterebene	mäßig, geringmächtige z.T. kiesige Lehmdecke, starker präferentieller Stofftransport	intensiver Ackerbau, Forst	Extensivierung der Landwirtschaft in der engeren Schutzzone, Erschließung von Waldgrundwasser, großräumige Schutzkonzepte, (befristete Zumischung nitratarmer Wassers)	unvermeidliche Nährstoffüberschüsse, starke Siedlungseinflüsse
Nördliches Lechfeld	schlecht, sehr flache Kiesböden, geringer Grundwasser-Flurabstand, sehr starker präferentieller Stofftransport	intensiver Ackerbau, Grünland, Wald	Wald und extensives Grünland im Schutzgebiet (z.T. Aufforstung), großflächige Extensivierungsbemühungen und Schutzkonzepte im Einzugsgebiet	große Empfindlichkeit gegenüber Verschmutzungen, auch aus Uferfiltrat

Die allgemein angenommene günstige Wirkung von Wäldern auf die Grundwasserqualität ist allerdings nicht immer gegeben. So sind in der Münchener Schotterebene vor allem die verbreiteten, z.T. nicht standortgerechten Fichtenbestände verschiedensten Belastungen ausgesetzt, die ein Risiko für die Grundwasserqualität darstellen können. Sturmschäden, Insektenkalamitäten und Überdüngung durch atmosphärischen Stickstoff können einzeln oder in Kombination zu schubweiser oder anhaltender Freisetzung von überschüssigem Nitrat führen. In der Folge großflächiger Sturmschäden im westlichen Ebersberger Forst wurde der geplante Umbau zum standortgerechten Mischwald erheblich beschleunigt. Die Maßnahme unterstützt gleichzeitig einen nachhaltigen Grundwasserschutz, von dem langfristig einzelne Wasserversorgungsanlagen direkt profitieren. Stabile, an den Standort angepasste Laub- und Mischwälder mit gutem Stickstoffspeichervermögen sind in der Regel der beste Grundwasserschutz. Hier kann eine sehr gute Grundwasserqualität mit Nitratgehalten unter 10 mg/l, häufig nahe 0 mg/l erzielt werden, die angesichts der anderweitigen Belastungsrisiken unbedingt erhalten werden muss.

Im Wassereinzugsgebiet Augsburg wurden ehemalige Ackerflächen nach hinreichender Ausmagerung aufgeforstet. Daneben bleibt jedoch die Umwandlung in extensiv genutztes Dauergrünland die dominierende Grundwasserschutzvariante. Sowohl in der Münchener Schotterebene als auch im Lechfeld hat Extensivierung eine Minimierung des Nitrataustrags zur Folge. Zu den besonderen Vorteilen zählt, dass Grünland gegenüber Wald weniger Luftschadstoffe ausfiltert und

die Grundwasserneubildung stärker begünstigt. Letzteres kann in niederschlagsarmen Gebieten ein zu prüfender Faktor für die Auswahl von Brunnenstandorten sein.

In den sandig-kiesigen Grundwasserüberdeckungen können präferentielle Sickerwasserflüsse den Stofftransport zum Grundwasser auch bei großen Flurabständen erheblich beschleunigen. So wurden im Grundwasser der Münchener Schotterebene Nitratschübe beobachtet, die auf Spülfekte nach Starkregenphasen zurückzuführen sind. In der Landwirtschaft sollten daher Stickstoffüberschüsse ganzjährig möglichst gering gehalten werden. Jedoch lassen sich Verluste auch von Pflanzenschutzmitteln auf den leichten, hoch durchlässigen Böden nicht vermeiden.

Sanierungsmaßnahmen im Trinkwassereinzugsgebiet kommen nach unterschiedlichen Reaktionszeiten zur Wirkung. Im Messgebiet Donau/Gäuboden bedingt die mehrere Meter mächtige Lehmedecke bereits auf der Sickerstrecke eine mittlere Fließzeit von mehreren Jahren. Kurzfristige Änderungen der Nährstoffbefruchtung spiegeln sich daher nur im oberen Sickerraum wider. Demgegenüber ist das Lechfeld ein Extremstandort für schnelle Grundwasserreaktion. Hier konnten deutlich Erfolge der Einzugsgebietssanierung sehr bald an den Entnahmebrunnen nachgewiesen werden.

Die Grundwasserströme der großräumigen Schotterflächen werden von zahlreichen Wasserversorgungen genutzt. Hier bietet sich an, die hydrogeologischen Grundlagen und die Probleme des Trinkwasserschutzes in flächenübergreifender Kooperation, z.B. in gemeinsamen Sanierungsprojekten oder bei der Optimierung von Brunnenstandorten, zu bearbeiten. In der Münchener Schotterebene und im Lechfeld wurden bzw. werden solche Projekte durchgeführt. Daten aus dem Dauermessprogramm des MSGw können diese Arbeiten unterstützen.

6.4.2 Kristallines Grundgebirge und Buntsandstein

Besonders im kristallinen Grundgebirge und im Buntsandstein sind quellnahe Fließgewässer und oberflächennahe Grundwasservorkommen einem erhöhten Versauerungsrisiko ausgesetzt (LFW 1997). Luftverfrachtete Säuren kamen in den filteraktiven Waldgebieten besonders zur Wirkung, da hier die Böden weder regelmäßig aufgekalkt noch im großen Umfang basisch wirkende Stoffe, z.B. mit Abwässern, in die Gewässer eingeleitet werden. Nach der erfolgreichen Minimierung der Schwefeleinträge verhindern anhaltende Stickstoffeinträge und bereichsweise in den Böden gespeicherter Schwefel eine allgemeine und zügige Wiedererholung der bereits versauerten Gewässer. In diesen Gebieten sind kleine, auf lokale Grundwasservorkommen gestützte Wasserversorgungen besonders zahlreich. Verbreitet wird im Rohwasser der untere Grenzwert der Trinkwasserverordnung für den pH-Wert (6,5) unterschritten, vereinzelt auch der Grenzwert für den Aluminiumgehalt (0,2 mg/l) überschritten. Neben dem langfristigen Durchschnittsverhalten beeinflussen einzelne Versauerungsschübe maßgeblich den Rohwasserchemismus. Sie treten vor allem bei starker Grundwasserneubildung bzw. Schüttungszunahme auf. Ihr Charakter ist von der jeweiligen hydrogeochemischen Ortssituation geprägt. Die Betriebsweisen der Aufbereitungsanla-

gen sind diesen saisonal wechselnden Anforderungen anzupassen. Drei MSGw-Messgebiete repräsentieren Referenzzustände für die betroffenen Gebiete (Tab. 102).

