

Vorwort

Im Laufe des Jahres 1998 erfolgten mehrere Informationstreffen und erste konzeptionelle Absprachen über ein gemeinsames Vorgehen im Rahmen des Forschungsprojektes „Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft“, einem Teilprojekt des BMBF - Forschungsschwerpunktes „Elbe Ökologie“ auf Initiative und unter Beteiligung der Projektleitung, Frau Mariele Evers und Dr. Johannes Prüter (NNA, Alfred Töpfer Akademie für Naturschutz, Schneverdingen/Bleckede) zwischen den Arbeitsgruppen der Universität Lüneburg, der Universität GH Kassel und der Arbeitsgruppe der Fachhochschule Nordostniedersachsen, Suderburg (FH NON), nachdem das Projekt im Herbst 1997 bereits an den Start gegangen war.

Um möglichst zügig an die Arbeiten der anderen Arbeitsgruppen anzuschließen, erfolgten im Frühjahr 1999 erste Geländearbeiten zur Bodenbeprobung. Grundwasser- und Bodenwassermessstellen wurden im Juni 1999 eingerichtet und das Analytikprogramm mit Bordmitteln der Abteilung Bodenkunde und Biologie der FH NON gestartet. Im Herbst 1999 wurde der zwischenzeitlich gestellte Aufstockungsantrag mit dem Ergänzungsprogramm der Universität Lüneburg und der Arbeitsgruppe der Fachhochschule Nordostniedersachsen, Suderburg bewilligt und das vollständige Untersuchungsprogramm zu standortökologischen Aufnahmen des Ist-Zustandes, mit Zeitverzögerung, ein Jahr vor Projektabschluss, begonnen.

Herr Bernd Redecker, Universität Lüneburg und Herr Christian Franke, Universität GH Kassel mit denen es enge fachliche Kooperation gegeben hat, haben die Einführung in das Untersuchungsgebiet und in die standortrelevanten Fragestellungen übernommen und sich auch häufig der Betreuung der sich über den Projektverlauf verändernden Arbeitsgruppe studentischer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei Geländearbeiten angenommen.

Mit Herrn Achim Sander, ARUM, (Arbeitsgemeinschaft Umwelt- und Stadtplanung, Hannover) entstand eine intensive Zusammenarbeit zum gemeinsamen Thema „Wasser und Boden“ in Bezug auf den Austausch von Daten, Quellen und die GIS-gestützte Datenverarbeitung sowie in Bereichen fachlicher Erörterung.

In die Projektarbeiten war ab Frühjahr 1999 Frau Christiane Hilmer, technische Mitarbeiterin im Labor für Bodenkunde und Biologie des Fachbereichs Bauingenieurwesen der FH NON in Suderburg, in besonderem Maße involviert. Frau Hilmer hat sich sowohl bei Geländearbeiten und Anleitung der studentischen Hilfskräfte als auch insbesondere in die Analytik mit präziser, zügiger Bearbeitung der oftmals stoßweise und in großer Zahl anfallenden Proben (Boden, pflanzliche Reste, Wasser) eingebracht. Ebenfalls hat sie mit großer Sorgfalt die laborinterne Datenhaltung, Datenpflege und Qualitätssicherung betreut.

Frau Imke Meyer, Chemikerin und Biologin, hat zu Beginn des Projektes über die Laufzeit von ca. einem Jahr sowohl im Gelände als auch im Labor und bei der Datenerfassung mitgearbeitet. In diesen Zeitraum fällt auch die Tätigkeit der Studierenden des Studienganges Umwelttechnik der FH NON in Suderburg, Frau cand. ing. Rebecca Bohn, Bettina Sternberg, Katherina Vollmering und Janine Perkowski, die über 1 1/2 Jahre hinweg die Oberbodenbeprobung unter teilweise ungünstigsten Witterungsbedingungen qualifiziert durchgeführt haben. Tanja Finzelberg, Suderburg unterstützte während ihres schulischen Betriebspraktikums im späten Frühjahr 1999 die Arbeitsgruppe bei den ersten Geländearbeiten.

Mit Beginn der Förderzeit des Projektes wurden Frau Dipl. Geol. Anne-Marie Heins, Hamburg und Frau Dipl.-Geol. Iris Weiß, Gartow, mit der geologisch-bodenkundlichen Kartierung der Auswahlbetriebsflächen beauftragt. Frau Weiß hat parallel dazu die Betreuung der Bodenwasser- und Grundwassermessstellen übernommen, während Frau Heins den fachlichen Teil der Bearbeitung des geologisch-bodenkundlichen Datenpools betreute und die Projektleiterin bei der Koordinierung von Gelände-, Labor- und Besprechungsterminen unterstützte.

Die Bohrungen zum Einbringen der Grundwasserbrunnen wurden unter Mitarbeit von Herrn Dipl.-Ing. Richard Matz, Vermessungsingenieur, FH NON Suderburg durchgeführt, der auch die Auswertung der Vermessungsdaten mitbetreut hat.

Die Vermessung der geologischen Bohrungen und der Grundwasserbrunnen wurde zunächst von Sven Brandes und cand. ing Philip Hein in Angriff genommen. Die Weiterführung der Vermessungsarbeiten und Darstellung von 3D Bildern des geologischen Aufbaus der Untersuchungsgebiete wie auch das Erstellen eines Querschnittsprofils durch die Elbtalaue bearbeiteten unter erheblichem zeitlichen Druck und mit großem Einsatz cand. ing. Mario Plath, Vermessungstechniker und cand. ing. Georg Kokai, FH NON, Suderburg. Die abschließende Darstellung der Bohrprofile mit dem Programm ProfilTec wurde von der Firma IGU (Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Umweltmanagement mbH, Uelzen) durchgeführt.

Die Anlage, Beschreibung und Beprobung der Schürfe führten cand. ing. Frank Möller, Arne Sparfeldt und Carsten Spellig, Studierende des Studienganges Umwelttechnik der FH NON Suderburg, auf teilweise durch Hochwasser noch stark durchfeuchteten Standorten und daher erschwerten Bedingungen im zeitigen Frühjahr 2000 sorgfältig und mit großem Engagement durch.

In die Laboranalytik waren neben Frau CTA Kerstin Lammers, Frau MTA Irmtraut Voß, Herr Dipl. Ing. J.-H. Voß und Frau Christiane Hilmer (FB Bauingenieurwesen), die für die Spezialanalytik zuständig waren, zur Unterstützung der Fachkräfte mit unterschiedlichen Schwerpunkten im Bereich der Routinepräparation und –analytik, weiterhin Frau cand.ing. Janina Neumann, Herr cand. ing. Rainer von Storch, Dipl.-Ing. agr. Thomas Beyene Gebrenegus, Dipl.-Ing. Ruben Romero und Dipl.-Ing. Carmen Camacho, FH NON, Suderburg, involviert.

Dipl.-Ing. agr. Waldo Serrudo und Dipl.-Ing. agr. Thomas Beyene Gebrenegus haben mit großem Engagement und Interesse für ein Thema aus dem Bereich des integrierten Flussgebietsmanagements mit den Themen ihrer MSc - Thesis: "Bearbeitung standortkundlicher Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes zur Ermittlung des pflanzenverfügbaren Wasservorrates und der Austragsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen in der Elbtalaue" (W.S. , FH NON, Suderburg 2000) und „Risk assessment of heavy metals in top soils and fodder plants of flood plains along the Middle Elbe River (Lower Saxony, Germany) (T.B.G., FH NON, Suderburg 2001) wichtige Beiträge zum Projekt geleistet. Sie wurden dabei zu Beginn ihrer Tätigkeit von Herrn Dipl.-Ing. Wilhelm Schaaf unterstützt, der als Mentor zur Verfügung stand.

In der Endphase der Berichterstellung unterstützten Dipl.-Ing. Susanne Lehwald und Dipl.-Ing. Max-R. Hahn, FH NON, mit wertvollen Beiträgen die Projektleitung und die engere Arbeitsgruppe im Bereich der Datenverarbeitung, Textgestaltung und Präsentation.

Herr Dipl. Ing. Christian Brenner-Herrenbrück ist seit Beginn des Jahres 2000 mit der Thematik der Erfassung der quantitativen und stofflichen Beschaffenheit der Wasserformen und der Datenverarbeitung der Wasserparameter befasst. Auch liegt bei ihm die gesamte Datensammlung und –pflege für diese Endberichtsabfassung.

Die wissenschaftliche Mitarbeiterin Frau Dipl.-Geol. Anne-Marie Heins und der wissenschaftliche Mitarbeiter Christian Brenner-Herrenbrück sind aufgrund ihrer ausgewiesenen fachlichen Ausrichtung und ihres Arbeitsschwerpunktes Koautoren dieses Forschungsberichtes.

Obwohl die Laufzeit des Projektes einschließlich der für die Auswertungsarbeiten verfügbaren Zeit relativ kurz war, konnten mithilfe der hier genannten Arbeitsgruppenmitglieder wichtige Datengrundlagen für das Projekt und interessante Ansätze für weitere Forschungsschwerpunkte (z.B. Schwermetallthematik) geschaffen werden.

Die Zusammenarbeit mit der zentralen Projektleitung und den Arbeitsgruppen aller Teilprojekte war inspirierend und stellt einen wesentlichen Bereich der Projekterfahrung für die Arbeitsgruppe der FH NON, Suderburg dar, wofür wir uns sehr herzlich bedanken.

Brigitte Urban

Suderburg, im März 2001

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Zielsetzung.....	1
2.	Allgemeiner Teil (Definitionen).....	4
2.1	Boden, Bodenparameter und Bewertung.....	4
2.1.1	Bodentyp.....	4
2.1.2	Bodenart.....	5
2.1.3	Humusgehalt und –qualität.....	8
2.1.3.1	Kohlenstoff/Stickstoff (C/N)-Verhältnis.....	9
2.1.4	pH-Wert.....	10
2.1.5	Kationenaustauschkapazität und Basensättigung.....	11
2.1.6	Dichte und Lagerungsdichte.....	12
2.1.7	Feldkapazität und Wasserdurchlässigkeit.....	12
2.1.8	Nährstoffe und Düngung.....	14
2.1.8.1	Nährstoffversorgung und –nachlieferung.....	14
2.1.8.1.1	Stickstoff.....	16
2.1.8.1.2	N-Düngung.....	17
2.1.8.2	Nährstoffauswaschung.....	18
2.1.9	Schadstoffe (Schwermetalle).....	18
2.2	Wasser.....	21
2.2.1	Wasserarten.....	21
2.2.1.1	Bodenwasser.....	23
2.2.1.1.1	Wassertransport im Boden.....	23
2.2.1.1.2	Erfassung von Bodenwasser.....	24
2.2.1.1.3	Qualität des Bodenwassers.....	24
2.2.1.1.4	Nährstoffe und Düngung.....	25
2.2.1.2	Grundwasser.....	26
2.2.1.2.1	Grundwasserstände.....	26
2.2.1.2.2	Qualität des Grundwassers.....	27
2.2.1.2.3	Qualität des Elbwassers.....	28
3.	Gebietsbeschreibung.....	30
3.1	Lage des Untersuchungsgebietes.....	30
3.2	Klima.....	30
3.3	Naturräumliche Gliederung.....	31
3.4	Schutzwürdigkeit (Flora und Fauna).....	32
3.5	Geologie und Bodentypen des Untersuchungsgebietes.....	32
3.5.1	Beschreibung des engeren Untersuchungsgebietes.....	32
3.5.1.1	Fluviatile Ablagerungen.....	33
3.5.1.2	Windablagerungen.....	34
3.5.1.3	Moorbildungen.....	34
3.5.1.4	Entwicklung der terrestrischen und semiterrestrischen Böden.....	34
3.6	Nutzung, Düngung und Kulturen.....	34
3.6.1	Nutzung der untersuchten Flächen.....	35
3.6.2	Düngung der untersuchten Flächen.....	35
3.7	Gewässernetz.....	36
3.8	Beschaffenheit des Elbwassers und der Elbsedimente im Untersuchungsgebiet.....	37
3.9	Vegetation.....	43

4.	Material und Methoden.....	44
4.1	Probennahme und untersuchte Parameter (Boden).....	44
4.1.1	Oberbodenbeprobung.....	44
4.1.2	Geologische Kartierung.....	45
4.1.3	Bodenkundliche Aufnahme, Beprobung und Beprobungstermine....	45
4.1.4	Labormethoden.....	46
4.2	Probennahme und untersuchte Parameter (Bodenwasser, Grundwasser).....	47
4.2.1	Beschaffenheit und Installieren der Brunnen und Saugkerzen.....	47
4.2.2	Probenahme an Brunnen und Saugkerzen.....	49
4.2.3	Labormethoden.....	51
4.3	Probenahme und untersuchte Parameter (Pflanzliche Masse der Grünlandstandorte).....	51
4.3.1	Beprobung.....	51
4.3.2	Parameter und Laboranalytik.....	51
4.4	Vermessung der geologischen Bohrpunkte und der Grundwasserbrunnen.....	52
5.	Darstellung der Ergebnisse.....	53
5.1	Boden.....	53
5.1.1	Untersuchungsziel.....	53
5.1.2	Flächenauswahl und Übersicht.....	53
5.1.3	Oberboden.....	56
5.1.4	Bodentypen und Geologie.....	57
5.1.5	Flächenspezifischer geologischer Schichtenaufbau und Ergebnisse der topographischen Erhebungen.....	59
5.1.6	Ergebnisse der Schürfgrubenuntersuchungen.....	87
5.1.7	Einzelergebnisse der Flächen.....	88
5.1.7.1	Nährstoffe, N _{min} -Gehalt, pH-Wert, Salzgehalt.....	89
5.1.7.2	Nitratauswaschungsgefährdung.....	101
5.1.7.2.1	Bestimmung der Bodenartenuntergruppe.....	102
5.1.7.2.2	Ermittlung der Daten zur Bewertung des Wasserspeichervermögen im effektiven Wurzelraum.....	102
5.1.7.2.3	Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) im effektiven Wurzelraum (We).....	102
5.1.7.2.4	Ermittlung des standortbezogenen effektiven Wurzelraums.....	103
5.1.7.2.5	Bestimmung des kapillaren Aufstiegs.....	107
5.1.7.2.6	Bestimmung des mittleren Grundwasserhochstands (MHGW) und Grundwassertiefstands (MNGW).....	107
5.1.7.2.7	Ermittlung des gesamten pflanzenverfügbaren Bodenwassers (Wpfl).....	109
5.1.7.2.8	Ermittlung der Sickerwasserrate (SR).....	111
5.1.7.2.9	Berechnung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF).....	115
5.1.7.2.10	Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (kf – Wert).....	118
5.1.7.2.11	Einschätzung der Denitrifikationskapazität.....	120
5.1.7.2.12	Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsgebiete.....	123
5.1.7.3	Schwermetallgehalte der Oberböden und des Grünschnitts.....	126
5.1.7.3.1	Ergebnisse der Schwermetallgehalte dreier Aufschluss- und Analytikverfahren der Oberböden und des Grünschnitts.....	126
5.1.7.4	Einstufung und Bewertung aller Bodenparameter.....	140
5.1.7.4.1	Kationenaustauschkapazität (KAK).....	140
5.1.7.4.2	Basensättigung.....	141
5.1.7.4.3	Dichte.....	141

5.1.7.4.4	pH-Wert.....	142
5.1.7.4.5	Humusgehalt.....	143
5.1.7.4.6	C/N-Verhältnis.....	143
5.1.7.4.7	Nährstoffgehalt.....	145
5.1.7.4.8	N _{min} -Gehalte.....	147
5.1.7.4.9	Wasserbindung und –speicherung, Auswaschungsgefährdung für Nitrat..	149
5.1.7.4.10	Schwermetallverbreitung.....	155
5.2	Bodenwasser und Grundwasser.....	161
5.2.1	Untersuchungsziel.....	161
5.2.2	Untersuchungsflächen und Untersuchungsparameter.....	161
5.2.3	Grundwasserganglinien und Niederschlagsgänge.....	166
5.2.4	Flächenspezifische Qualität des Bodenwassers und des Grundwassers.....	168
5.2.4.1	Betrieb 1, Fläche C5 S' Teil.....	169
5.2.4.2	Betrieb 1, Fläche C5 N' Teil.....	176
5.2.4.3	Betrieb 1, Fläche C7.....	182
5.2.4.4	Betrieb 1, Fläche C28 NE' Teil.....	188
5.2.4.5	Betrieb 4, Fläche R2a.....	194
5.2.4.6	Betrieb 4, Fläche R16a SW' Teil.....	200
5.2.4.7	Betrieb 4, Fläche R2d.....	206
5.2.4.8	Betrieb 4, Fläche R7.....	212
5.2.4.9	Betrieb 4, Fläche R32.....	218
5.2.4.10	Betrieb 2, Fläche Z111.....	224
5.2.4.11	Betrieb 2, Fläche Z464d.....	230
5.2.4.12	Betrieb 2, Fläche Z175.....	236
5.2.4.13	Betrieb 6, Fläche F8/4.....	242
5.2.4.14	Betrieb 6, Fläche F8/1.....	248
5.2.4.15	Betrieb 6, Fläche F8/3.....	254
5.3	Verknüpfung der Boden, Bodenwasser- und Grundwasser- daten mit Nutzungsarten und Überflutungsereignissen und Bewertung der Wasserparameter.....	260
6.	Diskussion und abschließende Bewertung.....	270
7.	Quellenverzeichnis.....	275

Anhang

Anhang 1:	Termine
Anhang 1.1:	Boden
Anhang 1.2:	Bodenwasser
Anhang 1.3:	Grundwasser
Anhang 2:	Analytik
Anhang 2.1:	Bodenanalytik
Anhang 2.2	Schwermetalle

Anhang 2.2.1	Boden
Anhang 2.2.2	Pflanzen
Anhang 2.3	Bodenwasseranalytik
Anhang 2.4	Grundwasseranalytik
Anhang 2.5:	Flächenbewertung
Anhang 2.6:	Wasserdaten
Anhang 3:	Bohrprofile

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Zusammensetzung der obersten 10 bis 15 cm eines Bodens (aus: WILD 1995: 40).....	4
Abb. 2.2:	Bodenartendiagramm der Bodenartenuntergruppen des Feinbodens (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 134).....	6
Abb. 2.3:	Unterteilung der Bodenartenuntergruppe „reiner Sand“ (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 137).....	8
Abb. 2.4:	Stickstoffkreislauf in landwirtschaftlich genutzten Böden (aus: KUNTZE et al. 1994: 136).....	16
Abb. 2.5:	Schwermetalllöslichkeit- und Bindung in Böden steuernde Prozesse (aus: OSTERGAARD-HANSEN 1997).....	19
Abb. 2.6:	Wege des Wassers im Boden (aus: RÜTHNICK 1999).....	22
Abb. 3.1:	Abfluss der Elbe - monatliche Mittelwerte (aus: DIERKING 1992: 13, verändert).....	37
Abb. 3.2:	Verlauf ausgewählter Nährstoffparameter während eines typischen Jahres (1992) (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 72).....	39
Abb. 3.3:	Verlauf der Spurenmetallgehalte im Elbwasser der Jahre 1984-1997 (unfiltrierte Probe) (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 74).....	41
Abb. 4.1:	Vorgehen bei der geologisch-bodenkundlichen Bearbeitung.....	44
Abb. 4.2:	Vorgehen bei der hydrologischen Bearbeitung.....	48
Abb. 4.3:	Saugkerze vom Typ 1 (links) und Typ 2 (rechts).....	49
Abb. 5.1:	Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen von Betrieb 1.....	59
Abb. 5.2:	Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen von Betrieb 4.....	60
Abb. 5.3:	Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen von Betrieb 2.....	61
Abb. 5.4:	Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen von Betrieb 6.....	62

Abb. 5.5:	Tiefenprofil 12b - Fläche C1f.....	63
Abb. 5.6:	Tiefenprofil 14b – Fläche C5 S' Teil.....	64
Abb. 5.7:	Tiefenprofil 15b – Fläche C5 N' Teil.....	65
Abb. 5.8:	Tiefenprofil 10a – Fläche C6.....	66
Abb. 5.9:	Tiefenprofil 16a – Fläche C7.....	67
Abb. 5.10:	Tiefenprofil 13c – Fläche C28.....	68
Abb. 5.11:	Räumliche Verbreitung der geologischen Schichtglieder im Gebiet des Auswahlbetriebes 1 (Blockbild).....	68
Abb. 5.12:	Tiefenprofil 9b – Fläche R9.....	69
Abb. 5.13:	Tiefenprofil 3b – Fläche R1.....	70
Abb. 5.14:	Tiefenprofil 2a – Fläche R2a.....	71
Abb. 5.15:	Tiefenprofil 5a – Fläche R2c.....	72
Abb. 5.16:	Tiefenprofil 4a – Fläche R16a.....	73
Abb. 5.17:	Tiefenprofil 6a – R2d.....	75
Abb. 5.18:	Tiefenprofil 8b – Fläche R7.....	76
Abb. 5.19:	Tiefenprofil 1d – Fläche R32.....	77
Abb. 5.20:	Räumliche Verbreitung der geologischen Schichtglieder im Gebiet des Auswahlbetriebes 4 (Blockbild).....	78
Abb. 5.21:	Tiefenprofil 17c – Fläche Z111.....	79
Abb. 5.22:	Tiefenprofil 19c – Fläche Z464d.....	80
Abb. 5.23:	Tiefenprofil 18c – Fläche Z175.....	81
Abb. 5.24:	Tiefenprofil 22b – Fläche Z300.....	82
Abb. 5.25:	Tiefenprofil 21c – Fläche Z323.....	83
Abb. 5.26:	Tiefenprofil 20a – Fläche Z322.....	84
Abb. 5.27:	Tiefenprofil 23e – Fläche F8/1.....	85
Abb. 5.28:	Räumliche Verbreitung der geologischen Schichtglieder im Gebiet des Auswahlbetriebes 6 (Blockbild).....	86
Abb. 5.29:	Nährstoffgehalte der Fläche C1f (Probe 2).....	89
Abb. 5.30:	N _{min} -Gehalte der Fläche C1f (Probe 2).....	89