Tab. 102: Trinkwassergewinnung in den Messgebieten mit Grundwasserversauerung

Gebiet	oberflächennahe Hydrogeologie	Landnutzung	GwVersauerung* im Messgebiet	Situation der örtlichen Trinkwassergewinnung
Hochspessart	Speicherfähige sandig-lehmige Verwitterungszonen über mäßig wasserleitendem klüftigem Buntsandstein, teilw. felsige Kuppen, Talquellen meist an tekt. Störungen mit Dränagewirkung	großflächig Laubwald	Grundwasser: mäßig versauert Rohwasser: mäßig versauert	Aufgebohrte Talquellen, schwach versauert technisch angepasste Entsäuerungsanlage, 750.000 m ³ /a
Fichtelgebirge	Speicherfähige grusig-sandig-lehmige Verwitterungszonen über schlecht wasserleitendem klüftigem Granit, felsige Kuppen, Überlaufquellen	überwiegend Fichtenwälder, z.T. geschädigt	Grundwasser: stark versauert Rohwasser: mäßig versauert	Quellgruppen im Übergangsbereich Granit/paläoz. Schiefer, mäßig versauert, 176.000 m ³ /a
Bayerischer Wald	Speicherfähige grusig-blockige Verwitterungszonen über schlecht wasserleitendem klüftigem Granit und Gneis, felsig-blockige Kuppen, Überlaufquellen	Nadel- und Mischwälder, Nationalpark: Totholzflächen nach Borkenkäferbefall	Grundwasser: mäßig versauert Rohwasser: mäßig versauert	Quellen in blockreichem granitischem Verwitterungsmaterial, mäßig versauert, 40.000 m ³ /a

* Einstufung nach LFW 1997

Waldkalkung kann weitere Säureschäden begrenzen und damit den vorsorgenden Grundwasserschutz flankieren, jedoch zur nachträglichen Sanierung versauerten Grundwassers ist sie wenig wirksam. Langfristig positiv ist dagegen der Waldumbau (Abkehr von Fichtenmonokultur) zu bewerten, soweit er standortsabhängig möglich ist. Erforderlich sind Prognosen über die weitere Entwicklung der Versauerung, die bei entsprechender Datengrundlage auch für einzelne Trinkwassereinzugsgebiete durchgeführt werden können. Hierbei müssen aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse über die Bewertung von Emissionsszenarien und hydrogeochemischen Prozessen in den Böden bzw. der Grundwasserüberdeckung berücksichtigt werden. Als generelles Ergebnis ist festzuhalten, dass sich die Wiedererholung versauerten Grund- und Quellwassers zum Teil sehr langsam, d.h. über Jahrzehnte erstrecken wird.

Betroffene Wasserversorgungen benötigen eine wirksame und situationsangepasste Trinkwasseraufbereitung (Zuflussregelung, Entsäuerung, Entaluminierung, Rückspülung) und möglichst auch Kenntnisse über den Wasser- und Stoffhaushalt des jeweiligen Trinkwassereinzugsgebietes. Kleinen Wasserversorgern wird daher seit längerem empfohlen, bei der Anpassung und Modernisierung der Aufbereitungsanlagen wie auch beim Management der Trinkwassereinzugsgebiete Interessengemeinschaften zu bilden.

Beiträge zu aktuellen Fragen des Gewässerschutzes

Für die untersuchten Quellen der Wasserversorgung ist auffällig, dass sie z.T. schwächere Versauerungserscheinungen zeigen als das Grundwasser in den höher gelegenen Vorfeldmessstellen. Nach der Sickerpassage bestimmen hier der weitere Fließweg des Grundwassers und die Kontaktzeiten mit den im Grundwasserleiter vorhandenen Puffersubstanzen den endgültigen Status der Rohwasserversauerung. Insofern ist die Überwachung des Sickerwassers und des oberstromigen Grundwassers als Frühwarnsystem zu sehen. Das aktuelle Versauerungsrisiko wird in den Messgebieten wie folgt eingestuft:

Hochspessart

Mittels eines Modellansatzes wurde die Gesteinszersatzdecke im Einzugsgebiet Metzenbach/Hochspessart als vollständig versauert eingestuft und ein möglicher Durchbruch der Versauerungsfront in das Grundwasser prognostiziert (SCHALL P. & MALESSA V. 2000, MALESSA & MÜLLER 2001). Andererseits kann eine zunehmende Gefährdung der unterstromigen Trinkwasserquellen wegen der noch vorhandenen Pufferkapazitäten in der tieferen Sickerzone und im Grundwasser leitenden Kluftsystem weitgehend ausgeschlossen werden. Der großflächige Laubholzanbau begünstigt die Festlegung des anthropogen eingetragenen Stickstoffs im Boden und minimiert die weitere Säureverlagerung mit dem Sickerwasser. Für die oberflächennahen Grundwasserbereiche des gesamten Hochspessart werden ähnlich kritische Verhältnisse angenommen, soweit nicht in den Talungen zutretende Anteile alten Grundwassers aus dem tieferen Klufttraum zur Entschärfung der Situation beitragen.

Fichtelgebirge

Im granitischen, überwiegend mit Fichtenwald bedeckten Fichtelgebirge wirkt die Versauerung in den oberen Hang- und Kuppenlagen besonders stark in das Grundwasser hinein. Unter dem Einfluss reduzierender Bedingungen (Vermoorung, Vernässung), längerer Fließwege und des besser puffernden Verwitterungsmaterials im randlichen Schiefermantel geht das Versauerungsrisiko zurück. Das macht auch die relativ günstige Situation der untersuchten Trinkwasserquellen aus. Eine Quellwassernutzung in hochliegenden, kristallinen Verwitterungsdecken, die lokal ergiebiger Grundwasserspeicher darstellen, ist grundsätzlich auf leistungsfähige Entsäuerungstechnik angewiesen (LfW 1997). Die Wiedererholung versauerten Grundwassers auf die Werte eines natürlich schwach sauren Kristallinwassers wird wegen der Wiederfreisetzung erheblicher Mengen zwischengespeicherter Schwefels mit mehr als 50 Jahren angenommen.

Bayerischer Wald

Die Situation der ortsgebundenen Trinkwassergewinnung ist in den wechselnden Abfolgen von Gneisen und Graniten mit ihren Verwitterungszonen und periglazialen Überdeckungen sehr heterogen. Vor dem Hintergrund einer eher mäßigen luftchemischen Belastung wird das Versauerungsrisiko maßgeblich von der Niederschlagshöhe und der Kontaktzeit des Sickerwasser mit den puffernden Boden- und Gesteinskomponenten bestimmt. Aus hochgelegenen Blocklagen gespeiste Quellen sind entsprechend am anfälligsten, erholen sich aber auch zügig, wenn der Ver-

sauerungsdruck nachlässt. Verbreitet kann der Fichtenanbau die Verlagerung von überschüssigem Nitrat begünstigen und dadurch die Wiedererholung versauerten Grundwassers verzögern. Letztlich erfordert ein gutes Trinkwassermanagement komplexe Situationsbewertungen, die sinnvollerweise im regionalen Zusammenhang bzw. im Interessenverbund erfolgen sollten.

6.4.3 Fränkische Alb (Jura)

Die Jurahochflächen sind frei von oberirdischen Abflüssen. Jeder nicht verdunstende Regentropfen versickert mitsamt der auf dem Transportweg gelösten Stoffe in das Grundwasserreservoir. An Hand der Entwicklung der Trinkwassergewinnung für die auf der Jurahochfläche gelegene Großgemeinde Hemau zeigt sich die Schutzproblematik besonders deutlich. So sah sich der Wasserversorger veranlasst, in Folge der zunehmenden Schadstoffkontamination und schlechten Schützbarkeit der alten Trinkwasserquelle im Laabertal die Rohwasserentnahme an einen neuen höherliegenden Bohrbrunnen zu verlegen. Nach zunehmender Beeinflussung auch dieser Grundwasserentnahme durch Pflanzenschutzmittel wurde eine technisch aufwendige Zusatzversorgung aus dem tiefer liegenden Dogger-Grundwasserleiter installiert.

Tab. 103: Trinkwasserschutz in hochliegenden Einzugsgebieten des Jurakarstes

Gebiet	Schutzwirkung der Gwüberdeckung	Landnutzung	Maßnahmen im Trinkwassereinzugsgebiet	Risiken für das Grundwasser
Südliche Frankenalb	mäßig bis gut bei lehmiger Überdeckung, sonst gering, örtlich fehlend	auf Lehmen intensiver Ackerbau, Grünland, Laub- und Mischwald	Erkundung von Fließwegen und Verschmutzungspfaden, Strukturierung und erosionsschonende Bodenbearbeitung, Extensivierung kritischer Bereiche, (Zusatzversorgung aus tieferem GwStockwerk)	unvermeidliche Abspülungen und Auswaschungen, bereichsweise große Empfindlichkeit gegenüber Verschmutzungen

Die Sickerwasseruntersuchungen unter extensiv genutztem Grünland zeigen, dass auch bei sehr geringmächtiger und felsdurchsetzter Bodenauflage kaum mit Schadstoffeintrag zu rechnen ist (orientierende Untersuchungen auf möglichen Eintrag luftverfrachteter organischer Spurenstoffe, z.B. verdriftete Pflanzenschutzmittel, sind noch nicht abgeschlossen). Ähnliches wird für Flächen mit Laub- und Mischwald angenommen, soweit keine großflächigen Bestandesstörungen auftreten. Ein erhebliches Risiko geht dagegen von den Ackerflächen aus, obwohl diese heutzutage weitgehend auf die guten Böden der lehmigen Albüberdeckung beschränkt sind. Hier können hangabwärts gerichtete Wasserflüsse den Nährstoff- und Schadstofftransport in die meist wasser-durchlässigen Karsttälchen und die Dolinen übernehmen. Auch partikelgebundener Stofftransport zum Grundwasser, z.B. für Phosphor, ist hier möglich. Nach längerer Austrocknung und Rissbildung in der Lehmedecke ist zudem mit ausgeprägten präferentiellen Wasserflüssen in vertikaler Richtung zu rechnen. Das wahrscheinlich vorhandene Denitrifikationspotential wird dann nicht ausgeschöpft. In der Summe stellen sich im untersuchten Rohwasser des Bohrbrunnens Nitratge-

halte von 35-40 mg/l ein. Eine Rückgangstendenz ist nicht erkennbar, so dass weiterhin ein Risiko der Überschreitung des Trinkwassergrenzwertes besteht.

Die Trinkwassereinzugsgebiete sind oft sehr groß und wegen der komplexen Grundwasserfließsysteme schwierig abzugrenzen. Schon aus diesem Grund empfehlen sich großräumig und Interessen überreifend angelegte Grundwasserschutzkonzepte. Neben der Sanierung und consequenten Vermeidung punktförmiger Schadstoffquellen wird sich das Management in Trinkwassereinzugsgebieten auf die Optimierung des Stickstoffhaushalts und die Minimierung der Pflanzenschutzmittel-Anwendungen in der Landwirtschaft konzentrieren. Grundlage ist eine fachlich gesicherte Kenntnis der gegenüber Grundwasserverschmutzung besonders empfindlichen Bereiche in Verbindung mit den bevorzugten Fließwegen in Richtung Trinkwasserentnahme. Für die natürliche Entfernung mikrobiologischer Belastungen wird z.B. eine mindestens 2,5 m mächtige, homogene Lehmschicht für erforderlich gehalten (REGIERUNG VON OBERFRANKEN 2002). Die Bildung von Stickstoffüberschüssen im Trinkwassereinzugsgebiet sollte ganzjährig so gering wie möglich gehalten werden. Direkte Abschwemmungen in die Senken und Dolinen lassen sich durch erosionsmindernde Methoden der Bodenbearbeitung und des Pflanzenanbaus sowie durch Strukturierung des Geländes begrenzen. Vorrangig sollten jene Betriebe umgestellt werden, von denen besonders hohe Flächenbelastungen mit Stickstoff und gegebenenfalls Pflanzenschutzmitteln ausgehen.

7 Zusammenfassung

Im Gewässerkundlichen Dienst der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung gewinnen zunehmend integrative und medienübergreifende Arbeitsweisen an Bedeutung, die den Landschaftswasserhaushalt und seine Stoffströme im Zusammenhang sehen und damit eine der Grundstrategien für die nachhaltige Landesentwicklung unterstützen. Im Bereich des gewässerkundlichen Monitorings ist dieser Ansatz im integrierten Messnetz Stoffeintrag – Grundwasser (MSGw) umgesetzt, das nunmehr auf bis zu 15-jährige Messreihen zurückblickt. Der vorliegende Bericht gibt eine Übersicht der Ziele und Methoden und präsentiert für jedes der sieben Messgebiete – in Ergänzung zur Datendokumentation auf CD - eine standardisierte Auswahl von Ergebnissen zu den untersuchten Wasser- und Stoffflüssen.