Abb. 5.31:	Nährstoffgehalte der Fläche C5 (Probe 3).....	90
Abb. 5.32:	N _{min} -Gehalte der Fläche C5 (Probe 3).....	90
Abb. 5.33:	Nährstoffgehalte der Fläche C28 (Probe 10).....	91
Abb. 5.34:	N _{min} -Gehalte der Fläche C28 (Probe 10).....	91
Abb. 5.35:	Nährstoffgehalte der Fläche R9 (Probe 11).....	91
Abb. 5.36:	N _{min} -Gehalte der Fläche R9 (Probe 11).....	92
Abb. 5.37:	Nährstoffgehalte der Fläche R1 (Probe 12).....	92
Abb. 5.38:	N _{min} -Gehalte der Fläche R1 (Probe 12).....	92
Abb. 5.39:	N _{min} -Gehalte der Fläche R2a (Probe 14).....	93
Abb. 5.40:	Nährstoffgehalte der Flächen R2a (Probe 14) und R7 (Probe 19).....	93
Abb. 5.41:	Nährstoffgehalte der Fläche R2c (Probe 15).....	93
Abb. 5.42:	Nährstoffgehalte der Fläche R2d (Probe 18).....	94
Abb. 5.43:	Nährstoffgehalte der Fläche R16 (Probe 16).....	94
Abb. 5.44:	N _{min} -Gehalte der Fläche R16 (Probe 16).....	94
Abb. 5.45:	Nährstoffgehalte der Fläche R32 (Probe 20).....	95
Abb. 5.46:	N _{min} -Gehalte der Fläche R32 (Probe 20).....	95
Abb. 5.47:	N _{min} -Gehalte der Fläche Z111 (Probe 21).....	96
Abb. 5.48:	N _{min} -Gehalte der Fläche Z464d (Probe 22).....	96
Abb. 5.49:	N _{min} -Gehalte der Fläche Z175 (Probe 23).....	96
Abb. 5.50:	Nährstoffgehalte der Fläche Z111 (Probe 21).....	96
Abb. 5.51:	Nährstoffgehalte der Fläche Z464d (Probe 22).....	97
Abb. 5.52:	Nährstoffgehalte der Fläche Z175 (Probe 23).....	97
Abb. 5.53:	Nährstoffgehalte der Fläche Z300 (Probe 24).....	97
Abb. 5.54:	N _{min} -Gehalte der Fläche Z300 (Probe 24).....	98
Abb. 5.55:	Nährstoffgehalte der Fläche Z323 (Probe 26).....	98
Abb. 5.56:	N _{min} -Gehalte der Fläche Z323 (Probe 26).....	98
Abb. 5.57:	Nährstoffgehalte der Fläche Z322 (Probe 27).....	99

Abb. 5.58:	N _{min} -Gehalte der Fläche Z322 (Probe 27).....	99
Abb. 5.59:	Nährstoffgehalte der Fläche F8/2 (Probe 31).....	100
Abb. 5.60:	N _{min} -Gehalte der Fläche F8/2 (Probe 31).....	100
Abb. 5.61:	Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Abschätzung der Nitratauswaschungsgefährdung.....	101
Abb. 5.62 :	Die Bewertung der Cr- Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland.....	129
Abb. 5.63:	Die Bewertung der Cr- Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Acker.....	129
Abb. 5.64:	Die Bewertung der Ni - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland.....	130
Abb. 5.65:	Die Bewertung der Ni - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Acker.....	130
Abb. 5.66:	Die Bewertung der Cu - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland.....	131
Abb. 5.67:	Die Bewertung der Cu - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Acker.....	131
Abb. 5.68:	Die Bewertung der Zn - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland.....	132
Abb. 5.69:	Die Bewertung der Zn - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Acker.....	132
Abb. 5.70:	Die Bewertung der Cd - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwerten – Grünland.....	133
Abb. 5.71:	Die Bewertung der Cd - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Acker.....	133
Abb. 5.72:	Die Bewertung der Pb - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland.....	134
Abb. 5.73:	Die Bewertung der Pb - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Acker.....	134
Abb. 5.74:	Die Bewertung der Hg - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland.....	135
Abb. 5.75:	Die Bewertung der Hg - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Acker.....	135
Abb. 5.76:	Die Bewertung der As - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland.....	136
Abb. 5.77:	Die Bewertung der As - Konzentrationen nach BbodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Acker.....	136

Abb. 5.78:	Gesamtgehalt an Schwermetallen in Futterpflanzen (RFA).....	137
Abb. 5.79:	Berechneter Transfer-Koeffizient Boden-Futterpflanze.....	138
Abb. 5.80:	KAK und BS auf den Grünlandflächen.....	140
Abb. 5.81:	KAK und BS auf den Ackerflächen.....	140
Abb. 5.82:	Dichte der Grünlandflächen.....	141
Abb. 5.83:	Dichte der Ackerflächen.....	141
Abb. 5.84:	pH-Wert auf den Grünlandflächen.....	142
Abb. 5.85:	pH-Wert auf den Ackerflächen.....	142
Abb. 5.86:	pH-Wert auf den Grünlandflächen.....	143
Abb. 5.87:	Humusgehalte auf den Ackerflächen.....	143
Abb. 5.88:	C/N-Verhältnis auf den Grünlandflächen.....	144
Abb. 5.89:	C/N-Verhältnis auf den Ackerflächen.....	144
Abb. 5.90:	N _{min} -Gehalte auf den Grünlandflächen.....	148
Abb. 5.91:	N _{min} -Gehalte auf den Ackerflächen.....	148
Abb. 5.92:	Betriebsspezifische Einstufung der Auswaschungsgefährdung für Nitrat.....	149
Abb. 5.93:	Verteilung der Auswaschungsgefährdungsklassen im Untersuchungsgebiet.....	150
Abb. 5.94:	Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsflächen des Betriebes 1.....	151
Abb. 5.95:	Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsflächen des Betriebes 4.....	152
Abb. 5.96:	Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsflächen des Betriebes 2.....	153
Abb. 5.97:	Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsflächen des Betriebes 6.....	154
Abb. 5.98:	Schwermetallgehalte der Untersuchungsflächen des Betriebes 1.....	155
Abb. 5.99:	Schwermetallgehalte der Untersuchungsfläche des Betriebes 4.....	156
Abb. 5.100:	Schwermetallgehalte der Untersuchungsflächen des Betriebes 2.....	157

Abb. 5.101:	Schwermetallgehalte der Untersuchungsflächen des Betriebes 6.....	158
Abb. 5.102:	Grundwasserstände der Brunnen B 1 – B14 der untersuchten Flächen – Juni 1999 bis November 2000.....	167
Abb. 5.103:	Gebietsspezifischer Niederschlagsverlauf – Juli 1999 bis September 2000.....	167
Abb. 5.104:	Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	171
Abb. 5.105:	Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	172
Abb. 5.106:	Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)...	173
Abb. 5.107:	Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	174
Abb. 5.108:	Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	175
Abb. 5.109:	Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	177
Abb. 5.110:	Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	178
Abb. 5.111:	Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	179
Abb. 5.112:	Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	180
Abb. 5.113:	Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	181
Abb. 5.114:	Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14; pHWert,elektrische Leitfähigkeit (GW).....	183
Abb. 5.115:	Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14; Chlorid, Sulfat (GW).....	184
Abb. 5.116:	Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14; Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	185
Abb. 5.117:	Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14; Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	186

Abb. 5.118:	Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14; Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	187
Abb. 5.119:	Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	189
Abb. 5.120:	Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	190
Abb. 5.121:	Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	191
Abb. 5.122:	Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	192
Abb. 5.123:	Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	193
Abb. 5.124:	Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW).....	195
Abb. 5.125:	Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4; Chlorid, Sulfat (GW).....	196
Abb. 5.126:	Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4; Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	197
Abb. 5.127:	Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4; Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	198
Abb. 5.128:	Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4; Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	199
Abb. 5.129:	Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13; Brunnen 7; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	201
Abb. 5.130:	Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13; Brunnen 7; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	202
Abb. 5.131:	Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13; Brunnen 7; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	203
Abb. 5.132:	Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13; Brunnen 7; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	204
Abb. 5.133:	Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13; Brunnen 7; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	205
Abb. 5.134:	Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	207

Abb. 5.135:	Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	208
Abb. 5.136:	Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	209
Abb. 5.137:	Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	210
Abb. 5.138:	Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	211
Abb. 5.139:	Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	213
Abb. 5.140:	Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	214
Abb. 5.141:	Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	215
Abb. 5.142:	Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	216
Abb. 5.143:	Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	217
Abb. 5.144:	Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW).....	219
Abb. 5.145:	Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22; Chlorid, Sulfat (BW).....	220
Abb. 5.146:	Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22; Nitrat, Ammonium (BW).....	221
Abb. 5.147:	Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22; DOC, Phosphor (BW).....	222
Abb. 5.148:	Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22; Kalium, Calcium (BW).....	223
Abb. 5.149:	Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	225
Abb. 5.150:	Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	226
Abb. 5.151:	Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	227

Abb. 5.152:	Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	228
Abb. 5.153:	Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	229
Abb. 5.154:	Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	231
Abb. 5.155:	Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	232
Abb. 5.156:	Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	233
Abb. 5.157:	Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	234
Abb. 5.158:	Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	235
Abb. 5.159:	Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW).....	237
Abb. 5.160:	Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; Chlorid, Sulfat (BW, GW).....	238
Abb. 5.161:	Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	239
Abb. 5.162:	Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	240
Abb. 5.163:	Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	241
Abb. 5.164:	Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW).....	243
Abb. 5.165:	Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3; Chlorid, Sulfat (GW).....	244
Abb. 5.166:	Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3; Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	245
Abb. 5.167:	Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3; Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	246

Abb. 5.168:	Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3; Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	247
Abb. 5.169:	Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW).....	249
Abb. 5.170:	Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1; Chlorid, Sulfat (GW).....	250
Abb. 5.171:	Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1; Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	251
Abb. 5.172:	Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1; Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	252
Abb. 5.173:	Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1; Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	253
Abb. 5.174:	Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW).....	255
Abb. 5.175:	Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2; Chlorid, Sulfat (GW).....	256
Abb. 5.176:	Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2; Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW).....	257
Abb. 5.177:	Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2; Ortho-Phosphat, DOC (GW).....	258
Abb. 5.178:	Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2; Kalium, Magnesium, Phosphor (GW).....	259
Abb. 6.1:	Nitratauswaschungsgefährdung (-empfindlichkeit) der Auswahlbetriebe (ARUM 2001, verändert).....	270
Abb. 6.2:	Abschätzung der Auswaschungsgefährdung der im Gelände Untersuchten Flächen.....	271

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1:	Untersuchungsumfang zu den Schutzgütern Boden und Wasser, ihre Zuordnung zu Schutzziele und Funktionen im Naturhaushalt (Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Synthesebericht 2001:53).....	3
Tab. 2.1:	Grenzwerte der Bodenarten (Anteile der Fraktionen) (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 135).....	7
Tab. 2.2:	Untergliederung der Bodenartenuntergruppe „reiner Sand“ (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 136).....	8
Tab. 2.3:	Gehalt an organischer Substanz im Boden (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 108).....	9

Tab. 2.4:	Beurteilung der Humusqualität aufgrund des C/N-Verhältnisses (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 340, vereinfacht).....	9
Tab. 2.5:	Einstufung der Bodenreaktion (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 331).....	10
Tab. 2.6:	pH-Ziele der Ackerböden nach Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (aus: KUNTZE et al. 1994: 128, verändert und SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989: 123, ergänzt).....	11
Tab. 2.7:	Einstufung der KAK mitteleuropäischer Mineralböden (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 324).....	11
Tab. 2.8:	Beziehung zwischen pH-Wert (CaCl_2) und Basensättigungsgrad (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 339).....	12
Tab. 2.9:	Einstufung der Rohdichte trocken (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 127).....	12
Tab. 2.10:	Einstufung der Feldkapazität des oberen Bodenmeters (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung: 301).....	13
Tab. 2.11:	Durchlässigkeitsbeiwerte für Lockergesteine (aus: HÖLTING 1992: 104).....	13
Tab. 2.12:	Einstufung der Wasserdurchlässigkeit (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 306).....	14
Tab. 2.13:	Einstufung der Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18 130, TI. 1 (aus: HÖLTING 1992: 104).....	14
Tab. 2.14:	Richtlinien für die Düngung (aus: URBAN & HILMER 1998: 23-24, verändert), (LUFA Hameln 1995), Werte in mg / 100 ml Boden Probenahmetiefe: Acker 0-25 (30) cm, Grünland 0-10 cm P und K-Bestimmung nach CAL-Methode, Mg im Calciumchloridauszug.....	15
Tab. 2.15:	Düngermengen in Abhängigkeit vom Nährstoffentzug (E) durch Abfuhr der Erntegüter und der Gehaltsklasse des Bodens in kg/ha (aus: LUFA Augustenberg 2000).....	16
Tab. 2.16:	Gegenüberstellung normierter (Fraktion < 20 μm) Element- konzentrationen von Oberbodenproben (binnendeichs: Lenzen, aussendeichs: Pevestorf, Lütkenwisch, frische Sedimente) aus dem Bereich der unteren Mittelelbe bei Lenzen (Stromkilometer 472-484) (aus: SCHWARTZ 1999: 88).....	20
Tab. 2.17:	Häufige Nährionen-Konzentrationen in der Bodenlösung des Ap-Horizontes (aus: KUNTZE, ROESCHMANN & SCHWERDTFEGGER 1994).....	24

Tab. 2.18:	Bewertung des Gewässergefährdungspotentials anhand der potentiellen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser.....	25
Tab. 2.19:	Einstufung der Grundwasserstände (aus: KUNTZE, ROESCHMANN & SCHWERDTFEGGER 1994: 190).....	27
Tab. 2.20:	Grenzwerte nach TVO für chemische Stoffe (Stand: 05.12.1990)	.27
Tab. 2.21:	Grenz- oder Richtwerte nach der EU-Trinkwasserrichtlinie 1998	28
Tab. 2.22:	Jahresfrachten der Elbe - Jahre mit vergleichbarem Abfluss – Messstation Schnackenburg (Stromkilometer 474,5) (aus: ARGE 1998).....	29
Tab. 3.1 :	Klimadaten (mittlerer Niederschlag, potentielle Verdunstung) der Betriebe 4 und 6 (aus: Deutscher Wetterdienst).....	30
Tab. 3.2 :	Klimadaten (mittlerer Niederschlag, potentielle Verdunstung) des Betriebes 2 (aus: Deutscher Wetterdienst).....	31
Tab. 3.3 :	Klimadaten (mittlerer Niederschlag, potentielle Verdunstung) des Betriebes 1 (aus: Deutscher Wetterdienst).....	31
Tab. 3.4:	Flächengröße und überwiegende Nutzung der Naturräume (aus: REDECKER 2001).....	35
Tab. 3.5:	Düngemengen und Kultur 1999 der untersuchten Schläge (aus: ARUM 1999/2000).....	36
Tab. 3.6:	Mediane Elementkonzentrationen (Nährstoffparameter) im Wasserkörper am Messort Schnackenburg (Stromkilometer 474,5) in den Jahren 1984-1997 (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 79).....	38
Tab. 3.7:	Mediane Elementkonzentrationen ausgesuchter Schadstoffparameter im Wasserkörper (unfiltrierte Probe) am Messort Schnackenburg (Stromkilometer 474,5) in den Jahren 1984-1997 (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 80).....	40
Tab. 3.8:	Mediane Elementkonzentrationen frischer schwebstoffbürtiger Sedimente in der Fraktion < 20 µm am Messort Schnackenburg (Stromkilometer 474,5) für die Jahre 1986-1997 (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 81).....	42
Tab. 3.9:	Gegenüberstellung des Tongesteinstandards (TUREKIAN & WEDEPOHL 1971) mit den geogenen Hintergrundwerten des Elbestroms nach ARGE-Elbe (1997) und PRANGE (1997) (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 82).....	42
Tab. 3.10:	Mediane Elementkonzentrationen frischer schwebstoffbürtiger Sedimente in der Fraktion < 20 µm am Messort Schnackenburg im Jahr 1997 und geogene Hintergrundwerte (HGW) nach ARGE-Elbe und Anreicherungs-faktoren (AF) gegenüber den	

geogenen Hintergrundwerten (nach SCHWARTZ et al. 1999) sowie Zielvorgaben (ZV) der maximalen Elementkonzentration und Gewässergüteklasse (nach ARGE-Elbe) (aus: SCHWARTZ 1999: 85, verändert).....43

Tab. 4.1:	Parameter und Methoden der Boden- und Pflanzenanalytik.....	46
Tab. 4.2:	Parameter und Methoden der Wasseranalytik.....	51
Tab. 5.1:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 1).....	53
Tab. 5.2:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 4).....	54
Tab. 5.3:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 2).....	55
Tab. 5.4:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 6).....	56
Tab. 5.5:	Lage der Grundwasserbrunnen zur benachbarten Bohrung.....	62
Tab. 5.6:	Laborergebnisse der Mischproben.....	87
Tab. 5.7:	Wasserhaushaltsgrößen (FK, PWP, nFK und GVP) Betrieb 1.....	103
Tab. 5.8:	Bodenart, FKWe und nFKWe, Betrieb 1.....	104
Tab. 5.9:	Wasserhaushaltsgrößen (FK, PWP, nFK und GVP) Betrieb 4.....	104
Tab. 5.10:	Bodenart, FKWe und nFKWe, Betrieb 4.....	105
Tab. 5.11:	Wasserhaushaltsgrößen (FK, PWP, nFK und GVP) Betrieb 2.....	105
Tab. 5.12:	Bodenart, FKWe und nFKWe, Betrieb 2.....	106
Tab. 5.13:	Wasserhaushaltsgrößen (FK, PWP, nFK und GVP) Betrieb 6.....	106
Tab. 5.14:	Bodenart, FKWe und nFKWe, Betrieb 6.....	106
Tab. 5.15:	Kapillaraufstieg (Ka) , Betrieb 1.....	108
Tab. 5.16:	Kapillaraufstieg (Ka), Betrieb 4.....	108
Tab. 5.17:	Kapillaraufstieg (Ka), Betrieb 2.....	109
Tab. 5.18:	Kapillaraufstieg (Ka), Betrieb 6.....	109
Tab. 5.19:	Gesamtes pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl), Betrieb 1.....	110
Tab. 5.20:	Gesamtes pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl), Betrieb 4.....	111
Tab. 5.21:	Gesamtes pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl), Betrieb 2.....	112
Tab. 5.22:	Gesamtes pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl), Betrieb 6.....	113
Tab. 5.23:	Mittlerer Niederschlag und potentielle Verdunstung im Gebiet	

	der Betriebe 4 und 6 (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach; Niederschlag: 1985 –1996 (12 Jahre), Verdunstung: 1985-1999 (15 Jahre)).....	112
Tab. 5.24:	Mittlerer Niederschlag und potentielle Verdunstung im Gebiet von Betrieb 1 (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach; Niederschlag: 1985 –1990 und 1992-2000 (15 Jahre), Verdunstung: 1983-1999 (17 Jahre)).....	113
Tab. 5.25:	Mittlerer Niederschlag und potentielle Verdunstung im Gebiet von Betrieb 2 (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach; Niederschlag: 1985–2000 (16 Jahre), Verdunstung: 1985-1999 (15 Jahre)).....	113
Tab. 5.26:	Sickerwasserrate (SR) – Betrieb 1.....	113
Tab. 5.27:	Sickerwasserrate (SR)- Betrieb 4.....	114
Tab. 5.28:	Sickerwasserrate (SR)- Betrieb 2.....	114
Tab. 5.29:	Sickerwasserrate (SR)- Betrieb 6.....	114
Tab. 5.30:	Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) Betrieb 1.....	115
Tab. 5.31:	Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) Betrieb 4.....	116
Tab. 5.32:	Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) Betrieb 2.....	116
Tab. 5.33:	Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) Betrieb 6.....	116
Tab. 5.34:	Höhe und Bewertung der Austauschhäufigkeit (AF) des Bodenwassers in Abhängigkeit von der Sickerwasserrate (SR) und Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKWe) (aus: Bodenkundliche Pflichtenhefte, 1994).....	117
Tab. 5.35:	Einstufung der Austauschhäufigkeit (AF)- Betrieb 1.....	117
Tab. 5.36:	Einstufung der Austauschhäufigkeit (AF)- Betrieb 4.....	117
Tab. 5.37:	Einstufung der Austauschhäufigkeit (AF) – Betrieb 2.....	118
Tab. 5.38:	Einstufung der Austauschhäufigkeit (AF) – Betrieb 6.....	118
Tab. 5.39:	Wasserdurchlässigkeit (kf) und ihre Einstufung – Betrieb1.....	119
Tab. 5.40:	Wasserdurchlässigkeit (kf) und ihre Einstufung – Betrieb 4.....	119
Tab. 5.41:	Wasserdurchlässigkeit (kf) und ihre Einstufung- Betrieb 2.....	119
Tab. 5.42:	Wasserdurchlässigkeit- (kf) und ihre Einstufung – Betrieb 6.....	120
Tab. 5.43:	Abschätzung der Denitrifikationsbedingungen für wichtige mitteleuropäische Bodentypen (nach WENDLAND et al. 1993).....	121
Tab. 5.44:	Bestimmung der Denitrifikationskapazität (Nitratreduktaseaktivität)	

	der Standorte der Auswahlbetriebe (URBAN et al. 2001).....	122
Tab. 5.45:	Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung in Abhängigkeit von der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) und dem k_f -Wert.....	123
Tab. 5.46:	Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung– Betrieb1.....	124
Tab. 5.47:	Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung –Betrieb 4.....	124
Tab. 5.48:	Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung - Betrieb 2.....	125
Tab. 5.49:	Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung – Betrieb 6.....	125
Tab. 5.50:	Zusammenstellung der Einstufung der Nährstoffgehalte für 1999 und 2000.....	145
Tab. 5.51:	Übersicht über die r-Werte der physiko-chemischen Bodeneigenschaften und Gesamtgehalt an Schwermetallen unter Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen mobilem Anteil und Gesamtgehalt.....	158
Tab. 5.52:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 1) – Wasser.....	162
Tab. 5.53:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 4) – Wasser.....	162
Tab. 5.54:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 2) – Wasser.....	163
Tab. 5.55:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 6) – Wasser.....	164
Tab. 5.56:	Übersicht der untersuchten Flächen (Betriebe 1, 2, 4 und 6) und Kennzeichnung der Saugkerzen und Brunnen.....	164
Tab. 5.57:	Übersicht der im Boden- und Grundwasser untersuchten Parameter..	165
Tab. 5.58:	Übersicht der Grundwasserstände in den Brunnen B 1 – B14 der untersuchten Flächen.....	166
Tab. 6.1:	Berechnete Sickerwassermengen nach SERRUDO (2000).....	271
Tab. 6.2:	Phosphat- und Kalium-Gehalte im Oberboden in den Proben verteilt auf Naturräume (REDECKER 2001: 61).....	272
Tab. 6.3:	Geogene Hintergrundwerte (GHW) und Zielvorgaben (ZV) der maximalen Elementkonzentration in Sedimenten der Fraktion < 20 μm (nach ARGE-Elbe aus: SCHWARTZ 1999: 85, verändert).....	273
Tab. 6.4:	Geogene Hintergrundwerte (GHW) für Auensedimente/-böden (Fraktion < 20 μm) der Mittelelbe nach PRANGE et al. 1997 in KRÜGER et al. 1999).....	273