Ziel des MSGw ist die langfristige Erfassung des Wasser- und Stoffkreislaufs und seiner Belastungen in Repräsentativgebieten mit besonderer Berücksichtigung der Landnutzung und des Sickerwassers. Dabei erfordert die medienübergreifende Sicht eine Abstimmung mit den Mess- und Informationsinteressen anderer Institutionen im Bereich der Umweltbeobachtung und -überwachung. Es bestehen besondere Fachkontakte zu folgenden Behörden: Geologisches Landesamt, Landesamt für Umweltschutz, Landesamt für Landwirtschaft, Landesamt für Wald und Forstwirtschaft und Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald. Die Zusammenarbeit mit universitären Einrichtungen dient dem Wissenstransfer und der Nutzung neuer Erkenntnisse für die gewässerkundliche Praxis. Die Anbindung an Wasserversorgungsunternehmen in den einzelnen Gebieten ist hervorzuheben. Im Vordergrund steht hier die Bewertung der Stoffbelastungen im Hinblick auf ein erweitertes Trinkwassermanagement in den Einzugsgebieten.

Mit den sieben Messgebieten werden aus hydrogeologischer Sicht der Buntsandstein, das ostbayerische Kristallin, der Jurakarst und Varianten der Quartären Schotterplatten und Flusstalfüllungen erfasst. Daraus ergibt sich eine relativ breite Palette repräsentativer Beobachtungen in Bayern. Sie decken sowohl große und ergiebige Grundwasserumsatzräume ab als auch kleinteilige mit ihrer besonderen Funktion für die ortsgebundene Quellwasserversorgung und das differenzierte Gewässernetz. Am längsten beobachtet sind vier bewaldete Wassereinzugsgebiete. Hier bilden die Ergebnisse einen wichtigen Teil der Erfolgskontrolle in Bezug auf die gesetzliche Minderung umweltschädigender Emissionen in die Atmosphäre. Auch werden hier als erstes mögliche Reaktionen des Wasser- und Stoffkreislaufs auf eine dauerhafte Klimaveränderung nachweisbar sein.

In der abschließenden Übersicht werden maßgebliche Fragen des flächenhaften Gewässer- und Trinkwasserschutzes in Bayern angesprochen, die sich auch mit den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie verknüpfen. Denn zum Erreichen des guten Zustands und zum Vermeiden einer Qualitätsverschlechterung müssen vor allem die diffusen bzw. flächenhaften Schadstoffeinträge in die Gewässer verringert werden. Fliessgewässer, Seen, Grundwasser und Quellen sowie das einspeisende Sickerwasser sind als „Gewässer“ zu betrachten.

Nach wie vor bedarf die Gewässerversauerung in Nord- und Ostbayern der wasserwirtschaftlichen Kontrolle. Auf Grund komplexer Bodenprozesse in den Einzugsgebieten und weiterer Deposition von Säurebildnern muss mit erheblichen Verzögerungen bei der Wiedererholung versauerter Gewässer gerechnet werden.

Die Eutrophierung der Gewässer durch Stickstoff erfolgt weitgehend über die Grundwasserpassage. Die Bedeutung stabiler, standortgerechter, laubholzreicher Wälder ist in diesem Kontext für den Erhalt nitratarmer Grundwasservorkommen zu betonen. Phosphor wird überwiegend von den Oberflächen abgespült. Dennoch sollte der Boden-Grundwasser-Pfad wegen der sehr unterschiedlichen Einflussfaktoren (Deposition, Versauerung, Düngereinsatz, schneller Sickerwasserfluss, etc.) weiter untersucht werden.

Bei den Spurenmetallen gilt das Hauptaugenmerk nach dem Rückgang des atmosphärischen Eintrags einer möglichen Mobilisierung anthropogener und geogener Vorräte in den Böden. Besonders in versauerten Gewässern können weiterhin bedenkliche Konzentrationen von Aluminium und Mangan auftreten. Versauerungsbedingte akute Gefährdungen des Grund- und Quellwassers durch weitere Schwermetalle werden nicht gesehen.

Grundlage eines erfolgreichen Managements von Trinkwassereinzugsgebieten ist die Kenntnis der hydrogeologischen Rahmenbedingungen und der maßgeblichen Einflüsse auf den Wasser- und Stofftransport. Vor dem Hintergrund der bekannten Nutzungskonflikte zeigt sich die generelle Bedeutung des Waldes, aber auch des Dauergrünlandes für die Bildung qualitativ hochwertigen Grundwassers. Grundsätzlich empfiehlt es sich, die erforderlichen Grundlagenuntersuchungen wegen der Komplexität der Prozesse in den Trinkwassereinzugsgebieten als überörtliche Kooperationsprojekte durchzuführen.

Der Anhang enthält eine umfangreiche Datenzusammenstellung mit Originaldaten und aggregierten Daten aus den Kompartimenten des Wasser- und Stoffkreislaufs in den 7 Messgebieten.

Abkürzungsverzeichnis

AK _e	effektive Austauschkapazität
AK _{pot}	potentielle Austauschkapazität
BDF	Bodendauerbeobachtungsfläche
BITÖK	Bayreuther Institut für terrestrische Ökosystemforschung
BS	Basensättigung
BW	Bayerischer Wald
dB _F	Trockenraumgewicht der Feinerde
DGB	Donau/Gäuboden
Efm.o.R.	Erntefestmeter ohne Rinde
ET _a	tatsächliche (reale) Evapotranspirationshöhe
ET _p	potentielle Evapotranspirationshöhe
F	Fliessgewässer
FIG	Fichtelgebirge
GLA	Bayerisches Geologisches Landesamt
GOK	Geländeoberkante
Gw	Grundwasser
h _A	Abflusshöhe
h _{AO}	oberirdischer Anteil der Abflusshöhe
h _{BN}	Niederschlagshöhe im Waldbestand der Messgebiete ermittelt
h _{FN}	Niederschlagshöhe im Freiland der Messgebiete ermittelt
HHQ	Höchster bekannter Abfluss
h _I	Interzeptionshöhe
h _N	Niederschlagshöhe
h _{NG}	Höhe Gebietsniederschlag, Wassereinzugsgebiet Markungsgraben
HSP	Hochspessart
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LWF	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
MNQ	arithmetisches Mittel der niedrigsten Tagesabflüsse
MQ	arithmetisches Mittel aller Tagesabflüsse
MHQ	arithmetisches Mittel der höchsten Tagesabflüsse
MSE	Münchener Schotterebene
MSGw	Messnetz Stoffeintrag – Grundwasser
N	Niederschlag
NLF	Nördliches Lechfeld
NNQ	Niedrigster bekannter Abfluss
PCB	Polychlorbiphenyle
PBSM	Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel
Q	Quellwasser
Rw	Rohwasser
SFA	Südliche Frankenalb
SPAK	Spektraler Absorptionskoeffizient