Fotos

Foto 4.1:	Niederbringen einer geologischen Bohrung neben einer Saugkerzenmessanordnung.....	45
Foto 4.2:	Saugkerzenbeprobung.....	50
Foto: 5.1:	Bodenprobenahme auf der Fläche R16a.....	73
Foto 5.2:	Bodenprobenahme auf der Fläche R2d.....	74
Foto 5.3:	Hochwasserereignis im Frühjahr 2000.....	169

1. Einleitung und Zielsetzung

Im Teilprojekt „**Untersuchungen zu nachhaltiger Bodennutzung und zum Grundwasserschutz im niedersächsischen Elbetal**“ werden der „Ist-Zustand“ der Ressourcen und Schutzgüter **Wasser und Boden** auf Acker- und Grünlandflächen von vier Auswahlbetrieben der Mittelelbe beschrieben und eine inhaltsstoffliche Charakteristik der Futterpflanzen im Hinblick auf ihre standörtlichen Verbreitungsschwerpunkte und ihren Futterwert erarbeitet.

Das Teilprojekt ist integrativer Bestandteil des vom BMBF geförderten Vorhabens „Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft“ Ziele, Instrumente und Kosten einer umweltschonenden und nachhaltigen Landwirtschaft.

Im Teilprojekt werden im wesentlichen schlagbezogene Daten über die Standortfaktoren: geologischer Deckschichtenaufbau, die Bodenbeschaffenheit und die Bodenwasser- und Grundwasserqualität erhoben und damit grundlegend zum Abiotikschutz beigetragen.

Das Bodenuntersuchungsprogramm zielt im wesentlichen auf Fragen der aktuellen Nährstoffversorgung und Beschaffenheit der Oberböden, das Verlagerungspotential (Nitratauswaschungsgefährdung), die Schwermetallgehalte- und Mobilität sowie auf die Darstellung der Filter-, Puffer- und Transformationseigenschaften des gesamten Bodenkörpers ab. Auftretende Belastungen werden aufgezeigt und mit dem Potential der Böden verglichen, um Stoffausträge in das Grundwasser zu vermeiden oder zu vermindern, beziehungsweise einen Schutz des Bodens und der Umwelt zu gewährleisten.

Die Untersuchungen werden unter Betrachtung des jeweiligen kleingebietstypischen hydrologischen Regimes, im Hinblick auf Wechselwirkungen zwischen den biotischen und abiotischen Kompartimenten von Testflächen unter unterschiedlicher landwirtschaftlicher Nutzung, ausgewertet. Insbesondere sollen Kenntnisse spezifischer Standortansprüche schutzwürdiger und schutzbedürftiger Pflanzengesellschaften des Auengrünlandes ermittelt und Daten zur Nährstoffcharakteristik von Standorten floristisch verarmter Bestände des Intensivgrünlandes einschließlich der Inhaltsstoffe des Schnittgutes gewonnen werden um Nutzungs- und Entwicklungspotentiale abzuschätzen.

Der Einfluß der Flusssdynamik auf den Grundwassergang und die Grundwasserqualität der Außendeich-, wie auch der deichbenachbarten Binnendeichstandorte, ist ebenso wie die Bodensickerwasserbeschaffenheit Untersuchungsgegenstand im Hinblick auf die Klärung der Frage nach Art- und Zustandekommen stofflicher Einträge/Gehalte in (Ober-)Böden.

Dabei gilt es, die gewonnenen Ergebnisse aus dem Teilprojekt kleinflächig, schlagbezogen zu beschreiben und Standortpotentiale für nachhaltige, angepasste Landnutzungsformen unter Berücksichtigung des Leitbildes Ressourcenschutz (Wasser und Boden, Tab. 1.1) aufzuzeigen, die den Kooperationspartnern des Forschungsprojektes einschließlich den kooperierenden Landwirten zur Verfügung gestellt werden.

Eine besonders enge Verzahnung und Zusammenarbeit ergibt sich mit den Teilprojekten der Forschungsthemen "Leitbilder und Maßnahmen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Boden- und Wasserressourcen im niedersächsischen Elbetal"- Konzepte zur Bewältigung landwirtschaftlich-naturschutzfachlicher Konfliktfelder in Auenökosystemen, ARUM, Hannover (ARUM 2001), „Schutzwürdigkeit und Schutzperspektiven der Stromtal-Wiesen an der unteren Mittelelbe“ der Universität Lüneburg“ (REDECKER 2001) und „Ertrag, Qualität und floristische Zusammensetzung von Grünlandvegetation an der Unteren Mittelelbe. Auswirkungen von Naturschutzmaßnahmen und Verwertungsoptionen“ der Gesamthochschule/Universität Kassel zu (FRANKE & SPATZ 2001)

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde das Leitbild „Nachhaltige Landwirtschaft“ (Leitbilddefinition ausführlich in: Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der

Landwirtschaft - Synthesebericht des Forschungsvorhabens 2001) hauptsächlich unter ökologischen Gesichtspunkten betrachtet, wobei die Gesichtspunkte Ökonomie und soziale Systeme als untrennbar in die Nutzung der Naturgüter impliziert aufgefasst werden müssen. Umweltschutzpolitische Orientierung gibt die AGENDA 21 (UNCED 1992) im internationalen Bereich vor, die von der Bundesregierung ausdrücklich gestützt wird (Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, BMU, 1997, 1998). Die drei Prinzipien, Vorsorgeprinzip, Verursacherprinzip und Kooperationsprinzip (siehe auch ARUM 2000) sind dabei als Grundlage für ein nachhaltiges Management definiert worden (BMU, 1997, 1998, UBA 1997):

- ▶ Die Nutzung erneuerbarer Naturgüter (...) darf auf Dauer nicht größer sein als ihre Regenerationsrate (...).
- ▶ Die Nutzung nicht erneuerbarer Naturgüter (..) darf auf Dauer nicht größer sein als die Substitution ihrer Funktionen (...).
- ▶ Die Freisetzung von Stoffen und Energie darf auf Dauer nicht größer sein als die Anpassungsfähigkeit der natürlichen Umwelt (...).
- ▶ Gefahren und unvermeidbare Risiken für den Menschen und die Umwelt durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden.

Nachhaltige Landnutzung des nicht erneuerbaren Naturgutes Boden bedeutet daher einerseits eine schonende, erhaltende landwirtschaftliche Nutzung ohne Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten für zukünftige Generationen und andererseits die Erhaltung der Multifunktionalität des Bodens (Bundesbodenschutzgesetz, 1999). Diese schließt die Vermeidung von Bodenverlusten, irreversiblen Stoffkontaminationen und anderen irreversiblen oder dauerhaften physikalischen, chemischen und biologischen Beeinträchtigungen der Böden, ein. Vielmehr ist die Bodensubstanz zu erhalten, eine günstige Bodenstruktur und das Filter-, Puffer- und Transformationsvermögen auch zum Schutz des Grundwassers zu fördern.

Das Naturgut Wasser ist im Gegensatz zur Ressource Boden bis zu einem gewissen Grad regenerierbar. Sowohl bezogen auf seine Quantität als auch Qualität sind Oberflächen- und Grundwasserbeschaffenheit getrennt zu betrachten. Bodeneigenschaften sowie Belastungen des Bodens üben einen unmittelbaren Einfluss insbesondere auf die Grundwasserwasserqualität aus. Als definiertes Ziel für die Grundwasserqualität des Untersuchungsgebietes gilt dabei im Hinblick auf die Nutzbarkeit des Naturgutes Wasser als Lebensgrundlage für den Menschen, das Erreichen von unbelasteten Grundwässern mit (mindestens) Trinkwasserqualität.

Die seit 1999 vorliegende Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) sieht zum Schutz der Wasserressource in verstärktem Umfang eine gemeinsame internationale Wasserpolitik vor, die auch ein länderübergreifendes Flussgebietsmanagement thematisiert, das am Beispiel der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) bereits in vielen Punkten realisiert wurde.

Ein Bezug zu anzustrebenden Güteparametern und Richt- und Grenzwerten der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist in dieser Untersuchung zusammen mit den nationalen Verordnungen und Regelwerken für das Naturgut Wasser hergestellt worden.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen vollständigen Überblick über die Untersuchungsgegenstände des Forschungsvorhabens (Tab. 1).

Tab. 1: Untersuchungsumfang zu den Schutzgütern Boden und Wasser, ihre Zuordnung zu Schutzziele und Funktionen im Naturhaushalt (Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Synthesebericht 2001:53)

2. Allgemeine Grundlagen und Definition

Untersuchungsgegenstände des Forschungsvorhabens	Ziele des Boden-/ Wasserschutzes	zugeordnete/ betroffene (Boden-) Funktionen
BESONDERE WERTE VON BODEN UND WASSER / BESONDERE BODENFUNKTIONEN		
Seltene Böden (regionaltypische Böden mit geringer Verbreitung)	Erhaltung der Pedo- und Geodiversität	Archivfunktion
Naturnahe Böden (Böden mit geringen Beeinträchtigungen)	Erhaltung von anthropogen weitgehend unbeeinflussten Böden, Referenzstandorte	Archivfunktion
Biotopentwicklungspotenzial (Böden mit besonderen Standorteigenschaften)	Erhaltung und Entwicklung von Böden mit extremen Eigenschaften (insbes. Wasser- und Nährstoffangebot)	Lebensraumfunktion
Böden mit hohem natürlichen Ertragspotenzial (besondere Bodenfruchtbarkeit)	Erhaltung von Böden mit hoher natürlicher Ertragsfähigkeit als Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft bei (potenziell) geringem Fremdmiteleinsatz	Produktionsfunktion
Grundwasserneubildung	Erhaltung von Böden mit hoher Grundwasserneubildungsrate und -qualität	Regelungsfunktion, Nutzungsfunktion
Retention	Rückhalt von Wasser und Stoffen in der Landschaft; Schutz vor Hochwässern	Regelungsfunktion, Pufferfunktion
Gewässer des Nds. Fließgewässerschutzsystems	Etablierung eines durchgängigen, repräsentativen Fließgewässersystems	Lebensraumfunktion
BEEINTRÄCHTIGUNGSRISIKEN VON BODEN UND WASSER / VON BODENFUNKTIONEN		
Erosionsgefährdung durch Wind und Wasser	Schutz von erosions- und verschlammungsgefährdeten Böden, Erhaltung der Bodensubstanz	Produktionsfunktion, Filter-, Puffer-, Transformationsfunktion, Lebensraumfunktion
Verdichtungsgefährdung	Schutz von verdichtungsgefährdeten Böden, Erhaltung der Bodenstruktur	Produktionsfunktion, Filter-, Puffer-, Transformationsfunktion, Lebensraumfunktion
Zersetzungs- und Sackungsgefährdung organischer Böden	Schutz vor der Zersetzung organischer Böden, Erhaltung der Bodensubstanz, Erhaltung der Wasseraufnahmekapazität der Böden als Regulator für den Landschaftswasserhaushalt, Erhaltung und Entwicklung der Funktion als Stoffsenke	Lebensraumfunktion; Archivfunktion, Filter-, Puffer-, Transformationsfunktion
Gefährdungen durch Schwermetalleinträge und -auswaschung (sorbierte Stoffe)	Schutz der Böden mit geringen Puffereigenschaften vor Einträgen, Erhaltung von Böden mit hohen Puffer- bzw. Bindungseigenschaften für Schwermetalle	Filter-, Puffer-, Transformationsfunktion, Lebensraumfunktion, Produktionsfunktion
Gefährdungen durch Einträge und Auswaschung organischer Schadstoffe (sorbierte Stoffe)	Schutz der Böden mit geringen Puffereigenschaften, Erhaltung von Böden mit hoher Bindungsstärke für organische Schadstoffe	Filter-, Puffer-, Transformationsfunktion, Lebensraumfunktion, Produktionsfunktion
Gefährdungen durch Auswaschung von Stickstoffverbindungen (Nitrat)	Schutz des Grundwassers, der Fließgewässer und der marinen Gewässer vor Nitateinträgen	Filter-, Puffer-, Transformationsfunktion, Nutzungsfunktion
<u>Anmerkungen:</u>		
<p>Nach § 2 Abs. 2 BBodSchG werden die Bodenfunktionen „Natürliche Funktionen“, „Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte“ sowie „Nutzungsfunktionen“ unterschieden und weiter differenziert. Dazu zählen auch wichtige Grundwasserschutz- und -erneuerungsfunktionen, denn zu berücksichtigen sind die vielfältigen Abhängigkeiten zwischen Boden- und Grundwasserschutz: Eine hohe Bindungsstärke von Böden für Schwermetalle kann bei entsprechenden Stoffeinträgen langfristig zur Gefährdung verschiedener Bodenfunktionen führen, bei deren Ausfall wiederum das Grundwasser gefährdet werden kann. Eine Reduzierung der Boden- und Grundwasserschutzproblematik auf monokausale Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge muss daher vermieden werden.</p>		

2. Allgemeine Grundlagen und Definitionen

2.1 Boden

Böden stellen ein äußerst komplexes System dar und sind ein Produkt vieler unterschiedlicher Faktoren. Als Boden wird die durch physikalische und chemische Verwitterungsvorgänge, biogene Umsetzungen und vielfältige Verlagerungsprozesse an der Erdoberfläche entstandene Lockererde über dem Gestein angesehen.

Die Entwicklung der Böden wird nach GANNSEN (in FELDMANN 1993: 1-2) vom Klima, dem Gesteinsuntergrund, der Vegetation, der Fauna, dem Relief, dem Zuschusswasser, der Zeit und dem wirtschaftenden Menschen bestimmt.

Der Boden ist Lebensraum der Bodentiere und Wurzelort sowie Nährstofflieferant der Pflanzen. Er setzt sich aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen zusammen. Die Abbildung 1 zeigt im Verhältnis die Bodenvolumina der festen Bodenbestandteile (mineralische Partikel und organische Substanz) sowie die von Wasser und Luft.

Böden können als Puffer gegenüber den verschiedensten Umwelteinflüssen wirken und Schadstoffe dauerhaft binden.

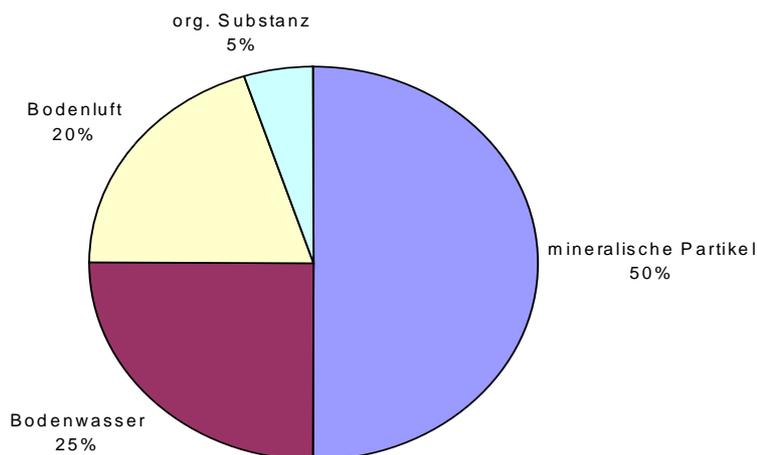


Abb. 2.1: Zusammensetzung der obersten 10 bis 15 cm eines Bodens (aus: WILD 1995: 40)

2.1.1 Bodentyp

Kennzeichnend für einen bestimmten Bodentyp ist der Profilaufbau, der den Entwicklungszustand eines Bodens aufzeigt. Durch die bodenbildenden Prozesse (BLUME 1992, KUNTZE et al. 1994):

- Verwitterung und Mineralneubildung,
- Zersetzung und Humifizierung,
- Gefügebildung und verschiedene Stoffumlagerungen

entstehen im Laufe der Zeit unterschiedliche Horizonte, die wiederum ein Bodenprofil bilden. In der Bundesrepublik Deutschland erfolgt eine systematische Zuordnung der Böden in Abteilungen, Klassen, Bodentypen und Subtypen (Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 170). Die Abteilungen werden nach ihrem Wasserregime unterschieden; terrestrische Böden außerhalb des Grundwassereinflusses, semiterrestrische Böden mit Einfluß von Grundwasser. Die Klassen und Bodentypen geben den Entwicklungszustand der Böden sowie die durch pedologische Prozesse hervorgerufenen morphologischen Merkmale wider. Bei den Subtypen werden die möglichen Kombinationen von Horizonten und Horizontfolgen aufgeführt.

Da die untersuchten Standorte im Elbetal liegen und überwiegend durch den Grundwasserspiegel beeinflusst werden, wird hier vorwiegend auf die semiterrestrischen Böden der Klassen der Auenböden und Gleye eingegangen.

Die Auenböden entstehen vornehmlich in den Auen der Flüsse und Bäche. Auen sind der regelmäßig bei Hochwasser überflutete Teil einer Flusslandschaft. Hinter Deichen gelegene Auenböden werden durch Qualmwasser überstaut. Ausgangsgesteine sind neben Schottern und Sanden die Auelehme, lößähnliche Hochflutsedimente, deren Zusammensetzung und Korngröße vom Einzugsgebiet des Gewässers abhängig ist (FELDMANN 1993: 109). Die Bodenentwicklung wird durch Sedimentation und/oder Erosion unterbrochen. Der typische Horizontaufbau eines Auenbodens vom Type der Vega (Braunauenboden): aAh/aM/(IIa/C)/(II)aG [a=Auendynamik, I=Lockergestein, h=humos, A=mineralisch organischer Oberbodenhorizont, M=Kolluvium bzw. hier sedimentierter Unterbodenhorizont, C= unverwittertes Gestein, durch II wird Substratwechsel gekennzeichnet, G= grundwasserbeeinflusster Horizont mit Hydromorphiemerkmalen, nach BKA4) weist in seinen beiden obersten Horizonten zusammen eine Profilmächtigkeit von über 40 cm auf. Nur in diesem Bodentyp steht das ansteigende Grundwasser langfristig unterhalb der Geländeoberfläche.

Gleye finden sich bei hochstehendem Grundwasser in Senken sowie Fluss- und Bachauen, wobei der mittlere Grundwasserspiegel höher als 80-100cm liegt. Die typische Horizontfolge für einen Gley lautet: Humushorizont (Ah), Oxidationshorizont (Go = rostfarben) und Reduktionshorizont (Gr = nass, grau-blauschwarz). Im Gegensatz zu den Auenböden weisen die Gleye redoximorphe Merkmale auf. Die Ausbildung der Gleye ist abhängig vom Rhythmus und Ausmaß der Grundwasserschwankungen sowie von der Fließgeschwindigkeit des Wassers und dessen Zusammensetzung (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998: 437). Zur Systematik semiterrestrischer Böden und Klassifikation der Auenböden mit Schwerpunkt auf Erfahrungen an der Mittelelbe kann auf jüngste Anmerkungen von WIECHMANN (1999) und Untersuchungen von SCHWARTZ (1999) und GRÖNGRÖFT & SCHWARTZ (1999) Bezug genommen werden.