Sw	Sickerwasser
Sw ₂₀₀	Sickerwasserrate in 200 cm Tiefe
TOC	Total Organic Carbon
WKS	Waldklimastation
WVU	Wasserversorgungsunternehmen

Literatur

- AG BODENKUNDE (1995): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4.Aufl., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.). Hannover.
- ALEWELL C., ARMBRUSTER M., BITTERSOHL J., EVANS C.D., MEESENBURG H., MORITZ K. und PRECHTEL A. (2001): Are there signs of acidification reversal in freshwaters of the low mountain ranges of Germany? *Hydrology and Earth System Sciences*, 5(3), 367 – 378.
- BAUMGARTNER A. (1958): Nebel und Nebelniederschlag als Standortfaktoren am Großen Falkenstein (Bayerischer Wald). *Forstwiss. Centralbl.* 77, 257-272.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1998): Borkenkäferproblematik im Nationalpark Bayerischer Wald, Ergebnis des internationalen Expertengremiums, 47 S.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2000): Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 1999. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. 25, 47 S.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2001): Es wächst zusammen, was zusammen gehört: Die neue Karte der natürlichen Waldzusammensetzung Bayerns. LWF aktuell Nr. 31, 49 S.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2002): Waldzustandbericht 2002. Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 60 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1992a): Nitrateintrag in das Grundwasser unter Wald in Bayern. Informationsbericht des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (Hrsg.) 6/92, München, Eigenverlag.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1992b): Sanierung nitratbelasteter Grundwassereinzugsgebiete – Fallbeispiel Augsburg. Materialien Nr. 16, 191 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1993): Bericht an die Oberste Wasserbehörde im bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen über die Tätigkeit der Arbeitsgruppe „Depositionsuntersuchungen in Bayern“, unveröffentlichter Bericht, 16 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1994a): Auswirkungen des Sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser, Dokumentation der Methoden und Meßdaten des Entwicklungsvorhabens 1988-1992. Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München, Eigenverlag, Materialien Nr. 40.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1994b): Stickstoffaustrag in das Grundwasser bei extensivierter Bodennutzung. Informationsbericht des Bayerisches Landesamtes für Wasserwirtschaft (Hrsg.), Heft 3/94, München, Eigenverlag, 227 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1996): Die Grundwasserneubildung in Bayern. Informationsbericht des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (Hrsg.) 5/96, München, Eigenverlag, 65 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1997): Grundwasserversauerung in Bayern. Informationsbericht des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (Hrsg.) 1/97, München, Eigenverlag, 179 S.

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1999a): Entwicklungsvorhaben „Untersuchungen über anthropogene Einflüsse und Depositionen auf das Grundwasser 1995 – 1998 und Integriertes Messnetz Stoffeintrag – Grundwasser (MSGw)“, Schlussbericht, unveröffentlicht, 65 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1999b): Versauerung oberirdischer Gewässer in Bayern, Entwicklung 1983 – 1996. Informationsbericht des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (Hrsg.) 1/97, München, Eigenverlag, 343 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2002): Untersuchung zur Verteilung von PBSM, Nitrophenolen sowie synthetischen Moschusverbindungen durch den Niederschlag, Bericht 1995 – 2001. Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, Materialien Nr. 107, München, Eigenverlag, 70 S.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2003): Gewässerkundliche Verhältnisse im Jahr 2002 in Bayern, Jahresbericht. 17. S:
http://www.bayern.de/lfw/daten/mengen_qualitaet/jahresbericht_02/welcome.htm
- BAYFORKLIM (1995): Klimaatlas von Bayern. Bayerischer Klimaforschungsverbund (Hrsg.), 48 S.
- BEILKE S. und UHSE K. (1999): Saurer Regen in Deutschland zwischen 1982 und 1998. in: Jahresbericht 1998 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes, Text 66/1999, 19 S.
- BENECKE, P. (1995): Verlagerung von Versauerungsfronten und Auswirkungen auf das Grundwasser. in: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Internationales Symposium Grundwasserversauerung durch atmosphärische Deposition; Ursachen - Auswirkungen - Sanierungsstrategien. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 3/95, München, Eigenverlag, 153-168.
- BEUDERT B., BREIT W., DIEPOLDER U. und KAISER M. (1997): Integrated Monitoring im Nationalpark Bayerischer Wald. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben 104 02 700 des Umweltbundesamtes. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising, 265 S.
- BIEBER E. (2000): Schwermetallmessungen im Messnetz des Umweltbundesamtes. in: Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes, Text 58/2000, 26 S.
- 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.
- BITTERSOHL J., VON BOHLEN W., MORITZ K. und SAGER H. (1995): Integriertes Meßnetz "Stoffeintrag – Grundwasser", Grundlage - Konzept - Fachaufgaben. in: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Internationales Symposium Grundwasserversauerung durch atmosphärische Deposition; Ursachen - Auswirkungen - Sanierungsstrategien. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 3/95, München, Eigenverlag, 425-429.
- BRAUN, F., SCHÜSSLER, W. und WEHRLE, R (1987): Organische Schadstoffe: Polychlorbiphenyle (PCB) und Pestizide im Kreislauf des Wassers: Bilanzierung und Bewertung. Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung, Bericht 7, ISSN 0941-1550, München.

- BRAUN F., SCHÜSSLER W., WANZINGER M. und WEHRLE-VON BORZYSKOSWIKI, R (1990): Neue Untersuchungen zur Analytik und Verbreitung von Polychlorbiphenylen (PCB) und Pflanzenbehandlungsmitteln. Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung, Bericht 15, ISSN 0941 -1550, München.
- BRAUN G., GIETL G. und PREUHSLER T. (1999): Der Forschungsschwerpunkt Große Ohe. In: Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet Große Ohe, Band 7, Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau, 7-11.
- BRÜGGEMANN E., GNAUK T. und ROLLE W. (1991): Stabilitätsverhalten von ausgewählten anorganischen Spurenstoffen in Niederschlagsproben. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 3 (5), 260-265.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2000): Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustandes und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II-Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Arbeitskreis C der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II, 167 S.
- DIN 38402-13 (1985): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Allgemeine Angaben (Gruppe A); Probenahme aus Grundwasserleitern (A 13).
- DVWK (1986): Ermittlung des Interzeptionsverlustes in Waldbeständen bei Regen. DVWK-Merkblatt 211/1986, 11 S.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, DVWK-Merkblatt 238/1996. 135 S.
- EDEN D. und RÖDER R. (1987): Lechinfiltration und Bodennutzung als Einflussfaktoren für den Nitratgehalt im Grundwasser südlich von Augsburg. Z. dt. geolog. Ges. 138, 451 – 461.
- FOKEN T. (2001): Untersuchungen zum Klima im Waldsteingebiet. in: Waldökosystemforschung in Nordbayern: Die BITÖK-Untersuchungsflächen im Fichtelgebirge und Steigerwald. Pedro Gerstberger (Hrsg.), Bayreuther Forum Ökologie Bd. 90, 59 – 63.
- FORSTAMT MARKTHEIDENFELD (2002): Mündliche Mitteilung.
- FURTAK H. und LANGGUTH H.R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. Intern. Assoc. Hydrogeol. 7, Hannover, 89 – 96.
- HAAG I. (1997): Hydrochemische Dynamik und Versauerungsmechanismen im Quellgebiet der Großen Ohe. Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet Große Ohe, Band 6, Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau, 144 S. und Anhang.
- HARTGE K. H. und HORN R. (1989): Die physikalische Untersuchung von Böden. Enke Verlag Stuttgart 175 S.
- HAUDE W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. Deutsch. Wetterdienst Nr. 11.
- IHLE P. (2001): Atmosphärische Depositionen in der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe des Instituts für Energetik und Umwelt, Leipzig, Teubner Verlag, 240 S.

- IHP/OHP-SEKRETARIAT BEI DER BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (1995): Empfehlung zu Einrichtung und Betrieb kleiner hydrologischer Untersuchungsgebiete sowie von Meßsystemen zur Erfassung und Untersuchung hydrologischer Prozesse in komplexen Untersuchungsgebieten. IHP/OHP-Berichte, Heft 10, Koblenz.
- IMMLER, L. (1992): Erhebung von bodenphysikalischen Parametern in den Modelleinzugsgebieten Metzenbach/Spessart, Lehstenbach/Fichtelgebirge, Markungsgraben/Bayerischer Wald und Ebersberger Forst/Westteil. Interner Bericht, unveröffentlicht.
- KÖLLING C. und MORITZ K. (1995): Episodische Versauerung eines Fließgewässers (Metzenbach/Spessart) nach schweren Waldschäden durch Sturmwurf. in: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Internationales Symposium Grundwasserversauerung durch atmosphärische Deposition; Ursachen - Auswirkungen - Sanierungsstrategien. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 3/95, München, Eigenverlag, 91-96.
- KÖPF E. und ROTHASCHER A. (1980): Das natürliche Wasserdargebot in Bayern im Vergleich zu den Hauptkomponenten des Wasserkreislaufs. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 13.
- KREBS M. (1994): Tiefenversauerung an den Flächen des EV „Saurer Regen/Grundwasser“. LWF und LfW, unveröffentlichter Bericht, 125 S.
- KRENN, K. (1948): Tarife zur Massenberechnung von Beständen. Schriftenreihe der Badischen Forstlichen Versuchsanstalt 6, Freiburg, 41. S.
- KRETZSCHMAR R. (1989): Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum. Ausgewählte Laboratoriumsmethoden. Eigenverlag Kiel, 514 S.
- LANG F. und STRUNZ H. (1993): 20 Jahre Klimabeobachtung im Nationalpark Bayerischer Wald. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald. Grafenau, 2. Aufl., 93 S.
- LAWA (1982): Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 1 – Grundwasserstand. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.), 44 S.
- LAWA (1993): Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 3 – Grundwasserbeschaffenheit. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.), 59 S.
- LAWA (1998): Atmosphärische Deposition - Richtlinie für Beobachtung und Auswertung der Niederschlagsbeschaffenheit. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.), 65 S.
- LAWA (2003): Sickerwasser, Richtlinie für Beobachtung und Auswertung. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.), 89 S., in Druck.
- LFW: s. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- LWF: s. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
- LISCHEID G., MORITZ K. und BITTERSOHL J. (2001): Hydrologie im Einzugsgebiet Lehstenbach. in: Waldökosystemforschung in Nordbayern: Die BITÖK-Untersuchungsflächen im Fichtelgebirge und Steigerwald. Pedro Gerstberger (Hrsg.), Bayreuther Forum Ökologie Bd. 90, 91 – 102.
- LISCHEID G., KOLB A. und ALEWELL C. (2002): Apparent translatory flow in groundwater recharge and runoff generation. Journal of Hydrology 265, 195 – 211.