2.1.2 Bodenart

Mit der Bodenart wird die Zusammensetzung des mineralischen Bodenmaterials aus den Korngrößen Sand, Schluff und Ton gekennzeichnet. Ein Gemisch aller drei Fraktionen wird bodenkundlich als Lehm bezeichnet. Die Körnung (=Bodenart) ist eine der wichtigsten Bodeneigenschaften, mit Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit (Erträge), die Filterung und Sorption von Stoffen und sehr wesentlich auf die Bodenentwicklung. Als physikalische Bodeneigenschaft bestimmt sie das Porenvolumen, die Porengrößenverteilung und damit maßgeblich den Bodenwasser- und Bodenluftgehalt.

Die mineralogische Zusammensetzung des mineralischen Bodenmaterials variiert sehr stark je nach Ausgangsmaterial, Transportmedium und Ablagerungsmilieu während der Lockergesteinsentstehung oder Bodenumlagerung. Während sich im Sand überwiegend

Quarze anreichern, besteht der windbürtige grobschluffige Löß aus Quarz, Carbonaten, Feldspäten, Glimmer und Tonmineralen (überwiegend Illit) und die gletscherbürtigen Moränenablagerungen vom Typ des Geschiebelehms stellen entkalkte Geschiebemergel, sandig-lehmige, ehemals demnach carbonatreiche Ablagerungen dar.

Die Körnung eines Bodens wird in zwei Hauptfraktionen, den Feinboden (Anteile < 2mm) und das Bodenskelett (Anteile > 2mm) untergliedert. Die Körnungsklassen des Feinbodens werden in Sand- (S), Schluff- (U), Lehm- (L), und Tonböden (T) untergliedert. Nach dem Anteil der Fraktionen werden die Bodenartenuntergruppen des Feinbodens weiter untergliedert, die in Tabelle 2.1 sowie in einem rechtwinkligen Dreiecksdiagramm (Abb. 2.2) dargestellt werden. Der Sand lässt sich nach seinen Fein-, Mittel- und Grobsandanteilen weiter differenzieren (vgl. Tab. 2.2 und Abb. 2.3). Diese Untergliederung und Abgrenzung zwischen den Kornklassen wurde in einer Weise vorgenommen, dass sie auch durch die sogenannte Fingerprobe im Gelände differenziert und determiniert werden kann (Bodenkundliche Kartieranleitung 1994).

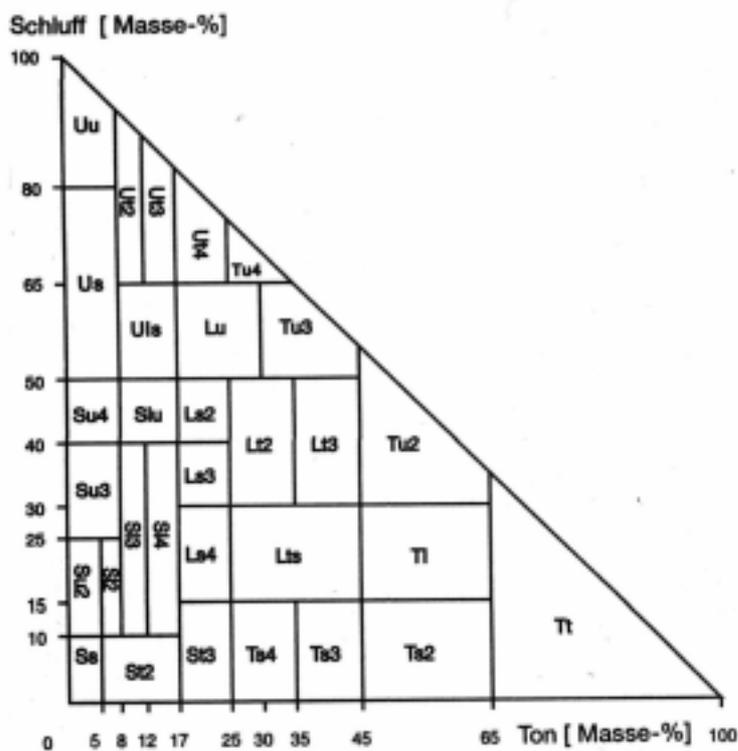


Abb. 2.2: Bodenartendiagramm der Bodenartenuntergruppen des Feinbodens (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 134)

Tab. 2.1: Grenzwerte der Bodenarten (Anteile der Fraktionen) (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 135)

Bodenartenuntergruppen	Kurzzeichen	Kornfraktion (Masse-%)		
		Ton	Schluff	Sand
reiner Sand	Ss	0 - 5	0 - 10	85 - 100
schwach schluffiger Sand	Su2	0 - 5	10 - 25	70 - 90
schwach lehmiger Sand	Sl2	5 - 8	10 - 25	67 - 85
mittel lehmiger Sand	Sl3	8 - 12	10 - 40	48 - 82
schwach toniger Sand	St2	5 - 17	0 - 10	73 - 95
mittel schluffiger Sand	Su3	0 - 8	25 - 40	52 - 75
stark schluffiger Sand	Su4	0 - 8	40 - 50	42 - 60
schluffig-lehmiger Sand	Slu	8 - 17	40 - 50	33 - 52
stark lehmiger Sand	Sl4	12 - 17	10 - 40	43 - 78
mittel toniger Sand	St3	17 - 25	0 - 15	60 - 83
schwach sandiger Lehm	Ls2	17 - 25	40 - 50	25 - 43
mittel sandiger Lehm	Ls3	17 - 25	30 - 40	35 - 53
stark sandiger Lehm	Ls4	17 - 25	15 - 30	45 - 68
schwach toniger Lehm	Lt2	25 - 35	30 - 50	15 - 45
sandig-toniger Lehm	Lts	25 - 45	15 - 30	25 - 60
stark sandiger Ton	Ts4	25 - 35	0 - 15	50 - 75
mittel sandiger Ton	Ts3	35 - 45	0 - 15	40 - 65
reiner Schluff	Uu	0 - 8	80 - 100	0 - 20
sandiger Schluff	Us	0 - 8	50 - 80	12 - 50
schwach toniger Schluff	Ut2	8 - 12	65 - 92	0 - 27
mittel toniger Schluff	Ut3	12 - 17	65 - 88	0 - 23
sandig-lehmiger Schluff	Uls	8 - 17	50 - 65	18 - 42
stark toniger Schluff	Ut4	17 - 25	65 - 83	0 - 18
schluffiger Lehm	Lu	17 - 30	50 - 65	5 - 33
mittel toniger Lehm	Lt3	35 - 45	30 - 50	5 - 35
mittel schluffiger Ton	Tu3	30 - 45	50 - 65	0 - 20
stark schluffiger Ton	Tu4	25 - 35	65 - 75	0 - 10
schwach sandiger Ton	Ts2	45 - 65	0 - 15	20 - 55
lehmiger Ton	Tl	45 - 65	15 - 30	5 - 40
schwach schluffiger Ton	Tu2	45 - 65	30 - 55	0 - 25
reiner Ton	Tt	65 - 100	0 - 35	0 - 35

2. Allgemeine Grundlagen und Definition

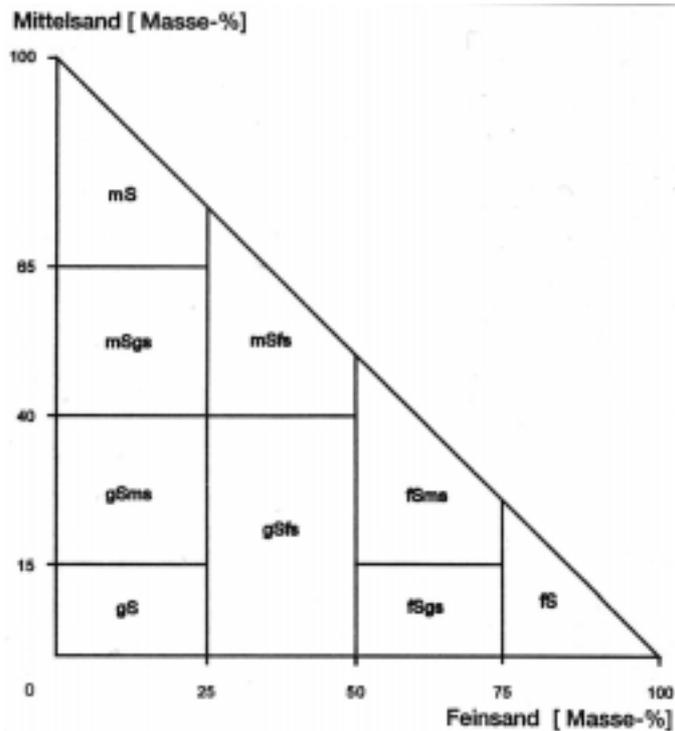


Abb. 2.3: Unterteilung der Bodenartenuntergruppe „reiner Sand“ (aus: *Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 137*)

Tab. 2.2: Untergliederung der Bodenartenuntergruppe „reiner Sand“ (aus: *Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 136*)

Bezeichnung	Kurzzeichen	Kornfraktion [Masse-%]		
		Feinsand	Mittelsand	Grobsand
Feinsand	fS	75 – 100	0 – 25	0 – 25
mittelsandiger Feinsand	fSms	50 – 75	15 – 50	0 – 35
grosbandiger Feinsand	fSgs	50 – 75	0 – 15	10 – 50
Mittelsand	mS	0 – 25	65 – 100	0 – 35
feinsandiger Mittelsand	mSfs	25 – 50	40 – 75	0 – 35
grosbandiger Mittelsand	mSgs	0 – 25	40 – 65	10 – 60
Grobsand	gS	0 – 25	0 – 15	60 – 100
feinsandiger Grobsand	gSfs	25 – 50	0 – 40	10 – 75
mittelsandiger Grobsand	gSms	0 – 25	15 – 40	35 – 85

2.1.3 Humusgehalt und -qualität

Humus bezeichnet die Gesamtheit aller organischen Substanzen im Boden, zu der auch alle sich in und auf dem Boden befindenden abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Reste sowie deren organische Umwandlungsprodukte gehören (u.a. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998: 45). Der Humusgehalt eines Bodens entsteht in Abhängigkeit der Umweltfaktoren

Klima, Gestein, Relief, menschliche Einflüsse aus der Produktion organischer Ausgangsstoffe, den Entzug durch die Ernte, die Umwandlung durch Verwesung sowie die Mineralisierung und Humifizierung. Im Schnitt liefern Laubwälder > Nadelwälder > Dauergrünland > Acker organische Substanz für die Humusbildung (KUNTZE et al. 1994: 100). Grünlandböden haben nach KUNTZE et al. (1994) im Ah-Horizont unter gleichen Standortbedingungen einen im Mittel doppelt so hohen Humusgehalt wie Ackerböden.

Dem Humus kommt als Bodeneigenschaft ähnlich der Bodenart große Bedeutung bei der Wasser- und Nähr- und Schadstoffspeicherung, sowie als Strukturverbesserer und Erosionsminderer zu. Gleichsam fungiert er als Nährstoffquelle und –depot.

Die makroskopisch unterschiedlichen Erscheinungsformen des Humus, die Humusformen werden als sogenannte aeromorphe Humusformen in Mull (typisch für frische, auch kalkreiche Laubwälder, Ackermull), Moder (Laubmisch- und Nadelwälder) und Rohhumus (Koniferen- und Ericaceae-reiche, stark versauerte Standorte) untergliedert.

Der Humusgehalt lässt sich anhand der im Labor ermittelten Werte für organischen Kohlenstoffgehalt durch Multiplikation mit dem Faktor 1,72 berechnen. Die Abstufung und Bezeichnung des Humusgehaltes erfolgt nach Tabelle 2.3.

Tab. 2.3: Gehalt an organischer Substanz im Boden (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 108)

Kurzzeichen	Masse-%	Bezeichnung
h0	0	humusfrei
h1	< 1	sehr schwach humos
h2	1 - 2	schwach humos
h3	2 - 4	mittel humos
h4	4 - 8	stark humos
h5	8 - 15	sehr stark humos
h6	15 - 30	äußerst humos
h7	> 30	organisch

2.1.3.1 Kohlenstoff/Stickstoff (C/N) –Verhältnis

Das C/N-Verhältnis charakterisiert die Aktivität des Abbaus durch Bodenmikroorganismen. Bei einem sehr engen C/N-Verhältnis werden die Kohlenstoffvorräte rasch aufgezehrt und Humusschwund kann auftreten. Liegt das C/N-Verhältnis zwischen 10 und 20 so läuft die Kohlenstoffmineralisation relativ schnell ab, bei darüber liegenden Werten ist der Kohlenstoffabbau gehemmt. Optimale Bedingungen für Ackerböden liegen bei einem C/N-Verhältnis von 10 bis 13 vor.

Über das C/N-Verhältnis lässt sich die Humusqualität beurteilen (Tab. 2.4). Je enger das C/N-Verhältnis ist, desto größer ist der Huminsäureanteil der organischen Substanz, dem eine sehr hohe Humusqualität entspricht. Sehr geringe Humusqualitäten liegen z.B. in Podsolen und Pseudogleyen vor (Stickstoffkreislauf s. Kap. 2.1.8).

Tab. 2.4: Beurteilung der Humusqualität aufgrund des C/N-Verhältnisses (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 340, vereinfacht)

Kurzzeichen	Bezeichnung	C/N-Verhältnis
hq1	sehr gering	> 25
hq2	gering	25 - 20
hq3	mittel	20 - 15
hq4	hoch	15 - 10
hq5	sehr hoch	< 10

2.1.4 pH-Wert

Der pH-Wert spiegelt die verschiedenen auf den Boden wirkenden Einflüsse (Klima, Ausgangsmaterial, Vegetation, Grundwasser, Düngung und andere anthropogene Eingriffe) wider. Normalerweise steigt er mit zunehmender Tiefe leicht an. Dies ist durch die mikrobielle Zersetzung der organischen Substanz im Oberboden zu erklären, bei der die meisten H^+ -Ionen entstehen. Weitere wesentliche Eintragsquellen für Protonen sind saure Niederschläge (SO_x , NO_x , CO_2 , Cl) und die mikrobielle Oxidation des Ammonium aus Düngern, der Atmosphäre sowie aus organisch gebundenem Stickstoff des Bodens. Der pH-Wert des Bodens beeinflusst ganz wesentlich ökologisch wirksame Bodeneigenschaften wie die Nährstoff- und Schadstoffverfügbarkeit, die Humifizierung, Mineralneubildung und Verwitterung, Eisen-, Aluminium- und Tonverlagerung und die biotische Aktivität. Der pH-Wert und die Ertragsleistung von Böden stehen in Beziehung zueinander aus der sich die anzustrebenden optimalen pH-Werte für Kulturböden herleiten lassen (siehe unten). Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die ökologisch wirksamen Bodeneigenschaften, wie die toxische Wirkung von Aluminium und Mangan, die Spuren- und Makronährstoffverfügbarkeit, die Mobilität von Schwermetallen sowie Humusmineralisation und Bodengefüge recht unterschiedlich auf pH-Veränderungen reagieren.

Im allgemeinen stellt der aktuelle pH-Wert die Protonenkonzentration der Bodenlösung in wässriger Lösung [$pH H_2O$] und der potentielle pH-Wert das Messergebnis der Wasserstoffionenkonzentration einer schwachen Salzlösung [$pH CaCl_2$] dar. Mit letzterem Messverfahren wird eine Bodenlösung simuliert, wie sie in landwirtschaftlich genutzten Böden des gemäßigt-humiden Klimatypes vorkommt und sich daher jahreszeitlich bedingte Schwankungen des pH-Wertes im Felde weniger stark ausprägen. Der pH-Wert [$CaCl_2$] liegt dabei um $0,6 \pm 0,2$ pH-Einheiten tiefer als der pH [H_2O].

Der pH-Wert wird in pH-Stufen (gemessen in $CaCl_2$, DIN 19 684 Blatt 1) nach Tabelle 2.5 angegeben.

Tab. 2.5: Einstufung der Bodenreaktion (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 331)

Kurzzeichen	Bezeichnung	pH-Bereich
a6	äußerst alkalisch	> 11
a5	sehr stark alkalisch	10 – 11
a4	stark alkalisch	9 – 10
a3	mittel alkalisch	8 – 9
a2	schwach alkalisch	7,5 – 8
a1	sehr schwach alkalisch	7 – 7,5
a0/s0	neutral	7
s1	sehr schwach sauer	7 – 6,5
s2	schwach sauer	6,5 – 6
s3	mittel sauer	6 – 5
s4	stark sauer	5 – 4
s5	sehr stark sauer	4 – 3
s6	äußerst sauer	< 3

Der optimale pH-Wert von Kulturböden wird in Abhängigkeit von der Bodenart und dem Humusgehalt nach Tabelle 2.6 festgelegt. Für Ackerböden ist die Spalte mit einem Humusgehalt von 0-4 % relevant.

Tab. 2.6: pH-Ziele der Ackerböden nach Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (aus: KUNTZE et al. 1994: 128, verändert und SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989: 123, ergänzt)

Bodenart	Tongehalt %	0-4 % org. Substanz	4-8 % org. Substanz	8-15 % org. Substanz
		pH (CaCl ₂)	pH (CaCl ₂)	pH (CaCl ₂)
Sand, Schluff	< 5	5,5	5,5	5,0
schwach lehmiger Sand, sehr schwach toniger Schluff	5-12	6,0	5,5	5,0
mittel lehmiger Sand, schwach toniger Schluff	12-17	6,5	6,0	5,5
schwach sandiger Lehm - reiner Ton; mittel toniger Schluff	>17	7,0	6,5	6,0

2.1.5 Kationenaustauschkapazität (KAK) und Basensättigung (BS)

Die Korngrößen eines Bodens bestimmen seinen Porenanteil und seine spezifische Oberfläche, die sich aus den Summen aller Grenzflächen (fest-flüssig und fest-gasförmig) ergibt. Die spezifische Oberfläche steigt mit dem Gehalt an Ton, aufweitbaren Mineralen und organischer Substanz. Je größer die spezifische Oberfläche, desto höher die Fähigkeit des Kationenaustausches. Die feinsten Teilchen, zu denen die Ton-Mineralen und die Humusstoffe gehören, sind in der Lage, Kationen ein- und anzulagern sowie mit dem Bodenwasser wieder auszutauschen. Dabei werden die Kationen durch H-Ionen ersetzt, wodurch der pH-Wert sinkt und sich der Säuregrad des Bodens erhöht. So können Verschiebungen zum sauren oder aber auch zum basischen Bereich abgepuffert werden (RICHTER 1992: 59), auf die besonders Pflanzen und Bodenorganismen empfindlich reagieren. Darüber hinaus findet Ionensorption an Al- und Fe(III)oxiden und Allophan statt. Die austauschbaren Kationen in Böden gehen nur durch Austausch gegen andere Kationen in die Bodenlösung über und sind auch nur dann von Pflanzen aufnehmbar oder können verlagert werden. Dem Kationenaustausch kommt für die Nährstoffversorgung der Pflanzen und den Stoffhaushalt eines Ökosystems damit besondere Bedeutung zu.

Die KAK gibt die Summe der austauschbar gebundenen Ca-, Mg-, Na-, K-, Al-, Fe- und H-Kationen eines Bodens an und wird in cmol_c/kg angegeben. Sie wird wie folgt nach Tabelle 2.7 eingestuft:

Tab. 2.7: Einstufung der KAK mitteleuropäischer Mineralböden (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 324)

Kurzzeichen	Stufen	KAK [cmol _c /kg Boden]
KAK1	sehr gering	< 4
KAK2	gering	4 - < 8
KAK3	mittel	8 - < 12
KAK4	hoch	12 - < 20
KAK5	sehr hoch	20 - < 30
KAK6	äußerst hoch	≥ 30

Der prozentuale Anteil der Summe der basischen Kationen (Ca, Mg, K, Na) an der KAK wird als Basensättigung (BS) bezeichnet. Die BS lässt sich näherungsweise auch vom pH-Wert ableiten und wird nach Tabelle 2.8 eingeteilt.

Tab. 2.8: Beziehung zwischen pH-Wert (CaCl₂) und Basensättigungsgrad (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 339)

Kurzzeichen	Bezeichnung	BS [%]	pH (CaCl ₂)
BS1	sehr basenarm	< 5	< 3,3
BS2	basenarm	5 - 20	3,3 – 3,8
BS3	mittelbasisch	20 - 50	3,8 – 4,8
BS4	basenreich	50 - 80	4,8 - 6
BS5	sehr basenreich bis basengesättigt	80 - 100	> 6

2.1.6 Dichte und Lagerungsdichte (Ld)

Die Dichte ist definiert als Masse pro Volumen mit der Dimension [g/cm³]. Die Dichte einzelner fester Bodenbestandteile beträgt: Quarz 2,65 g/cm³, Tonminerale 2,2-2,9 g/cm³, Schwerminerale 2,9-4 g/cm³ und organische Substanz 1,4 g/cm³.

Zur Messung der Rohdichte (synonym: natürliche Lagerungsdichte, Volumen-/Raumgewicht) eines Bodens (nach DIN 19 683 Blatt 12) werden Stechzylinderproben entnommen und bei 105°C getrocknet (Kap.4.1.4). Die Einstufung der Rohdichte trocken erfolgt nach Tabelle 2.9.