- MALESSA V. und MÜLLER U. (2001): AcidProgress: Das Planungsverfahren für die Forst- und Wasserwirtschaft zur Prognose des Eintritts von Gewässerversauerung in bewaldeten Einzugsgebieten. Arbeitshefte Boden, Heft 2001/2, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Hrsg.), Hannover, 268 S.
- MANDERSCHIED B. und GÖTTLEIN A. (1995): Wassereinzugsgebiet Lehstenbach – das BITÖK-Untersuchungsgebiet am Waldstein (Fichtelgebirge, NO-Bayern). Bayreuther Forum Ökologie Bd. 18, 84 S.
- MANDERSCHIED B., HELL U., MORITZ K. und ALEWELL C. (2001). Daten zum Stoffhaushalt im Einzugsgebiet „Lehstenbach“. in: Bayreuther Forum Ökologie, Band 90: Waldökosystemforschung in Nordbayern: Die BITÖK-Untersuchungsflächen in Fichtelgebirge und Steigerwald, BITÖK (Hrsg.), 37 – 58.
- MATTHESS G. und MURAWSKI H. (1978): Das Mainprojekt. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (Hrsg.) Heft 7, München, Eigenverlag, S. 108 – 120.
- MATZNER E.; ALEWELL C.; BITTERSÖHL J.; LISCHIED G.; KAMMERER G.; MANDERSCHIED B.; MATSCHONAT G.; MORITZ K.; TENHUNEN J.D. und TOTSCHE, K. (2001): Biogeochemistry of a Spruce Forest Catchment of the Fichtelgebirge in Response to Changing Atmospheric Deposition. Ecological Studies, Vol. 147, J.D. Tenhunen et al. (eds) Ecosystem Approaches to Landscape Management in Central Europe, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 463 – 503.
- MERTENS M. (2003): Wie kommt der Phosphor in den See? Wasser verbindet, Nr. 3, Zeitschrift zum Kooperationsprojekt für nachhaltige Landnutzung und Gewässerschutz im Weißenstädter Becken. Weißenstadt, S.3.
- MORITZ K. und BITTERSÖHL J. (2000): Turnover of Nitrogen and Acidification in the Small Headwater Catchment Markungsgraben. Silva Gabreta 4. 63 – 70.
- MORITZ K. und BITTERSÖHL J. (2001): Waldkalkung und Gewässerschutz – derzeitiger Sachstand. in: Dienstbesprechung Chemie und Biologie 2001. Materialien Nr. 98, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München, Eigenverlag.
- MORITZ K., ZIMMERMANN L., BITTERSÖHL J. und KENNEL M. (2000): Auswirkungen von flächigem Borkenkäferbefall auf Wassermenge und Gewässerbeschaffenheit. In: Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 1999. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. 25, 35 – 39.
- OTILLINGER F. (1992): Landwirtschaftliches Sanierungskonzept der Stadtwerke Augsburg. in: Wasserwirtschaft 82, 109 – 115
- OTILLINGER F. (1996): Erfolgreiche grundwasserschonende Landbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Stadtwerke Augsburg. - Zbl. Geol. Paläont. H. 1/2: 71-88.
- REGIERUNG VON OBERFRANKEN (Hrsg.) (2002): Trinkwasser aus der Hollfelder Mulde, Sensibler Schatz in Klüften und Spalten. Faltblatt, 8 S.
- REUSS J.O. und JOHNSON D.W. (1986): Acid deposition and the acidification of soils and waters. Ecological Studies, 59, Springer-Verlag, Berlin, 119 S.

- 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, Teil II, 51 S. und Anhang.
- SCHALL P. und MALESSA V. (2000): Entwicklung des Produkts „AcidProgress 3.0“ als Planungswerkzeug für die Forst- und Wasserwirtschaft. Abschlussbericht, 64. S., Anhang und Datenträger, Freising-Göttingen, unveröffentlicht.
- SCHIRM E. (1968): Die hydrologischen Verhältnisse der Münchener Schotterebene östlich der Isar. Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, 139 S.
- SCHWARZ U. (1999): Entwicklung der Grundwasser-Beschaffenheit 1993 – 1998 im Bereich des Wasserschutzgebietes der Städte Augsburg und Königsbrunn. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, 63 S.
- SCHWEISSER T. (1998): Sulfatsorptions- und -desorptionsverhalten des oberflächennahen, geologischen Untergrundes im Wassereinzugsgebiet Lehstenbach (Fichtelgebirge). Diplomarbeit Universität Bayreuth. 94 S. und Anhang.
- SIMÚNEK J, SEJNA M und VAN GENUCHTEN T (1996): HYDRUS-2D simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media. International Ground Water Modeling Center, Golden Colorado, 167p.
- SPANGENBERG A. (2002): Stickstoffbelastungen an Waldrändern, Untersuchungen in südbayerischen Regionen mit hoher Ammoniakemission. Forstliche Forschungsberichte, Heft 190, 176 S.
- STADT HEMAU (1992): Antrag auf Erweiterung des Trinkwasserschutzgebietes für die Wasserversorgung Hemau im Erschließungsgebiet Birkenhof. 3 S., 6 Anlagen, unveröffentlichtes Gutachten.
- STADTWERKE AUGSBURG (2003a): Warum ist unser Trinkwasser so gut ? Informationsbroschüre, 31. S.
- STADTWERKE AUGSBURG (2003b): Schriftliche Mitteilung.
- STADTWERKE STRAUBING (1997): Antrag auf Neufestsetzung eines Trinkwasserschutzgebietes für die Quartärbrunnen der Erschließungsgebiete 2, 2a und 3 sowie der Tertiärbrunnen I und II der Stadtwerke Straubing. 59 S., 8 Anlagen, unveröffentlichtes Gutachten.
- STMLU (1997): Probenahme von Böden und Substraten zur Erfassung des Bodenzustandes und Untersuchung kontaminierter Standorte – Vorgehensweisen im Rahmen des Bodenschutzes in Bayern. Materialien 129, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), 78 S.
- SUTTNER T., AUßENDORF M. und MARTIN W. (1998): Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns. GLA-Fachberichte, 16, 158 S., München.
- THUMS S. (1993): Niederschlags- und Abflussauswertung der 10-jährigen Meßreihe 1980-1989 für das Einzugsgebiet der Großen Ohe. Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet Große Ohe, Band 5, Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau, 196 S.

- UDLUFT P. und BLASY L. (1975): Ermittlung des unterirdischen Abflusses und der nutzbaren Porosität mit Hilfe der Trockenwetter-Auslaufkurve.- Z. dt. geol. Ges., Hannover, 126, 325-336.
- ULRICH B. (1991): Schätzung der Flüsse in Waldökosystemen - Identifizierung der sie bedingenden Prozesse. in: Ulrich B. (Hrsg.): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 24, 204 - 210.
- VDI 2119 Bl.2 (1996): Messung partikelförmiger Niederschläge; Bestimmung des Staubniederschlags mit Auffanggefäßen aus Glas (Bergerhoff-Verfahren) oder Kunststoff. September 1996.
- ZAHN M.T. (1995): Transport von Säurebildnern im Untergrund und Bedeutung für die Grundwasserversauerung. in: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Internationales Symposium Grundwasserversauerung durch atmosphärische Deposition; Ursachen - Auswirkungen - Sanierungsstrategien. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 3/95, München, Eigenverlag, 143-152.
- ZIMMERMANN L., MORITZ K., KENNEL M. und BITTERSOHL J. (1999): Auswirkungen von flächigem Borkenkäferbefall auf Wassermenge und Gewässerqualität. In: Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet Große Ohe, Band 7, Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau, 125 - 136.
- ZIMMERMANN L., MORITZ K., KENNEL M. und BITTERSOHL J. (2000): Influence of Bark Beetle Infestation On Water Quantity and Quality in the Große Ohe Catchment (Bavarian Forest National Park). Silva Gabreta 4, 51-62.