Tab. 2.9: Einstufung der Rohdichte trocken (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 127)

Kurzzeichen	Stufen	Rohdichte [g/cm ³]
pt1	sehr gering	< 1,25
pt2	gering	1,25 – 1,45
pt3	mittel	1,45 – 1,65
pt4	hoch	1,65 – 1,85
pt5	sehr hoch	> 1,85

Die effektive Lagerungsdichte von Mineralböden kann aus der Rohdichte trocken (pt) und dem Tongehalt in Masse-% (T) berechnet werden:

$$Ld = pt + 0,009 * T$$

Die Lagerungsdichte einzelner Aggregate kann beträchtlich höher als die Rohdichte des Gesamtbodens sein. Je größer der Wert ist, desto schlechter durchwurzelbar ist der Boden und die Wasserbewegung im Bodenprofil ist stark behindert. Im Gelände erfolgt die grobe Einstufung der effektiven Lagerungsdichte der einzelnen Horizonte anhand des Makro- und Makrofeingefüges sowie der Konsistenz, Rissbreite und des Makroporenanteiles.

2.1.7 Feldkapazität und Wasserdurchlässigkeit im gesättigten Boden

Die Wasserbindungsintensität eines Bodens ist im wesentlichen von seiner Porengrößenverteilung abhängig. Die Bindungsintensität des Wassers im Boden, die Saugspannung, kann als derjenige Druck definiert werden, der bei seiner Entwässerung überwunden werden muss. Aufgrund der im Boden vorkommenden großen Saugspannungsbereiche zwischen 0 und 1,5 MPa wird die Wasserspannung über den pF-Wert als dekadischer Logarithmus des jeweiligen Druckes (cm Wassersäule, WS) beschrieben.

Ein Boden hält im Zustand der Feldkapazität (pF 1,8-2,2) diejenige Wassermenge gespeichert, die er maximal gegen die Gravitation zurückhalten kann. Ab einer Wasserbindungsintensität von pF 4,2 (permanenter Welkepunkt) ist das Bodenwasser nicht mehr pflanzenverfügbar, respektive nur noch wenigen spezialisierten Pflanzen zugänglich.

Die bei pF 4,2 gebundene Wassermenge wird demzufolge auch als Totwasser bezeichnet. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) beschreibt die pflanzenverfügbare Wassermenge, die sich aus dem Wassergehalt eines Bodens bei Feldkapazität (pF 1,8) minus seinem Wassergehalt bei pF 4,2 ermitteln lässt.

Die Feldkapazität (FK) ist folglich ein Maß für die Fähigkeit des Bodens in Wasser gelöste Stoffe (z.B. Nitrate) zurückzuhalten (s. Kap. 5.1.7.2). Sie ist abhängig von der Bodenart, dem Humusgehalt und der Lagerungsdichte. Hohe Feldkapazitäten verhindern die Verlagerung derartiger Stoffe in den Untergrund.

Eine Einstufung der Feldkapazität des oberen Bodenmeters ist der Tabelle 2.10 zu entnehmen.

Tab. 2.10: Einstufung der Feldkapazität des oberen Bodenmeters (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung: 301)

Kurzzeichen	Bezeichnung	Feldkapazität		Beispiele für Bodenarten (mittlere eff. Ld)
		[l/m ³]	[Vol.-%]	
FK1	sehr gering	< 130	< 13	mS, gS
FK2	gering	130 - 260	13 - 26	fS, Sl2
FK3	mittel	260 - 390	26 - 39	Us, Ls3
FK4	hoch	390 - 520	39 - 52	Tu3, Lt2, Lt3, Lts
FK5	sehr hoch	> 520	> 52	Tu ₂

Die Durchlässigkeit eines Gesteins oder Bodens im wassergesättigten Zustand wird mit dem Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) angegeben. Die gesättigte Wasserbewegung tritt nur im Grund- und Stauwasser auf, im Wurzelraum herrscht andererseits meistens die ungesättigte Wasserbewegung vor (Infiltration). Der kf-Wert hängt von den Eigenschaften des Wassers (Dichte, Viskosität, Temperatur) und des Grundwasserleiters (Poren, Klüfte) ab. Er definiert die hydraulische Leitfähigkeit als Quotienten aus Filtergeschwindigkeit und zugehörigem Grundwasserspiegelgefälle.

Für Lockergesteine ergeben sich folgende Größenordnungen des Durchlässigkeitsbeiwertes (Tab 2.11):

Tab. 2.11: Durchlässigkeitsbeiwerte für Lockergesteine (aus: HÖLTING 1992: 104)

Bodenart	kf-Wert [m/s]
reiner Kies	10 ⁻¹ – 10 ⁻²
gS	um 10 ⁻³
mS	10 ⁻³ – 10 ⁻⁴
fS	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁵
Su	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁷
Ut	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁹
Tt	< 10 ⁻⁹

Die Körnung, die Gefügebildung und bei Torfen vor allem der Zersetzungsgrad sind wesentliche Einflussfaktoren der gesättigten Wasserbewegung. Die Einstufung der Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden erfolgt nach Tabelle 2.12.

Tab. 2.12: Einstufung der Wasserdurchlässigkeit (aus: Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 306)

Kurzzeichen	Bezeichnung	kf-Werte		Beispiele
		cm/d	cm/s	
kf1	sehr gering	< 1	< $1,16 \cdot 10^{-5}$	Sd-Horizonte, Knickhorizonte
kf2	gering	1 – 10	$1,16 \cdot 10^{-5}$ bis $1,16 \cdot 10^{-4}$	Sd-Übergangshorizonte, Sg-Horizonte, weniger ausgeprägte Knick- und Dwoghorizonte, stark zersetzte Torfe
kf3	mittel	10 – 40	$1,16 \cdot 10^{-4}$ bis $4,63 \cdot 10^{-4}$	schluffreiche tonarme Schichten, mittel zersetzte Torfe
kf4	hoch	40 – 100	$4,63 \cdot 10^{-4}$ bis $1,16 \cdot 10^{-3}$	Horizonte mit guter Gefügeentwicklung, fein- bis mittelkörnige Sande, mittel bis schwach zersetzte Torfe
kf5	sehr hoch	100 – 300	$1,16 \cdot 10^{-3}$ bis $3,47 \cdot 10^{-3}$	Horizonte mit sehr guter Gefügeentwicklung, mittelkörnige Sande, schwach zersetzte Torfe
kf6	äußerst hoch	> 300	> $3,47 \cdot 10^{-3}$	sehr schwach zersetzte Torfe, schilfdurchwurzelte Tone, Grobsande, Kiese

Eine Einstufung der Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18 130, Teil 1 zeigt Tabelle 2.13.

Tab. 2.13: Einstufung der Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18 130, TI. 1 (aus: HÖLTING 1992: 104)

Bezeichnung	kf-Wert [m/s]
sehr stark durchlässig	$> 10^{-2}$
stark durchlässig	$10^{-2} - 10^{-4}$
durchlässig	$10^{-4} - 10^{-6}$
schwach durchlässig	$10^{-6} - 10^{-8}$
sehr schwach durchlässig	$< 10^{-8}$

Dem Durchlässigkeitsbeiwert kommt bei der Abschätzung der Stoffverlagerungsrate zum Grundwasser für Bodentiefen unterhalb der Hauptdurchwurzelungszone (ca.10 dm unter Geländeoberfläche), neben der nFK und der FK ebenfalls eine wesentliche Bedeutung zu (s. Kap. 5.1.7.2).

2.1.8 Nährstoffe und Düngung

2.1.8.1 Nährstoffversorgung und -nachlieferung

Der Boden ist zum einen Wurzelort der Pflanzen, zum anderen versorgt er die Pflanzen mit Wasser, Sauerstoff, Wärme und Nährstoffen. Die Hauptnährelemente stellen Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Schwefel (S) dar, die Spurenelemente Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn), Kupfer (Cu), Bor (Bo), Molybdän (Mo) und andere. Pflanzenverfügbar sind die gelösten und die austauschbar gebundenen Nährionen. Ihre Verfügbarkeit hängt sehr wesentlich von der Bodenfeuchte und -wärme, von der Bodenacidität und dem Redoxpotential sowie ihrer Zugänglichkeit für Pflanzenwurzeln ab (BLUME 1992: 72).

Die Vorräte ergeben sich aus der Zusammensetzung von Mineralkörper und Humuskörper; sie werden durch Streufall und Niederschläge nachgeliefert, teilweise auch durch

Grundwasser ergänzt. Nährstoffentzüge finden durch Erntegut, Auswaschung (Versickerung), Erosion, Immobilisierung und Denitrifikation statt.

Die Notwendigkeit von Nährstoffersatz und –anreicherung durch eine gezielte Düngung für eine intensive Bodennutzung wurde von JUSTUS VON LIEBIG (in KUNTZE et al.1994: 201) erkannt. Die Düngung dient der Erzielung möglichst hoher Erträge und guter Qualitäten eines pflanzlichen Produktes, wobei die unterschiedlichen Ansprüche der Pflanzen und die unterschiedlichen Standortverhältnisse berücksichtigt werden müssen. Sie kann eine wichtige chemische, gefügebildende (Flockung) und –stabilisierende Maßnahme darstellen.

Dünger lassen sich in mineralische (anorganische) und organische Dünger (Mist, Jauche, Gülle) unterteilen; Mist besteht überwiegend aus Kot, Harn und Einstreu, Jauche besteht zu 50 % aus Harn, wohingegen der Übergang von Stallmist/Jauche als Gülle (Flüssigmist) bezeichnet wird (FINK 1989: 154-156).

Die aktuelle Nährstoffversorgung eines Bodens wird anhand von repräsentativen Mischproben bestimmt. Die dazu angewandten Labor-Methoden werden im Kapitel 4.1.4 aufgeführt. Die Einteilung der Gehaltsklassen (vgl. Tab. 2.14) erfolgt in den einzelnen Bundesländern unter Berücksichtigung der Ergebnisse langjähriger Eichversuche, wobei die Nutzung sowie zum Teil auch die Bodenart bzw. der Gehalt an organischer Substanz Berücksichtigung finden. Die mittlere Gehaltsklasse C entspricht einer optimalen Versorgungslage. Der Düngerbedarf entspricht dann dem mittleren Entzug der Ernteprodukte. Bei einer Einstufung in die Gehaltsklasse D, entspricht der Düngerbedarf nur der Hälfte des Entzuges. In der Gehaltsklasse E sollte auf eine Düngung verzichtet werden, da zusätzliche Düngergaben keine Ertragssteigerungen bewirken, sondern die Gefahr des Nährstoffaustrags in Grund- oder Oberflächenwasser erhöhen. Das Fehlen ausreichender Vorräte oder starke Nährstofffixierung liegen den Gehaltsklassen A und B zugrunde. Hier wird eine mehr oder weniger starke Aufdüngung empfohlen.

Tab. 2.14: Richtlinien für die Düngung (aus: URBAN & HILMER 1998: 23-24, verändert), (LUFA Hameln 1995), Werte in mg / 100 ml Boden; Probenahmetiefe: Acker 0-25 (30) cm, Grünland 0-10 cm; P und K-Bestimmung nach CAL-Methode, Mg im Calciumchloridauszug

Gehalts- klasse	Nährstoffver- sorgung des Bodens	Acker		Grünland
		P und K	Mg	P, K, Mg
A	niedrig	0-5	0-3	0-2
B	mittel	6-10		3-5
C	hoch (optimal)	11-15	4-6	6-10
D	sehr hoch	16-20	7-10	11-15
E	besonders hoch	über 20	über 11	über 15

Daraus ergeben sich die in Tabelle 2.15 aufgeführten Düngeempfehlungen der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) für Acker- und Grünlandflächen. Der Düngebedarf der Gehaltsklassen A und B entspricht demnach dem Nährstoffentzug (E) [kg/ha] + einem definierten Zuschlag [kg/ha]. Bei C wird der Nährstoffentzug mit dem Faktor 1 multipliziert, bei D mit dem Faktor 0,5 und bei E mit dem Faktor 0.

Tab. 2.15: Düngermengen in Abhängigkeit vom Nährstoffentzug (E) durch Abfuhr der Erntegüter und der Gehaltsklasse des Bodens in kg/ha (aus: LUFA Augustenberg 2000)

Gehaltsklasse		Ackerland			Grünland	
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	P ₂ O ₅ / K ₂ O	Mg
A	sehr niedrig	E+90	E+100	E+60	E+80	E+60
B	niedrig	E+40	E+50	E+30	E+40	E+30
C	anzustreben	E	E	E	E	E
D	hoch	E*0,5	E*0,5	E*0,5	E*0,5	E*0,5
E	sehr hoch	0	0	0	0	0

2.1.8.1.1 Stickstoff

Der Stickstoff nimmt unter den Nährstoffen eine Sonderstellung ein. Der N-Gehalt bestimmt maßgeblich den Ertrag, wobei der Stickstoffbedarf der Pflanzen im Vergleich zu den übrigen Makronährstoffen P, K und Mg am höchsten ist. Stickstoff ist aber auch der Nährstoff, der die größten Probleme hinsichtlich der Eutrophierung von Oberflächengewässern und der Belastung von Grundwasser bereitet.

Pflanzenwurzeln absorbieren Stickstoff als Ammonium und Nitrat.

Stickstoff gelangt über Düngemittel, Erntereste, Harnstoff, Niederschlag und trockene Deposition in den Boden. Stickstoffverluste entstehen durch den Pflanzenentzug, Auswaschung, Verflüchtigung, Denitrifikation und Erosion. Der N-Kreislauf in Kulturböden ist in Abbildung 2.4 schematisch dargestellt.

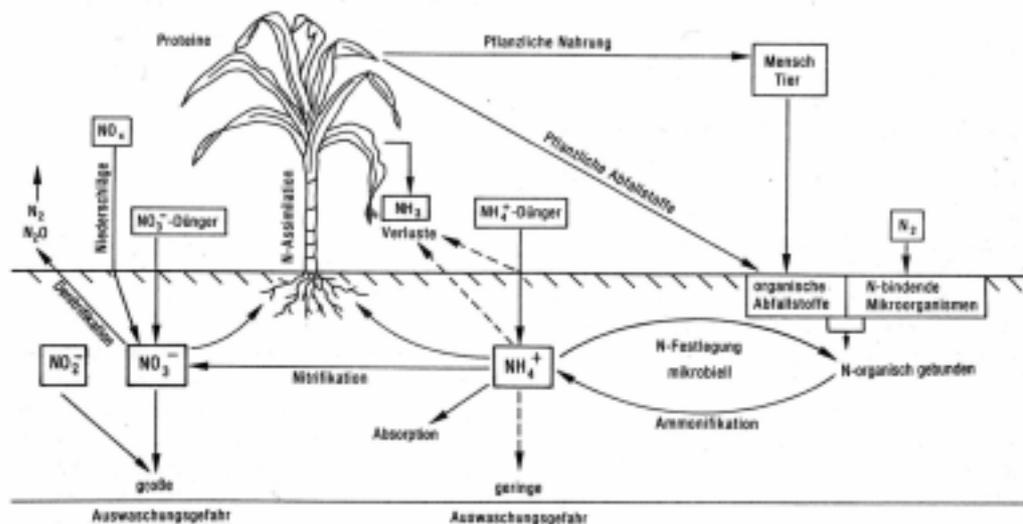


Abb. 2.4: Stickstoffkreislauf in landwirtschaftlich genutzten Böden (aus: KUNTZE et al. 1994: 136)

Der Boden enthält große Mengen organisch gebundenen Stickstoffs (> 95 %), der aus N-haltigen organischen Düngern, Ernterückständen, Pflanzenstreu, Huminstoffen, Biomasse und abgestorbenen Organismen herrührt. Der mittlere Gesamt-N-Gehalt von Mineralböden liegt dabei zwischen 0,3 und 0,03%. Aus dem organischen Stickstoffpool wird durch mikrobielle Umsetzungen ständig mineralischer Stickstoff als Ammonium freigesetzt. Die Mineralisation ist abhängig von diversen Umweltfaktoren (Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Nährstoffangebot und Zusammensetzung der Bodenluft). Das Ammonium kann direkt von der Pflanze aufgenommen oder an Bodenaustauschern fixiert werden. Das fixierte Ammonium

ist gegenüber Umsetzungsprozessen relativ stabil, stellt aber eine für die Pflanzen zugängliche N-Quelle dar (BAETHGEN & ALLEY; SCHERER in: BLUME 1992: 238). Das freie Ammonium wird bei geeigneten Voraussetzungen (feucht, gute Durchlüftung, pH-Wert 5,5-8, Temperaturen zwischen 15-35°C) mikrobiell zu Nitrat umgebildet. Unter optimalen Bedingungen kann die Nitrifikation innerhalb von 1-2 Wochen erfolgen (WILD 1995: 108). Das aus der Nitrifikation hervorgegangene oder durch Mineraldüngung zugeführte Nitrat liegt in belüfteten Böden in relativ hohen Konzentrationen in der Bodenlösung vor. Da die negativ geladenen NO_3^- -Ionen von den meisten Böden nicht adsorbiert werden, bleiben sie in der Bodenlösung, bis sie entweder von Pflanzenwurzeln aufgenommen werden oder durch Auswaschung und Denitrifikation verloren gehen. Denitrifikationsvorgänge (N_2 -Entbindung) erfolgen nur bei fast vollständiger Abwesenheit von Sauerstoff, bei Temperaturen $> 5^\circ\text{C}$ und pH-Werten über 6 (KUNTZE et al. 1994: 137). Die Reduktion der Nitrate zu N_2 sowie zu den metastabilen Zwischenprodukten NO_2^- , NO und N_2O kann in landwirtschaftlich genutzten Böden nach einer Nitrat-Düngung bei feuchten Witterungsverhältnissen zu beträchtlichen Verlusten an gasförmigem Stickstoff führen. Böden mit Grundwasseranschluss oder staunasse Böden weisen in Abhängigkeit der oben genannten Parameter sowie einer Kohlenstoffquelle hohe Denitrifikationsraten auf (s. Kap. 5.1.7.2).

2.1.8.1.2 N-Düngung

Die optimale Düngemenge für Stickstoff ist im Gegensatz zu den P, K und Mg-Nährstoffen sehr eng. Bei einem N-Überschuss leiden Ertrag und Qualität der Pflanzen und steigt die Auswaschungsgefahr, eine zu geringe Zufuhr kann Ertragseinbußen zur Folge haben. Hierzu ist es notwendig den ($\text{NO}_3 - \text{NH}_4$)-Vorrat im Boden zu kennen, der als N_{\min} -Vorrat bezeichnet wird. Er wird zum Vegetationsbeginn vor der N-Düngung im Wurzelraum gemessen. Der N_{\min} -Vorrat der Böden im Frühjahr ist von der Vorfrucht, Bodenart und dem Klima abhängig. Neben dem N_{\min} -Vorrat sind die Kultur, Zeit der Probenahme und Aufteilung der N-Düngung zu berücksichtigen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998: 277). Die zu düngende Stickstoffmenge ergibt sich aus der Differenz zwischen dem pflanzennutzbaren N_{\min} -Vorrat im Frühjahr und dem N-Entzug über das Erntegut. Bei einer hohen N-Nachlieferung sollten Zuschläge von bis zu 30 kg N_{\min} /ha vorgenommen werden (Landwirtschaftskammer Hannover). Eine hohe N-Nachlieferung liegt vor bei langjährig hoher Düngung, bei Leguminosenvorfrucht, bei Gemüsevorrucht oder bei Grünlandumbruch (in den letzten 5-7 Jahren).

2.1.8.2 Nährstoffauswaschung

Aus Sicht des Umweltschutzes stellt die Auswaschung von Nitrat das größte Problem dar. Gegen Anfang der 50er Jahre wurde der Verbrauch stickstoffhaltiger Düngemittel erhöht, woraufhin mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung ein entsprechender Anstieg der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser zu beobachten ist (BLUME 1992: 241). Ein Stofftransport ins Grundwasser erstreckt sich über einen Zeitraum von mehreren Jahren bis Jahrzehnten, so dass die Kontamination des gegenwärtig geförderten Trinkwassers in den meisten Fällen in den 60-70er Jahren erfolgt sein muss (BLUME 1992: 241). Mit Hilfe der N-Flächenbilanz lässt sich bestimmen, wie sich die Art der Nutzung auf die Nitrat auswaschung auswirkt (WENDLAND et al. 1993, HEIßENHUBER et al. 1994, BOUWER 1996). Unter der Berücksichtigung der Netto-Mineralisation, Immobilisation und Denitrifikation lässt sich der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers errechnen.

Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TVO) liegt bei 50 mg/l NO_3 .

Der überwiegende Teil der jährlichen Nitrat auswaschung erfolgt in der vegetationsfreien Zeit von Dezember bis März. Die Höhe der Nitratkonzentration ist abhängig von der Sickerwassermenge, der Bodenart, der Bodennutzung sowie der Düngung. Bei einer hohen

Sickerwassermenge verringert sich beispielsweise die Nitratkonzentration. Die Bodenart dagegen ist maßgeblich verantwortlich für die Verlagerung von Nitrat; mit zunehmender Korngröße nimmt der Nitrataustrag zu. Unter Wald und Grünland werden geringere Auswaschungsverluste registriert als unter Ackerland, was auf die Bodenbedeckung zurückzuführen ist. Nach einer Gülleausbringung beobachteten BÖHMER & WIESE sowie WANTULLA et al. (in BLUME 1992: 246) besonders hohe Nitratwerte. Des Weiteren bestimmt die Feldkapazität der Böden die Nitratverlagerung; je geringer die FK, desto höher ist die Nitratverlagerung. Hohe Feldkapazitäten und geringe Sickerwassermengen begünstigen den Rückhalt von Nitrat im Boden. Neben der Immobilisierung kann bei der Bodenpassage eine Denitrifikation für eine Konzentrationsabnahme des Nitrates verantwortlich sein.

Nitratquellen in der Landwirtschaft sind:

- Organische Dünger: der weitaus größte Teil des Stickstoffs liegt im Boden als organisch gebundener Stickstoff mit 900–9000 kg/ha in der Bodenkrume (0–20 cm) vor (FINK 1978). Pflanzen nehmen nur mineralischen, anorganisch gebundenen Stickstoff auf, der aus organisch gebundenem Stickstoff durch mikrobiologische Prozesse gebildet wird (HÖLTING 1992: 333).
- Mineralische Düngung (Nitrathaltige Salze)
- Ammoniakverflüchtigung (gasförmige Verluste von NH_4) in die Atmosphäre
- Ernterückstände, die zum Teil erhebliche Reststickstoffgehalte enthalten
- Beweidung

Die Gefahr von Nitratüberschüssen nimmt im allgemeinen in dieser Reihenfolge zu: Wald < Grünland < Ackerbau.

Ein Problem stellt die in warmen Wintern gegebene Mineralisierung der organisch gebundenen Stickstoffanteile mit deren anschließender Nitrifikation dar, da sie nur bedingt durch Dünger verursacht wird. Die jährliche Mineralisationsrate beträgt 1–3 % Humusabbau, woraus eine bereitgestellte N-Menge von etwa 10–300 kg/ha \times a resultiert (FINK 1978).

Die Nitratauswaschungsgefährdung ist für die Untersuchungsflächen des Projektes eingehend untersucht worden (SERRUDO 2001), Verfahrensschritte bei der Ermittlung und die flächenscharfe Einstufung werden in Kapitel 5.1.8.2 beschrieben.

Die Auswaschung von Phosphat aus dem Oberboden liegt nach übereinstimmenden Literaturangaben meist deutlich unter 1 kg P/ha und Jahr. Mit steigender P-Düngung nimmt die vertikale Verlagerung des Phosphats zwar zu, jedoch kann ein Einfluss der Düngung in der Regel nicht mehr festgestellt werden (MUNK bzw. RICHTER & KERSCHBERGER: in BLUME 1992: 246).

2.1.9 Schadstoffe (Schwermetalle)

Neben einem geogen im Ausgangssubstrat eines Bodens vorhandenen gesteinspezifischen Gehalt an Schwermetallen, dargelegt u.a. bei TUREKIAN & WEDEPOHL (1971), sind wichtige anthropogene Quellen und Eintragsarten die Düngung mit Sekundärrohstoffen und mineralischen Düngern, während in Flussgebieten Nutzungsarten flussaufwärts, wie Erzbergbau und die Einleitung kommunaler und industrieller Abwässer von großer Relevanz sind. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe trägt ebenfalls zur Verunreinigung der Atmosphäre mit Metallteilchen bei, die sich schließlich auf Landoberflächen absetzen und durch Denudationsvorgänge in die Oberflächengewässer gelangen können.

Im Hinblick auf den Stoffeintrag in Auenökosysteme sind besonders die Schadstoffkonzentrationen im Flusswasser und im frischen schwebstoffbürtigen Fließgewässersediment der regelmäßig eintretenden Überschwemmungen im Deichvorland ausschlaggebend (s. Kap. 3.8).

Das Löslichkeitsverhalten und damit die Pflanzenverfügbarkeit und die Auswaschungsgefährdung von Schwermetallen im Boden wird von Vorgängen und Eigenschaften wie Komplexbildung, Ausfällung und Rücklösung, Sorptions- und Desorptionsvorgängen bestimmt (vgl. Abb. 2.5). Eigenschaften wie Gehalt und Art der organischen Substanz, der pH-Wert, die chemische Beschaffenheit des Bodenwassers, das Redoxpotential, die Kationenaustauschkapazität, und die Bodenart bestimmen die Mobilität (Löslichkeit) und Bindung von Schwermetallen in einer Bodenwasserlösung. Umweltprobleme entstehen infolge der Nichtabbaubarkeit von Schwermetallen und ihrer toxischen Effekte auf Organismen, die sich im überwiegenden Fall bei Überschreiten einer gewissen Grenzkonzentration einstellen. Einige Schwermetalle neigen zu Bioakkumulation und können ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen, wenn sie in die Nahrungskette gelangen.

Speciation of heavy metals in a soil-water system

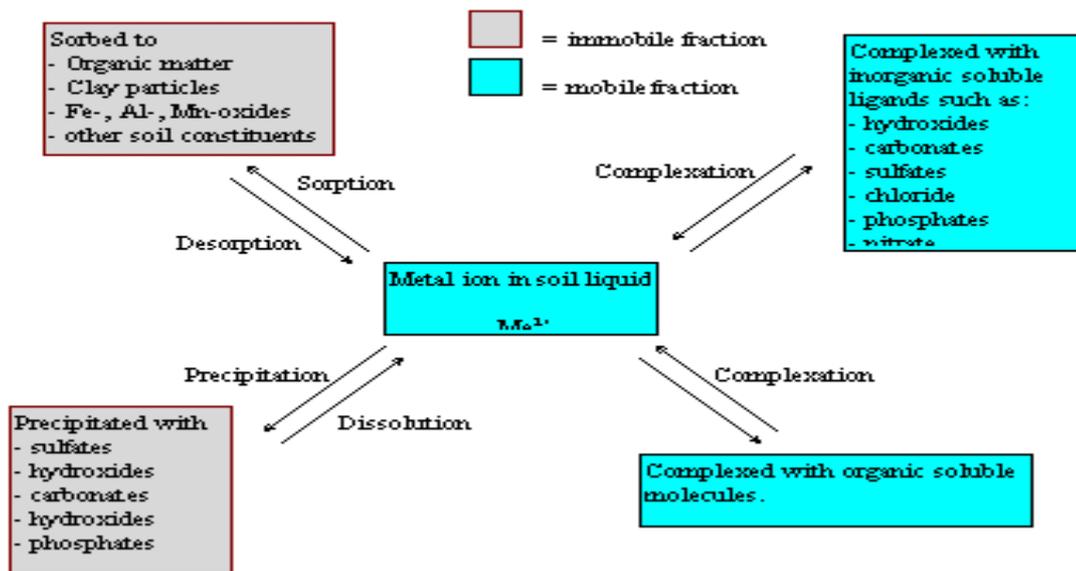


Abb. 2.5: Schwermetalllöslichkeits- und Bindung in Böden steuernde Prozesse (OSTERGAARD-HANSEN 1997)

Durch die Umwandlung vom fluviatilen Sediment zum Oberboden kommt es in Auensystemen zu einer relativen Anreicherung der Schwermetalle. Ein Vergleich von Oberbodenproben aus dem Jahr 1985 (im Pevestorfer Vordeichsland) und 1997 (im Lütkenwischer Vordeichsland) (s. Tab. 2.16) zeigt tendenziell eine langfristige Schadstoffminimierung für die meisten Elemente. Jedoch liegen die Elementgehalte im Oberboden aus dem aktuellen Binnendeichsareal bei Lenzen weit unterhalb derer der Außendeichsproben. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in dieser Untersuchung erzielt (Kap. 3.8; 5.1.8.3 und 5.1.8.4.10).

Tab. 2.16: Gegenüberstellung normierter (Fraktion < 20 µm) Elementkonzentrationen von Oberbodenproben (binnendeichs: Lenzen, aussendeichs: Pevestorf, Lütkenwisch, frische Sedimente) aus dem Bereich der unteren Mittelelbe bei Lenzen (Stromkilometer 472-484) (aus: SCHWARTZ 1999: 88)

Elementkonzentration in der Fraktion < 20 µm	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	[mg/kg]							
Lenzen (1997)	25,9	1,1	103	41	0,24	47	76	211
Pevestorf (1985)	137,4	14,7	291	311	n.b.	96	345	1652
Lütkenwisch (1997)	139,7	14,4	210	268	11,36	84	333	1523
frische Sedimente (1997-1998)	120,4	16,1	180	200	11,36	82	282	1537

2.2 Wasser

Neben den bedeutsamen geologischen Zusammenhängen, die gerade im Hinblick auf die Diskussion der Nutzung von Flächen und der Entwicklung von Leitbildern entscheidend sind, ist das Medium Wasser ein weiterer elementarer Bestandteil in der Betrachtung.

Unterhalb der Geländeoberkante spielen neben den geologischen Gegebenheiten vor allem die chemisch-physikalischen Prozesse im Wasser eine bedeutsame Rolle.

2.2.1 Wasserarten

Die im Boden vorhandenen Wasserarten werden auch im Hinblick auf die Funktionen des Bodenkörpers nachfolgend differenziert betrachtet.

Das in den Boden eindringende Wasser wird in verschiedene Wasserarten eingeteilt. Aufgrund der chemischen und physikalischen Gegebenheiten im Bodenraum wird das Wasser und dessen Bestandteile in unterschiedlicher Weise gebunden, abgeleitet, oder von Pflanzen aufgenommen. Für die nachstehende Abbildung 2.6 ist im Folgenden eine kurze Beschreibung der Wasserarten gegeben.

Adsorptionswasser

Das an den festen Bodenteilen durch Adsorptionskräfte (u.a. elektrostatische Kräfte) haftende Wasser. Es besteht aus einem Film aus Wassermolekülen.

Evaporation

Verdunstung von der Bodenoberfläche oder von freien Wasserflächen.

Evapotranspiration

Gesamtverdunstung, Summe aus Evaporation und Transpiration.

Geschlossener Kapillarraum

Raum über der Grundwasseroberfläche, in dem alle kapillaren Poren mit Wasser gefüllt sind.

Grundwasser

Grundwasser ist unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird. Die Hohlräume, die Grundwasser enthalten, können sehr verschiedene Größen besitzen. Es können Poren, Haarrisse oder Klüfte sein.

Haftwasser

Gesamtheit des Adsorptions- und hangenden Kapillarwassers, also das gegen die Schwerkraft festgehaltene Wasser.

Infiltration

Eintritt von Wasser in den Boden

Interflow

(Zwischenabfluss), unterirdischer Abfluss im wasserungesättigten Bodenbereich in Oberflächennähe.

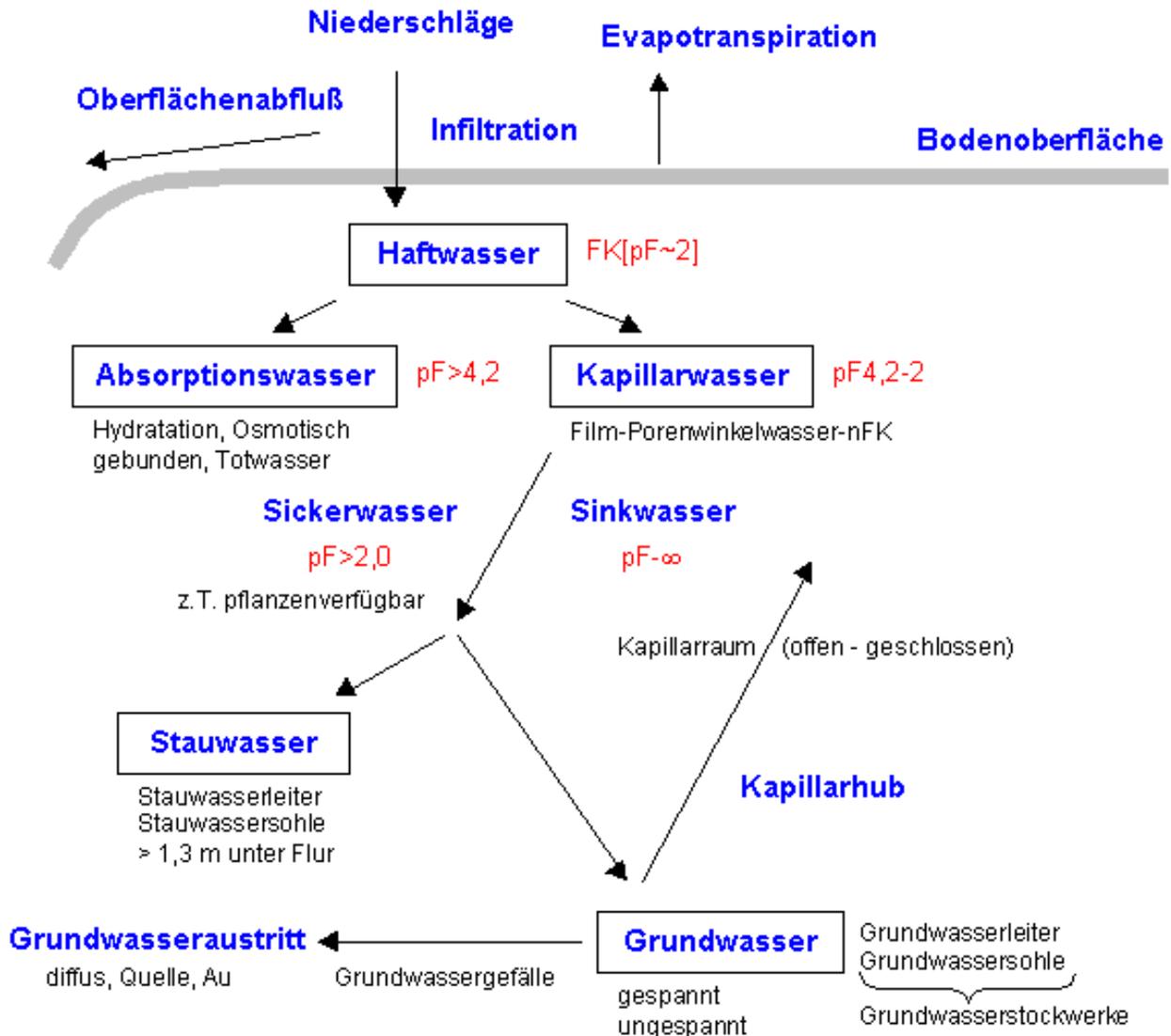


Abb. 2.6: Wege des Wassers im Boden (aus RÜTHNICK 1999)

Interzeption

Verdunstung von Niederschlagswasser, das an der Pflanzenoberfläche zurückgehalten wurde.

Kapillarwasser

Das im Porensystem des Bodens durch Herausbildung von Menisken haftende Wasser (=hängendes Kapillarwasser) und das aus dem Grundwasser ins Bodenporensystem aufsteigende Wasser (=stehendes Kapillarwasser).

Offener Kapillarraum

Untersuchungen zu nachhaltiger Bodennutzung und zum Grundwasserschutz im niedersächsischen Elbetal

2. Allgemeine Grundlagen und Definitionen

Raum über dem geschlossenen Kapillarraum, in dem nur ein Teil der kapillaren Poren mit Wasser gefüllt ist.

Sickerwasser

Das im Boden frei bewegliche Wasser. Es erreicht nach Niederschlägen innerhalb weniger Tage tiefere Bodenhorizonte bzw. den Untergrund.

Stauwasser

Das auf einer undurchlässigen oder wenig durchlässigen Sohle (z.B. verdichteter Horizont) im Boden befindliche, bewegliche Wasser.

Totwasser

Wasser, das mit höherer Spannung gehalten wird, als die Wurzeln landwirtschaftlicher Nutzpflanzen in der Regel entwickeln können.

Saugspannung von $pF > 4,2$ (Einheit: Masse-%, Vol.-%, mm/dm)

Transpiration

Verdunstung aus den Pflanzen.

2.2.1.1 Bodenwasser

Als Bodenwasser bezeichnet man den Wasseranteil, der durch Trocknung bei 105° C aus dem Boden entfernt werden kann. Das nach der Trocknung verbleibende Wasser ist Kristallwasser und wird zur festen Bodensubstanz gezählt.

Bodenwasser wird über Niederschlag, Grundwasser und Kondensation aus der Atmosphäre ergänzt. Neben den festen Bestandteilen, dem Mineralkörper und dem Humus, besteht der Boden aus einem Hohlräumssystem, das mit Wasser und Luft gefüllt ist. In Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften beeinflusst das Bodenwasser die chemischen, physikalischen und biotischen Prozesse. Böden wirken gegenüber Wasser als Speicher, Puffer, Filter und Austauschmedium. Der Wasserkreislauf in Böden hängt von verschiedenen Parametern ab.

2.2.1.1.1 Wassertransport im Boden

In einem Bodenraum ohne Zu- und Abfluß stellt sich oberhalb der Grundwasserlinie die Feuchteverteilung gemäß der Saugspannungskurve ein. Im allgemeinen findet ein Transport des Wasser bzw. der Bodenfeuchte im Bodenkörper statt, bis ein Gleichgewicht zwischen den Bindungskräften der Bodenpartikel und der auf das Wasser wirkenden Schwerkraft entstanden ist. Dieser Ausgleich bedarf einer Zeitspanne von mehreren Tagen oder Wochen. Da man in der Regel von permanent wechselnden Einwirkungen aus der Umgebung, z.B. Niederschlag, starke Sonneneinstrahlung etc. ausgehen kann, ist im teilgesättigten Boden von einem ständigen Wassertransport auszugehen (BLUME 1992).

Mit diesem ständigen Transport werden auch Nährstoffe und Schadstoffe transportiert. Der Bodenkörper bildet somit zwischen der Atmosphäre und dem Grundwasserkörper eine Schnittstelle, die sowohl Filterung, Ablagerung und Austausch von Stoffen ermöglicht.

2.2.1.1.2 Erfassung von Bodenwasser

2. Allgemeine Grundlagen und Definitionen

Zur Analyse von Bodenwasser kann mit Hilfe von Saugkerzen vorhandenes Bodenwasser erfasst werden. Die Installation und das Material der Saugkerzen wird in Kap. 4.2.1 genau beschrieben, die Probennahme in Kap. 4.2.2.

2.2.1.1.3 Qualität des Bodenwassers

Der Bodennährstoffhaushalt wird im allgemeinen durch die Angaben der Nährionen-Konzentrationen in der Ap-Bodenlösung angegeben. Das Bodenwasser stellt eine Art der Bodenlösung dar, daher können diese Angaben für eine Beurteilung des Bodenwassers herangezogen werden.

Die Qualität des Bodenwassers hängt stark von der Bodenart, der infiltrierten Wassermenge, den darin gelösten Nährstoffen und der Nutzungsart der Fläche ab. In den Kapiteln 2.1 ff. sind verschiedene Parameter des Bodens dargestellt worden. Ergänzend dazu sei hier eine der häufigen Nährionen-Konzentrationen in der Bodenlösung (Tab. 2.16) angegeben.

Tab. 2.17: Häufige Nährionen-Konzentrationen in der Bodenlösung des Ap-Horizontes (aus: KUNTZE, ROESCHMANN & SCHWERDTFEGER 1994)

Nährionen	Konzentrationen
Ca, Mg, NO ₃ , SO ₄	10-200 ppm
K	5-10 ppm
P	< 1 ppm
Spurennährelemente	< 0,1 ppm

Vier Nährstoffpools sind für die Nährstoffnachlieferung aus dem Boden maßgebend:

Mineralisch und organisch fest gebundene Nährelemente (nachlieferbare Reserve)

Nährelemente liegen in fester Bindung vor und können durch Verwitterung nur schwer freigesetzt werden.

Nachlieferbare Nährelemente

Schwächer gebundene Nährelemente, die leichter durch Verwitterung freigesetzt werden können. Auch durch z.B. die Ausscheidung von organischen Säuren von Pflanzen können Nährstoffe gelöst werden. Dadurch werden während der Vegetationszeit der Pflanzen allmählich Nährstoffe mobilisiert und pflanzenverfügbar.

Austauschbare Nährelemente

Kationen und Anionen, die an den Bodenpartikeln sorbiert sind und leicht gelöst werden können (Ionenaustausch).

Ungebundene Ionen in der Bodenlösung.

Dieser Teil ist sehr gering (ca. 1 - 10% der sorbierten Teile) und in der Bodenlösung frei beweglich.

Zwischen diesen vier Pools bestehen dynamische Gleichgewichtsreaktionen, d.h. die Umwandlung ist in beide Richtungen möglich. Generell fördert der Entzug von Nährstoffen die Mobilisierung und eine Düngung die Immobilisierung. Diese dynamischen Prozesse hängen natürlich auch von den chemisch-physikalischen Bedingungen im Boden ab.

2. Allgemeine Grundlagen und Definitionen

Da es einen derart starken Zusammenhang zwischen Boden und Bodenwasser gibt, können für das Bodenwasser keine bodenspezifischen Grenzwerte angegeben werden. Im allgemeinen werden die Grenzwerte der TVO (AURAND & HÄSSELBARTH) zur Bewertung herangezogen, da es sich bei Sickerwasser um das Wasser handelt, das das Grundwasser erreichen kann und die gelösten Stoffe ins Grundwasser transportiert.