Anhang

Ein Großteil des in MSGw erhobenen Datensatzes steht in der Anlage elektronisch zur Verfügung. Pro Gebiet liegt eine Exceldatei vor, mit einzelnen Mappen für die einzelnen Datenkategorien. Neben den geprüften Originaldatensätzen werden auch aggregierte Daten, berechnet nach den im Text beschriebenen Verfahren angeboten (Wasserbilanzen, Stoffein- und -austrag). Für alle Datensätze liegt das Copyright beim Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, für die bodenchemischen Daten der Intensivmessfläche des Messgebietes Donau/Gäuboden bei der LfL.

Informationen zu folgenden Daten stehen zur Verfügung:

Name der Mappe	Inhalt	Hinweis
Stammdaten	Stammdaten zur Identifizierung der Messstellen	Feld „Messstelle“ dient zur Identifikation
Wasserbilanz	Wasserbilanzen bezogen auf hydrologische Jahre	
Deposition	Stoffdepositionen der Hauptinhaltsstoffe bezogen auf hydrologische Jahre	mit Sammelsystem 1 (Trichter-Flasche-Sammler)
Spurenmitteldeposition	Stoffdepositionen der Spurenmetalle bezogen auf hydrologische Jahre	mit Sammelsystem 2 (Topf-Sammler)
Stoffaustrag	Stoffaustrag mit dem Fließgewässer bezogen auf hydrologische Jahre	nur Kleinzugsgebiete mit Abflusspegel
Niederschlag	Beschaffenheitsdaten des Niederschlags (Freiland und Bestand) incl. Niederschlagshöhen	
Sickerwasser	Beschaffenheitsdaten des Sickerwassers	
Grund(&Bach)wasser	Beschaffenheitsdaten von Grund-, Quell-, Rohwasser sowie Fließgewässer	Einträge je nach Gebietsausstattung, mindestens jedoch Grundwasser
Bodensaugspannung	Tagesmittelwerte der Bodensaugspannungen	Feldbezeichnung: Tensiometernummer und Einbautiefe [cm]
Grundwasserstand	Tagesmittelwerte der Grundwasserstände	
Abfluss	Tagesmittelwerte der Abflüsse	nur Kleinzugsgebiete mit Abflusspegel
Bodenchemie	Bodenchemische Daten	

Die jeweils erste Zeile enthält die Bezeichnung der Parameter, die soweit möglich selbsterklärend sind. Die zugehörigen Einheiten sind in der 2. Zeile des Kopfes eingetragen. Alle Datensätze sind nach Messstelle und Datum sortiert. Der dokumentierte Bereich reicht von Beginn der jeweiligen Untersuchung bis zum 31.10.2002. Soweit besondere Informationen zu berücksichtigen sind, sind diese im Feld „Bemerkung“ niedergelegt (z.B. Hochrechnungen, Gründe für Ausfälle etc.). Darüber hinaus stehen allgemein gültige Anmerkungen in Kommentarfeldern, wie Excel sie anbietet. Soweit solche Kommentare zu berücksichtigen sind, stehen sie im Kopf der Datei am jeweiligen Parameter.

Fehlwerte wurden für die Beschaffenheitsdaten mit „-1“ belegt, für alle anderen Daten ist kein Eintrag realisiert.

Hinsichtlich der bodenchemischen Daten sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Ermittlung der Gesamtgehalte für die Waldstandorte mittels Königswasseraufschluss, für die Grünlandstandorte mittels Totalaufschluss erfolgte (s. dazu Kapitel 4.3.3.3).

Die im Text und in den Dateien des Anhangs verwendeten Bezeichnungen der Grundwassermessstellen orientieren sich aus historischen Gründen überwiegend an den „alten“ Messstellennummern und –bezeichnungen des Messnetzes Stoffeintrag – Grundwasser. Inzwischen sind die Messstellen in das Informationssystem Wasserwirtschaft (INFOWas) integriert, wo andere Nummern und Bezeichnungen verwendet werden. Im folgenden wird zum besseren Verständnis insbesondere auch für Mitarbeiter der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung eine Übersicht zu den verschiedenen Bezeichnungen der Messstellen gegeben:

Messstellennr. MSGw	Bezeichnung MSGw	Messstellennr INFOWas	Bezeichnung INFOWas
01013000	Spessart Gw 01	1131 6022 00016	SR/GW SPESSART 01
01023000	Spessart Gw 02	1131 6022 00017	SR/GW SPESSART 02
01033000	Spessart Gw 03	1131 6022 00018	SR/GW SPESSART 03
01043000	Spessart Gw 04	1131 6022 00054	SR/GW SPESSART 04
01313600	Metzenbachquelle	4120 6022 00011	Metzenbrunnen
01513600	WV Markth. Forstratsbrunnen	4110 6022 00002	Forstratsbrunnen
02013000	Bay. Wald Gw 01	1131 7046 00032	SR/GW BAY WALD 01
02023000	Bay. Wald Gw 02	1131 7046 00033	SR/GW BAY WALD 02
02113000	Bay. Wald Gw 21	1131 7046 00034	SR/GW BAY WALD 21
02323600	Quelle 32	4120 6022 00011	Markungsgraben Quelle 32
02513000	WV Waldhäuser	4110 6022 00002	Quelle Gahbauerquelle Waldhäuser
03013000	Fichtelgebirge Gw 01	1131 5837 00057	SR/GW FICHTELGEB. 01
03033000	Fichtelgebirge Gw 03	1131 5837 00059	SR/GW FICHTELGEB. 03
03053000	Fichtelgebirge Gw 05	1131 5837 00061	SR/GW FICHTELGEB. 05
03063000	Fichtelgebirge Gw 06	1131 5837 00062	SR/GW FICHTELGEB. 06
03323600	Schlöppnerbrunnen	4120 5837 00061	Schlöppnerbrunnen
03513000	WV Landschulheim	1230 5837 00091	altes Quellgebiet, Rohwasser
04013000	Ebersberger Forst Gw 01	1131 7837 00204	SR/GW EBE FO 01
04043000	Ebersberger Forst Gw 04	1131 7837 00048	SR/GW EBE FO 04
04213000	WV Anzing	4110 7837 00030	Brunnen II
05013000	Fohlenhof_VB9026	1131 7731 00267	Fohlenhof_VB9026
05513000	Flachbrunnen 714	4110 7631 00043	FLACHBRUNNEN 714 - Siebenbrunn
06013000	Innerhienthal N33	1131 7141 00100	Innerhienthal N33
06513000	WV Straubing: Brunnen 305	4110 7731 00025	Br 305-EG 3
08013000	WV Hemau: Br.II Birkenhof	4110 6936 00002	Brunnen II Birkenhof