Abhängig vom Verbleib des Bodenwassers, also der Wassermenge, die entweder als Sickerwasser ins Grundwasser abfließt oder durch den Kapillarhub im Bodenkörper verbleibt und den Pflanzen zur Verfügung steht, sollten standort- und stoffspezifisch noch weitere Orientierungswerte zur Einschätzung herangezogen werden. Bei sehr durchlässigen Böden sollte auf die TVO zurückgegriffen werden.

Zur Bewertung des Gewässergefährdungspotentials kann die Einstufung nach Frede und Dabbert (Handbuch zum Bodenschutz in der Landwirtschaft, 2. Auflage, 1999) herangezogen werden. Anhand der Tabelle 2.17 lässt sich aus gemessenen, langjährigen, mittleren NO_3^- -Konzentrationen des Sickerwassers das Gefährdungspotential des Grundwassers ableiten.

Tab. 2.18: Bewertung des Gewässergefährdungspotentials anhand der potentiellen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser

Gefährdungsklasse	Nitrat im Sickerwasser [mg/l]
sehr gering	< 15
gering	15 - < 25
mittel	25 - < 35
hoch	35 - < 50
sehr hoch	≥ 50

Bei der Bewertung der Nährstoffqualität müssen nutzungsbedingte Wertebereiche, geogene Gehalte und eventuelle Einträge durch das Grundwasser berücksichtigt werden. Erhöhte Salzkonzentrationen (z.B. Ca, SO_4 , Cl, Na, Mg) im Grundwasser einiger untersuchter Flächen resultieren möglicherweise aus den in der Region vorhandenen Salzstöcken. Ein Transport über das Grundwasser, mit verursacht durch ansteigendes Grundwasser, ist in diesen Fällen nicht auszuschließen, aber auch nicht eindeutig beweisbar.

2.2.1.1.4 Nährstoffe und Düngung

Grundsätzlich resultieren die Nährstoffe im Bodenwasser aus den chemisch-physikalischen Lösungs- und Bindungsprozessen im Boden (s. Kap. 2.2.1.1.3) und den Einträgen durch Infiltration und Düngung. Durch die Düngung werden Nährstoffe in den Boden und damit ins Bodenwasser eingebracht. Abhängig von der Bodenart werden die eingebrachten Nährstoffe unterschiedlich lange in der oberen oder mittleren Bodenschicht gehalten. Die Verweilzeit ist mit ausschlaggebend für die Umsetzung der Nährstoffe und Voraussetzung für die pflanzliche Aufnahme. Bindige Böden bieten diesen Prozessen wesentlich bessere Möglichkeiten als sandige Böden.

Beeinflusst werden die Nährstoffkonzentrationen durch Änderungen des pH-Wertes, Temperatur und des Druckes. Durch Einträge in den Bodenkörper, z.B. durch Düngung können die

2. Allgemeine Grundlagen und Definitionen

chemischen Gleichgewichte verschoben werden und eine stärkere Lösung oder Bindung der Nährstoffe begünstigen.

Andererseits können aber auch Stoffe durch aufsteigendes Grundwasser in den Bodenkörper eingetragen werden und zu Änderungen der Gleichgewichte führen. Dies ist besonders bei Hochwasserereignissen zu berücksichtigen, bei denen es zunächst zu aufsteigendem Grundwasser kommt und anschließend zu einer Überstauung der Fläche. Dieser Prozess ist im weiteren noch näher beschrieben.

Die einzelne Analyse des Bodenwassers ist daher in erster Linie eine Beschreibung der Gehalte gelöster Bodennährstoffe zum Zeitpunkt der Untersuchung, also auch der Überschüsse, die nicht im Boden gebunden oder von den Pflanzen aufgenommen werden können. Diese Nährstoffe können mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangen. Langfristige Analysen (Monitoring) können dagegen die Wirkung äußerer Einflüsse und die zeitlichen Verschiebungen wiedergeben, wodurch Informationen zur Verbesserung der Nutzungsart der Standorte erhalten werden.

2.2.1.2 Grundwasser

Als Grundwasser wird der Teil des Bodenwassers beschrieben, der sich ganzjährig über nicht durchlässigen Bodenschichten, z.B. Tonen, befindet oder nach DIN 4049 als *das die Boden- und Gesteinshohlräume zusammenhängend ausfüllende und der Schwerkraft unterliegende Wasser*.

Es wird auch als freies Wasser bezeichnet, also Wasser, das nicht durch Bindungen im Boden gehalten werden kann. Freies Wasser, das nur periodisch auftritt, nennt man Stauwasser.

2.2.1.2.1 Grundwasserstände

Der Grundwasserspiegel ist gleich der Grundwasseroberfläche, wenn das Grundwasser im hydraulischen Gleichgewicht ist. Ermittelt wird er in der Regel anhand des Pegelstandes in einem Brunnen, in dem sich das Grundwasser nach Druckausgleich befindet.

Die Einstufung der Grundwasserstände, also der Abstand unter der Geländeoberkante ist in Tabelle 2.18 angegeben.

Tab. 2.19: Einstufung der Grundwasserstände (aus: KUNTZE, ROESCHMANN & SCHWERDTFEGER 1994: 190)

Vorherrschende Höhe des Grundwasserstandes in dm unter GOK			Grundwasserstufe	Entwässerungsbedarf für landwirtschaftliche Nutzung
MHW	MGW	MNGW		
> GOK	< 2	< 4	sehr flach	+++
2 – GOK	2 – 4	4 – 8	flach	++
4 – GOK	4 – 8	8 – 13	mittel	+
4 – 8	8 – 13	13 – 16	tief	(+)
8 – 13	13 – 16	16 – 20	seht tief	-
13 – 16	16 – 20	> 20	sehr tief	-
16 – 20	> 20	> 20	äußerst tief	-

MHW = mittlerer Grundwasserhöchststand; MGW = mittlerer Grundwasserstand;
MNGW = mittlerer Grundwasserniedrigstand

2.2.1.2.2 Qualität des Grundwassers

Allgemein kann die Qualität des Grundwassers nach der Trinkwasserverordnung (TVO) bewertet werden. Im Rahmen dieses Projektes werden hier noch weitere Bewertungsdaten herangezogen. So stellen die Arbeiten der IKSE (Internationale Kommission zum Schutz der Elbe) und der ARGE-ELBE (Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe) eine wichtige Datengrundlage für die Bewertung des aktuellen Zustandes der Elbe und der Nebenflüsse, aber auch die Möglichkeit der Reflektion der Verbesserung der Wasserqualität der Elbe und der Elbsedimente innerhalb der letzten Jahre dar. In den nachfolgenden Tabellen 2.19 und 2.20 soll die Entwicklung der Verbesserung der Wasserqualität der Elbe und damit auch der angrenzenden Flüsse und Flächen dargestellt werden. Die an die Wasserqualität gestellten Anforderungen orientieren sich hierbei überwiegend an der TVO, in Einzelfällen auch an den von der WHO empfohlenen Werten. Die noch rechtswirksame TVO von 1990 ist in den weiteren Auswertungen und der anschließenden Diskussion der Ergebnisse die leitende Richtlinie. Die Grenzwerte nach der am 28. Mai 2001 verkündeten neuen TVO, die allerdings erst 2003 in Kraft treten wird, sind bei Abweichungen angegeben.

Tab. 2.20: Grenzwerte nach TVO für chemische Stoffe (Stand: 05.12.1990 und 01.2003)

Parameter	Dimension	Grenzwert (1990)	Grenzwert 2003
pH-Wert	-	6,5 bis 9,5	6,5 bis 9,5
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	2000	2000
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0,5	0,5
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	400	400
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	250	250
Kalium (K ⁺)	mg/l	12	12
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	2050	2050
Natrium (Na ⁺)	mg/l	150	150
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	50	50
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,1	0,5
Phosphor (PO ₃ ⁴⁻)	mg/l	6,7 (= 5 mg/l P ₂ O ₅)	6,7 (= 5 mg/l P ₂ O ₅)
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	240	240

Tab. 2.21: Grenz- oder Richtwerte nach der EU-Trinkwasserrichtlinie 1998

Parameter	Dimension	Grenzwert
pH-Wert	-	6,5 bis 9,5
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	2500
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0,5
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	-
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	250
Kalium (K ⁺)	mg/l	-
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	-
Natrium (Na ⁺)	mg/l	200
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	50
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,5
Phosphor (PO ₄ ³⁻)	mg/l	-
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	250

Die Tabellen zeigen, dass im europäischen Regelwerk einige Grenzwerte angehoben worden sind.

2.2.1.2.3 Qualität des Elbwassers

Die Qualität des Elbwassers hat sich in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren bei den meisten Parametern deutlich verbessert. So sind die Gehalte der Schwermetalle, der N- und P-Frachten deutlich zurückgegangen. Ein weiterer positiver Aspekt ist die kontinuierliche Verringerung der anorganischen und organischen Schadstoffe, insbesondere der karzinogenen und mutagenen Verbindungen. In der folgenden Tabelle 2.22 ist eine Übersicht der Entwicklung der Belastung der Elbe anhand der Messungen an der Messstation Schnackenburg dargestellt. An der Messstation Schnackenburg werden 83 % des Elbeinzugsgebietes erfasst.

Tab. 2.22: Jahresfrachten der Elbe - Jahre mit vergleichbarem Abfluss - Messstation Schnackenburg (Stromkilometer 474,5) (aus: ARGE-Elbe 1998)

Dimensio	1985	1986	1989	1990	1992	1993	1996	1997	1998	1999
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

2. Allgemeine Grundlagen und Definitionen

	n										
Abfluss (MQ) (Neu Darchau)	m ³ /s	558	716	520	447	515	510	669	608	649	674
BSB ₂₁	10 ³ t/a O ₂	-	570	430	310	220	220	190	190	190	220
Chlorid	10 ³ t/a Cl ⁻	3700	4400	3500	3300	2400	2400	2600	2600	2500	2600
Ammonium	10 ³ t/a N	54	49	32	23	7,7	6,9	9,4	4,0	3,1	3,1
Nitrat	10 ³ t/a N	54	97	75	69	88	81	100	92	89	98
o-Phosphat	10 ³ t/a P	3,4	3,5	2,2	2,3	1,6	<1,5	1,8	0,97	0,95	0,82
Quecksilber	t/a	28	23	12	6,5	4,2	1,9	1,7	1,4	1,6	1,4
Cadmium	t/a	13	13	6,4	6,0	5,3	5,0	5,6	5,6	5,1	6,5
Blei	t/a	110	120	110	73	76	75	100	100	73	57
Chloroform	t/a	14	24	13	8,7	2,0	0,86	1,1	1,6	3,6	2,1
Trichlorethylen	t/a	40	31	7,3	3,4	1,9	1,1	1,2	0,87	0,26	0,32
Perchlorethylene	t/a	13	22	8,3	3,0	1,6	0,79	1,9	0,90	0,26	0,54
Lindan	t/a	0,57	0,67	0,49	0,27	0,32	0,44	0,38	0,42	0,66	0,25
Hexachlorbenzol	t/a	0,11	0,13	,15	0,18	0,05	0,09	0,12	0,18	0,23	<0,10
Pentachlorphenol	t/a	2,4	3,0	1,8	0,92	0,48	<0,15	<0,02	0,28	-	-

3. Gebietsbeschreibung

3.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt im niedersächsischen Teil des 1997 anerkannten länderübergreifenden Biosphärenreservates Flusslandschaft Elbe. Es gliedert sich in die linkselbisch gelegene Gartower, Dannenberger und die Lüneburger Elbmarsch sowie das rechtselbisch gelegene Amt Neuhaus. Die niedersächsische Elbtalaue erstreckt sich von Schnackenburg (Stromkilometer 473) in nordwestliche Richtung bis nach Boizenburg (Stromkilometer 568) und umfasst eine Größe von 57.383 ha. Das Untersuchungsgebiet selbst umfasst ein 570 km² großes Areal.

3.2 Klima

Das Klima der niedersächsischen Elbtalaue ist als subozeanisch-subkontinental einzustufen. Anhand der Daten der mittleren Niederschlagsverteilung der Jahre 1985-2000 (vgl. Tab. 3.1-3.3) kann das Niederschlagsmaximum in den Monaten Juni/Juli und Dezember festgelegt werden. Die Niederschlagsverteilung variiert im Untersuchungsgebiet; im Nordwesten (Station Boizenburg) werden mit durchschnittlichen 650 mm Niederschlag pro Jahr die höchsten Werte gemessen, während in der Gebietsmitte (Station Neuhaus) 590 mm und im Südosten (Station Schnackenburg) rund 580 mm Niederschlag im Jahresdurchschnitt gemessen wurden. Wie die Niederschlagsmenge von Nordwesten nach Südosten abnimmt, so nimmt die potentielle Verdunstung von 554 mm (Station Boizenburg) auf 632 mm (Station Seehausen) im Jahresdurchschnitt zu.

Tab. 3.1 : Klimadaten (mittlerer Niederschlag, potentielle Verdunstung) der Betriebe 4 und 6 (aus: Deutscher Wetterdienst)

Monate	Niederschlag [mm]	potentielle Verdunstung [mm]
Januar	55,2	9,2
Februar	39,5	12,1
März	43,3	24,4
April	34,6	63,4
Mai	37,0	100,6
Juni	68,9	93,4
Juli	59,5	114,8
August	58,3	103,9
September	50,2	57,9
Oktober	32,6	33,1
November	49,7	10,8
Dezember	56,4	8,1
Jahr	581,2	631,7

Niederschlag: Station: 48205 Schnackenburg-Kapern, Zeitraum: 1985-1996 (12 Jahre)

Verdunstung nach HAUDE: Station: 3162 Seehausen (WST), Lage: 52°54'N/11°44'E, Höhe: 21 m über NN, Kultur: Gras, Zeitraum: 1985 bis 1999 (15 Jahre)

Tab. 3.2 : Klimadaten (mittlerer Niederschlag, potentielle Verdunstung) des Betriebes 2 (aus: Deutscher Wetterdienst)

Monate	Niederschlag	potentielle Verdunstung
	[mm]	[mm]
Januar	46,0	9,3
Februar	37,0	12,4
März	43,8	24,5
April	40,0	58,4
Mai	45,6	90,7
Juni	58,2	81,5
Juli	65,7	101,0
August	60,8	94,8
September	47,3	51,1
Oktober	39,9	30,1
November	46,2	11,4
Dezember	59,2	7,6
Jahr	589,7	572,8

Niederschlag: Station: 48510 Neuhaus/Elbe, Zeitraum: 1985-2000 (16 Jahre)

Verdunstung nach HAUDE: Station: 3869 Grambek, Lage: 53°34'N/10°41'E, Höhe: 27 m über NN, Kultur: Gras, Zeitraum: 1985 bis 1999 (15 Jahre)

Tab. 3.3 : Klimadaten (mittlerer Niederschlag, potentielle Verdunstung) des Betriebes 1 (aus: Deutscher Wetterdienst)

Monate	Niederschlag	potentielle Verdunstung
	[mm]	[mm]
Januar	55,7	9,2
Februar	46,3	11,1
März	51,5	22,1
April	41,6	56,6
Mai	49,3	83,4
Juni	59,4	82,1
Juli	68,6	100,6
August	57,9	94,9
September	55,9	48,1
Oktober	45,8	28,4
November	50,1	9,5
Dezember	66,5	8,1
Jahr	648,6	554,1

Niederschlag: Station: 3048 Boizenburg (WST), Zeitraum: 1985-1990 und 1992-2000 (15 Jahre)

Verdunstung nach HAUDE: Station: 3048 Boizenburg (WST), Lage: 53°24'N/10°41'E, Höhe: 45 m über NN, Kultur: Gras, Zeitraum: 1983 bis 1999; Anmerkung: von Jan. 1990 bis einschl. Mai 1992 keine Messungen (15 Jahre)

3.3 Naturräumliche Gliederung

Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich der „Unteren Mittelelbe-Niederung“ (MEIBEYER 1980), die vom Havelzufluss bei Havelberg bis Geesthacht bei Hamburg reicht. Es lässt sich nach der Gliederung und Charakterisierung von ARUM (2000) in die beiden großräumlichen Einheiten der Stromland-Außendeichsflächen (8350 ha) und der Stromland Binnendeichsflächen (31889 ha) untergliedern. Während die Stromland-Außendeichsflächen den 0,5 bis 2 km breiten Überschwemmungsbereich markieren, so bleiben die 0,5 bis 8 km breiten

Stromland-Binnendeichsflächen von dem rezenten Überflutungsgeschehen unbeeinflusst. Als vorherrschende Bodentypen sind der Gley (außendeichs) sowie der Auenpseudogley (Pseudogley-Auenboden) und der Auengley (Gley-Auenboden) (binnendeichs) zu nennen. Innerhalb des Stromlandes treten zumeist kleinflächig Talsandflächen als Niederterrassen auf (5285 ha). Die Talsandgebiete sind als Erhöhungen von > 20m ausgebildet. Für die überwiegend sandigen Podsole ist ein tiefer Grundwasserstand charakteristisch.

Desweiteren treten Dünengebiete (3858 ha) im rechtseibischen Stromland auf, die sich in ein ausgedehntes Dünenplateau sowie kleinere Dünenfelder untergliedern. Die typische Bodenart ist der Sand, der Bodentyp ein Podsol.

Einen weiteren Landschaftstyp stellen die Geestinseln und Geestränder (3815 ha) der linken Elbseite dar; die Dannenberger Geest, ein bewaldetes Endmoränengebiet mit starkem Relief bei Hitzacker sowie zwei Geestinseln, die Höhbeck und die Langendorfer Geestplatte, mit geringer morphologischer Ausprägung. In den Geestgebieten sind kiesige bis sandige Ablagerungen der Saale-Kaltzeit, Geschiebelehme und stellenweise Decksande anzutreffen. Aus diesem Ausgangsmaterial entstanden Podsol-Braunerden, Braunerden und Pseudogley-Braunerden.

Moore (2343 ha) treten in den Randsenken innerhalb des Stromlandes und der Niederungen auf.

In den Niederungen der Nebenflüsse (1840 ha) von Aland, Seege, Jeetzel, Rögwitz, Krainke und Sude haben sich Gleye, Gley-Podsole sowie Gley-Braunerden ausgebildet. Die Niederungen sind durch lehmigen Sand und schluffigen Ton geprägt.

Bei Hochwasser der Elbe kommt es durch einen Rückstau zum Übertreten der Nebenflüsse im Außendeichsbereich. Im Stromland-Binnendeich besteht ebenfalls eine enge Beziehung zum Wasserpegel der Elbe, die sich durch Grundwasserspiegelschwankungen bemerkbar machen. Das durch die Druckverhältnisse hinter dem Deich hochgepresste Grundwasser, wird auch Qualmwasser genannt.

Die in diesem Projekt schwerpunktmäßig untersuchten Flächen sind den Landschaftstypen: Stromland-Außen- und -Binnendeich sowie Geestinsel (Langendorfer Rücken) zuzuordnen.

3.4 Schutzwürdigkeit

Aufgrund der langjährigen Abgeschiedenheit im ehemaligen Grenzgebiet konnten sich in der niedersächsischen Elbtalaue eine Vielzahl landschaftstypischer, teilweise noch naturnaher Lebensräume entwickeln. Durch den hohen Anteil ungenutzter und extensiv bewirtschafteter Flächen konnte sich hier ein breites Spektrum für den Naturschutz wertvoller Lebensräume entwickelt. Gefährdete Pflanzen- und Tierarten haben sich an die Standortbedingungen angepasst und treten in hoher Arten- und Individuenzahl auf. So bietet die Elbtalniederung Lebensraum für mehr als 100 gefährdete Farn- und Blütenpflanzen. Viele davon findet man vor allem in den ursprünglichen Auwäldern, die noch an einigen Stellen in der flussnahen Talaue wachsen. Eichen, Ulmen, Eschen, Schwarzpappeln und Hecken aus Schlehe, Wildrose, Weiß- und Kreuzdorn erinnern an die ehemals weite Verbreitung von Auewäldern. Typisch für das regelmäßig überflutete Grünland sind Sumpflatterbsen- und Brendoldenwiesen (ausführlich in REDECKER 2001).

3.5 Geologie und Bodentypen des Untersuchungsgebietes

3.5.1 Beschreibung des engeren Untersuchungsgebietes

Das Gebiet der Unteren Mittelalbe-Niederung wird fast lückenlos von Ablagerungen des Quartärs bedeckt. Es liegt tektonisch gesehen im Niedersächsischen Becken. Der tiefere Untergrund ist in der Regel nur aus Bohrungen bekannt. Von besonderer Bedeutung sind für

das Gebiet die zahlreichen Salzstöcke aus dem Zechstein im Untergrund. Im benachbarten Lüneburg wird seit dem Mittelalter Salz gewonnen, in Gorleben wird der Salzstock derzeit noch erkundet.

Das Projektgebiet liegt überwiegend in der Elbtalaue mit deren angrenzenden Geestgebieten. Der weitaus größte Teil der flachen Auenlandschaft liegt auf dem rechten Elbufer bei durchschnittlich 10-12 m über NN (CASPER & SCHWARZ 1998). Weitere Auenflächen befinden sich linkselbisch nördlich von Bleckede und südlich von Hitzacker. Zwischen Bleckede und Hitzacker streift die Elbe eine größere Altmoränenfläche (Geestplatte der östlichen Lüneburger Heide) mit Geschiebelehm, Geschiebemergeln und Beckenschluffen sowie vereinzelt Schmelzwassersanden der Saale-Kaltzeit. Bei Langendorf (Betrieb 4) und bei Hühbeck befinden sich kleinere Altmoränenschollen. Zwischen den saalekaltzeitlichen und den holozänen Ablagerungen liegen großflächig Niederterrassensande und -kiese der Weichsel-Kaltzeit. Dünen- und Flugsandflächen treten südlich von Bleckede, südlich von Gorleben und bei Langendorf auf. Ein deutlich ausgeprägter langgezogener Dünengürtel erstreckt sich östlich von Neuhaus, Stapel, Zetze und Tripkau in NNW-SSE Richtung.

Die Elbtalaue wurde vermutlich saalekaltzeitlich angelegt. Sie hat ihre heutige Form durch die Schmelzwässer der weichselkaltzeitlichen Gletscher erhalten, wobei nach Akkumulation von etwa 10-20 m mächtigen Talsanden der Niederterrassenkörper entstand. An den Prallhängen und Abbruchkanten des Elbe-Urstromtales wurden die glazifluviatilen Sande sowie Geschiebelehm/-mergel des Drenthe- und Warthe-Stadiums aufgeschlossen. Ältere Sedimente treten im Untersuchungsgebiet nicht an die Oberfläche.

Die Feingliederung der Elbtalaue ist durch nacheiszeitliche Prozesse – Aufwehung von Binnendünenzügen aus trockengefallenen Tälern, Ablagerung von Auelehm durch die jährlichen Hochwässer, Vermoorung - sowie durch menschliche Tätigkeit wie Eindeichungen und Flussregulierung bedingt. Vor den ersten flussregulierenden Eingriffen des Menschen im 13. Jahrhundert bestand die Elbe aus einer Vielzahl kleinerer Nebenarme und bildete ein anastomosierendes bis mäandrierendes Flusssystem (CASPER & SCHWARZ 1998).

3.5.1.1 Fluviale Ablagerungen

Während die weichselzeitlichen Niederterrassen durch einen braided river mit zahlreichen flachen Rinnen entstanden, sind die holozänen Auesande durch einen mäandrierenden Fluss abgelagert worden. Die Niederterrassen bestehen aus sehr schwach grobsandigem bis grobsandigem Mittelsand mit lagenweise Feinkiesen und an der Basis Mittel- und vereinzelt Grobkiesen. Die Sedimente sind frei von humosen Beimengungen, Pflanzenhäckseln oder Schlufflagen. Der Auesand besteht aus Feinsand mit Mittel- und Grobsandanteilen, die mit der Tiefe zunehmen. Es treten Schluff- und Humuslagen sowie geringe Mengen von Pflanzenhäckseln auf. Der Auesand tritt in der Elbaue nur in kleineren Arealen an die Oberfläche, da er meist von jüngeren holozänen Sedimenten überlagert wird. Kartierungen des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLF) zeigen, dass die Unterkante des durch die Elbe abgelagerten Auesandes 5-10 m unter Gelände liegt (CASPER & SCHWARZ 1998). Neben dem Auesand gehören die Uferwallsedimente zu den holozänen sandigen Auenablagerungen. Sie sind als Hochflutbildung im flussnahen Bereich aufzufassen und bestehen überwiegend aus Feinsand mit unterschiedlichen Anteilen von Mittelsand. Der sandige Uferwall ist zwischen Bleckede und Alt Garge sehr gut erhalten. In flussfernen Bereichen mit fast stehendem Hochwasser wird der Auelehm abgelagert. Er besteht aus Schluff mit wechselnden Tongehalten sowie dünnen Feinsandlagen und führt fast immer humose Bestandteile oder Pflanzenhäcksel. Der Auelehm bedeckt weite Teile der Elbaue und ist dabei stets eng verzahnt mit den Uferwallsedimenten oder Auesanden. Seine durchschnittliche Mächtigkeit ist geringer als 2 m, dabei jedoch kleinräumigen Schwankungen unterlegen. Die jüngsten Sedimente, die fluvialen litoralen Ablagerungen,

3. Gebietsbeschreibung

bestehen aus einem Gemisch von Fein- bis Mittelsand mit eingeschalteten dünnen Bänken von stark humosem, feinsandigem Schluff. Sie treten oftmals zwischen den Bühnenkörpern auf.

3.5.1.2 Windablagerungen

Die Dünen und Flugsande des Hauptdüngürtels bei Neuhaus entstanden im Holozän. Für beide Einheiten wurde nachgewiesen, dass sie holozänen fluviatilen Sedimenten, Mudden oder Torfen auflagern (CASPER & SCHWARZ 1998). Die Dünen bei Bleckede liegen größtenteils unmittelbar auf der Niederterrasse (vgl. Profil GK25; 2730 Bleckede) und können im Kern bereits im Spätglazial aufgeweht worden sein. Das heutige Relief bildete sich aber erst im Holozän aus.

Die Dünen bestehen aus Fein- bis Mittelsand mit geringen Anteilen von Pflanzenhäcksel und Holzkohlepartikeln. Im Zentrum des Hauptdüngürtels liegen die höchsten Mächtigkeiten bei 20 m, im Schnitt werden 2-8 m erreicht.

Der Flugsand besteht überwiegend aus schwach mittelsandigem Feinsand mit gelegentlichen Grobsandkörnern und vereinzelt auftretendem Pflanzenhäcksel. Die Mächtigkeit der Flugsanddecke liegt zwischen einigen Dezimetern bis zu mehreren Metern. Morphologisch lassen sich die Flugsanddecken durch ein ruhigeres Kleinrelief mit flachen Kuppen von den Dünen unterscheiden.

Als Hauptliefergebiet für die äolischen Ablagerungen sind die benachbarten Niederterrassen- und Auesandflächen anzusehen, untergeordnet die im Westen und Südwesten angrenzenden Geesthochflächen.

3.5.1.3 Moorbildungen

Innerhalb der Dünen- und Flugsandfelder sind große flächenhafte Vermoorungen von Senken ausgeprägt. Kleinflächige Verlandungsmoore finden sich hingegen in den alten Flussläufen der Elbaue (z. B. Radegaster Haken). Die meisten dieser Paläorinnen sind schmal, d.h. weniger als 40 m breit.

3.5.1.4 Entwicklung der terrestrischen und semiterrestrischen Böden

Während des Holozäns hat sich auf den Geestflächen ein meist armer lehmiger Sandboden entwickelt. Der ursprünglich großflächig ausgebildeten Braunerde wurden die Nährstoffe durch Ackerbau, Viehzucht und Forstwirtschaft entzogen oder es kam zu Auswaschungen. Es bildeten sich Parabraunerden und Podsole.

Neben diesen Böden sind auf der Geest Niederungsböden verbreitet. Die Ausbildung der Gleye und Pseudogleye ist auf die Wirkung des Grundwassers zurückzuführen.

Auf den Dünen und Flugsanddecken kam es zur Ausbildung von Podsolen.

Typische Böden der Auen und Niederterrassen sind Auenböden, Auenpseudogleye, Auengleye, Gleye und Gley-Braunerden. Sie sind überwiegend auf Auelehmlagerungen entstanden.

Auf den untersuchten Flächen treten die Bodentypen: Gley, Auenboden, Auengley, Auenpseudogley sowie vereinzelt Podsol und Braunerde auf.

3.6 Nutzung, Düngung und Kulturen

Die allgemeine Nutzung der Elbtalau lässt sich in Wald, Grünland, Wiesen, Gewässer und Ortschaften untergliedern. Die Tabelle 3.4 gibt einen Überblick über die derzeitige Nutzung

der einzelnen Naturräume und deren Flächengröße. Das Binnendeich-Stromland wird zu 80 % landwirtschaftlich genutzt, wobei der Ackeranteil geringfügig überwiegt. Im Außendeich-Stromland werden dagegen nur 40 % landwirtschaftlich genutzt und zwar ausschließlich als Grünland. Die Talsandflächen, Geestränder und Dünenfelder sind überwiegend bewaldet (zu 60 bzw. 90 %). Eine landwirtschaftliche Nutzung als Acker wird auf den Talsandflächen und Geesträndern mit ca. 20 % der Flächen angegeben. Die Moore werden zum größten Teil landwirtschaftlich genutzt (Acker 17 %, Grünland 35 %) oder sind bewaldet (43 %), während die Nutzung des Naturraumes der Nebenflüsse vorrangig als Grünland (66 %) angegeben wird.

Tab. 3.4: Flächengröße und überwiegende Nutzung der Naturräume (aus: REDECKER 2001)

Naturraum	Größe [ha]	überwiegende Nutzung
Stromland- Außendeich	8350	Grünland 42 % Gewässer 38 % Ungenutzt 18 %
Nebenflüsse - außendeichs	1840	Grünland 66 % Wald 13 % Gewässer 12 %
Stromland- Binnendeich	31889	Acker 44 % Grünland 38 %
Talsandflächen	5285	Wald 58 % Acker 21 % Ortschaften 10 %
Dünenfelder	3858	Wald 90 %
Geestränder und - inseln	3815	Wald 62 % Acker 23 %
Moore	2343	Wald 43 % Grünland 35 % Acker 17 %

3.6.1 Nutzung der untersuchten Flächen

Bei der Nutzung der landwirtschaftlich genutzten Flächen kann zwischen Grünland, Acker und Brache unterschieden werden. Hauptanbaukulturen sind Weizen, Roggen, Gerste, Mais und Raps; Weizen, Roggen, Gerste und Mais zählen zu den Getreidepflanzen, wohingegen der Raps den Ölpflanzen angehört. Das Grünland wird entweder als Schnittwiese mit 2-schüriger Mahd oder als Weide genutzt. Die Mähtermine variieren je nach Betrieb. Bei den intensiv genutzten Grünlandflächen werden Nachweiden, Umtriebsweiden und Weiden (Hofweiden) unterschieden.

Die Nutzungsart der einzelnen Schläge war 1999 und 2000 mit Ausnahme der Fläche C28 (1999 Acker, 2000 Brache) die gleiche. Die Kultur auf den Ackerschlägen war dagegen im Jahr 2000 bis auf Fläche Z175 eine andere. Wurde 1999 verstärkt Mais angebaut, so wurde 2000 mehr Getreide geerntet.

3.6.2 Düngung der untersuchten Flächen

Die Düngetermine und die Art der Düngung auf den einzelnen Schlägen wurden vom Büro ARUM für 1999 von den Landwirten erfragt. Die Angaben in der Tab. 3.5 können jedoch nur als Anhaltspunkte genommen werden, da sie nicht immer mit eigenen Beobachtungen übereinstimmen. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die in den Betrieben eingesetzten Düngemengen nicht gleichmäßig auf alle Flächen verteilt werden. Für 2000 ist

mit dem Wechsel der Kultur vielerorts von entsprechend abweichenden Düngemengen und –terminen auszugehen.

Tab. 3.5: Düngemengen und Kultur 1999 der untersuchten Schläge (aus: ARUM 1999/2000)

Fläche	Nutzung	Form der Beweidung bzw. Kultur	Nutzungs-termin (Mahd / Auftrieb)	mineralische Düngung [kg/ha]			organische Düngung [kg/ha]			Mengen und Termine der org. Düngung
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
C1f	Grünland	Nachweide	1. Juni	120	0	0	60	3	120	15 m ³ Jauche; 15. März
C5, C6, C7	Grünland	Mähweide	5. Juli, 28. September	60	0	0	0	0	0	
C28	Acker	Winterweizen		200	0	0	0	0	0	
R1	Grünland	Weide	Ende April	0	0	0	0	0	0	
R2, R7	Grünland	Nachweide	3. Juni, 25. August	0	0	0	0	0	0	
R9	Grünland	Weide	Ende April	78	24	34	42	21	71	10 m ³ Rindergülle
R16, R32	Acker	Mais		129	208	-	105	53	178	25 m ³ Rindergülle
Z111	Acker	Raps		180	36	90	80	43	118	25 m ³ Rindergülle
Z175	Acker	Weizen		180	0	0	80	43	118	25 m ³ Rindergülle
Z464d	Acker	Mais		76	78	0	80	43	118	25 m ³ Rindergülle
Z300	Grünland	Mähweide	18. Mai	0	0	0	0	0	0	
Z323	Grünland	Umtriebsweide	Ende April	130	0	0	0	0	0	
Z322	Grünland	Umtriebsweide	Ende April	130	0	0	0	0	0	
F8	Grünland	Mähweide	22. Juni, 1. September	50	0	0	0	0	0	

Die Flächen C5, C6 und C7 stehen unter Vertragsnaturschutz mit der Konsequenz, das 60 kg N zum zweiten Schnitt erlaubt sind. Der zweite Schnitt fand im Jahr 1999 Ende September statt, jedoch kann in den Bodenproben vom November des gleichen Jahres kein erhöhter N-Gehalt nachgewiesen werden (Kap.5.1.8.1). Auf dem Schlag F8 ist eine Düngung von 50 kg N/ha nach dem ersten Schnitttermin am 22. Juni angegeben worden, die sich ebenfalls nicht im Oberboden nachweisen ließ (Kap.5.1.8.1). Auf C1 wurde die mineralische Düngemenge von 120 kg/ha, zu je 60 kg/ha auf den 1. April und auf den 1. Juni verteilt. Der Weizen auf C28 wurde mit 100 kg N/ha im Frühjahr, 50 kg N/ha Schossen und 50 kg N/ha Ährengabe versorgt. Die Mais-Äcker R16 und R32 wurden mit 4 dt MAP (Unterfußdüngung) und 3 dt Kalkammonsalpeter (KAS) nach der Saat gedüngt.

3.7 Gewässernetz

Das Untersuchungsgebiet wird neben der Elbe von mehreren Nebenflüssen und Bächen durchflossen. Linkselbisch sind der Aland, die Seege, die Jeetzel und die Neetze zu nennen, rechtselbisch mündet die Sude mit den Zuflüssen der Krainke und Rögnitz in die Elbe. Typisch für diese Elbnebenflüsse ist der über weite Strecken parallele Lauf zur Elbe.

3. Gebietsbeschreibung

Die Elbe ist ein Fluss vom „Schnee-Regen-Typ“. Die höchsten Abflüsse treten im Frühjahr mit der Schneeschmelze in den Mittelgebirgen auf (vgl. Abb. 3.1). Vereinzelt auftretende Starkregenereignisse führten in den Jahren 1986, 1995, 1996 und 1997 zu Sommerhochwässern (SCHWARTZ et al. 1999: 66).

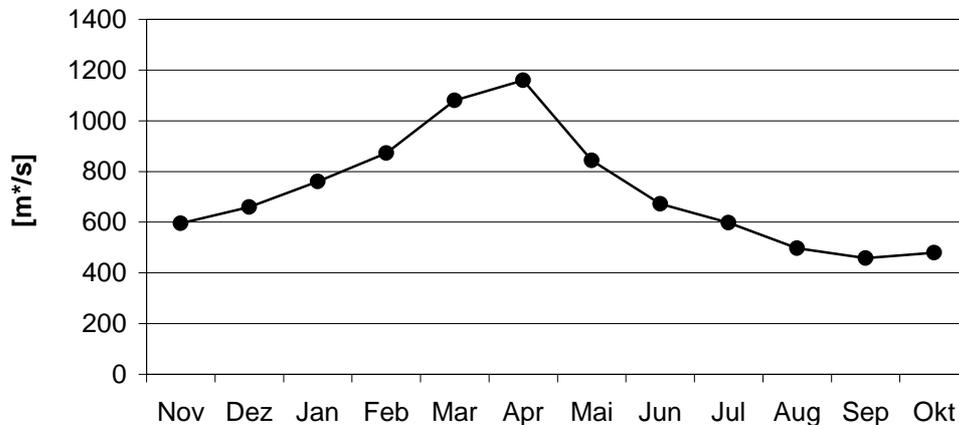


Abb. 3.1: Abfluss der Elbe - monatliche Mittelwerte (aus: DIERKING 1992: 13, verändert)

Die Hydrologie des Untersuchungsgebietes wird von der Elbe zum einen direkt über die Hochwässer, zum anderen indirekt über das Grundwasser beeinflusst. Die Grundwasserstände im Elbtal korrespondieren demnach sehr eng mit dem Elbpegel.

3.8 Beschaffenheit des Elbwassers und der Elbsedimente im Untersuchungsgebiet

Im Hinblick auf den Stoffeintrag in die Aue sind besonders die regelmäßig eintretenden Überschwemmungen im Deichvorland der Elbe von Bedeutung. Für den Stoffhaushalt der Böden sind die Art der Nähr- und Schadstoffe sowie deren Konzentration im Elbwasser und im frischen schwebstoffbürtigen Elbsediment ausschlaggebend. Die ‚Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe‘ (ARGE-Elbe) hat in Schnackenburg (Elbkilometer 474,5) seit 1984 eine Messstation. Das frische, schwebstoffbürtige Sediment wurde in einem Sedimentationsbecken in einem Zeitraum von jeweils einem Monat gesammelt und zur Bestimmung des Feinkornanteils (< 20 µm) herangezogen.

SCHWARTZ, NEBELSIEK & GRÖNGRÖFT (1999) führten Untersuchungen der Messdaten aus den Jahren 1984-1997 durch. Dabei konnten seit Anfang der 90er Jahre Änderungen der Milieubedingungen im Elbwasser festgestellt werden. So gab es einen Anstieg des Redoxpotentials bei gleichzeitig erhöhter Sauerstoffkonzentration und reduzierten Angebots an organischer Substanz. Der Anstieg des pH-Wertes von 7,5 in den 80er Jahren auf bis zu Maximalwerten von über pH 9,0 (1992-1995 und 1997) lässt sich durch die Nitrifikation von Ammonium zu Nitrat, wobei Kohlendioxid entsteht, erklären. Der Kohlenstoff liegt ab einem pH-Wert von ca. 6 nicht mehr als CO₂ sondern größtenteils als HCO₃⁻ vor und oberhalb von pH 8 sogar zunehmend als CO₃²⁻. Dies führt zur Freisetzung von Hydroxid-Ionen (Austausch von Hydrogencarbonat bzw. Carbonat gegen OH⁻), wodurch der pH-Wert des Wassers ansteigt (SCHWARTZ et al. 1999: 68).

Bei den Sedimentproben schwankte der Anteil der Kornfraktion < 20 µm an der Gesamtprobe innerhalb der Jahre 1986 bis 1994 zwischen 60 % und 80 % und geht in den Jahren 1995 und 1996 auf unter 30 % zurück. Am Ende des Jahres 1997 liegt der Feinkornanteil bei 60 %. Als Ursache werden ein verändertes Anströmen des

Sedimentationsbeckens infolge von Strombaumaßnahmen angenommen (SCHWARTZ et al. 1999: 68).

Im Elbwasser sind mit Beginn der 90er Jahre bei den Nährstoffparametern Gesamtphosphor, Gesamtstickstoff und Eisen Konzentrationsrückgänge zu verzeichnen. Die Belastungsspitzen treten Mitte der 80er Jahre auf. Ein Vergleich der Messergebnisse aus den Jahren 1985 und 1997 (Tab. 3.6) zeigt einen Rückgang bei den Parametern TOC (um ca. 60 %), Gesamtphosphor (um 70 %), Gesamtstickstoff (um ca. 30 %), Ammonium (um 98 %) und Eisen (um ca. 40 %), während die Parameter Sauerstoffgehalt und Nitrat zugenommen haben (Verdopplung bzw. Anderthalbfach). Nach SCHWARTZ (1999) ist trotz der eingetretenen Verbesserungen der Nährstoffstatus der Elbe weiterhin als hoch zu betrachten.

Tab. 3.6: Mediane Elementkonzentrationen (Nährstoffparameter) im Wasserkörper am Messort Schnackenburg (Stromkilometer 474,5) in den Jahren 1984-1997 (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 79)

	Abfluss	TOC	O ₂	pH	Lf	Pges	Nges	NO ₃	NH ₄	Fe
	[m ²]		[mg/l]		[µS/cm]			[mg/l]		[µg/l]
1984	568	n.b.	5,5	7,4	1100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1200
1985	480	20,0	4,9	7,4	1230	0,73	8,4	3,1	3,70	1200
1986	589	17,0	5,5	7,3	1145	0,50	8,3	3,9	2,40	1400
1987	989	15,0	6,2	7,4	919	0,48	8,2	5,0	1,50	1100
1988	528	19,0	6,7	7,4	1160	0,54	8,4	4,9	1,70	1200
1989	407	20,0	5,6	7,3	1280	0,66	8,5	3,9	2,40	1600
1990	429	16,0	7,7	7,5	1390	0,62	8,2	5,0	1,40	1100
1991	355	7,0	10,1	7,8	1160	0,37	7,0	4,9	0,24	1035
1992	398	6,8	11,0	8,1	930	0,28	6,4	5,1	0,34	1100
1993	441	8,5	11,2	8,0	933	0,38	6,0	4,8	0,25	740
1994	602	7,5	10,8	8,0	1110	0,24	6,4	5,3	0,17	595
1995	819	8,6	10,8	7,8	882	0,21	6,2	5,2	0,13	761
1996	620	7,4	10,8	7,7	995	0,20	5,8	4,8	0,14	747
1997	498	8,5	11,2	8,2	1050	0,22	5,7	5,0	0,07	768

In der kalten Jahreszeit verringert sich die Biomasse, in deren Anschluss die mikrobielle Umsetzung der organischen N-Verbindungen folgt. Dabei entsteht Ammonium (Ammonifikation). In den wärmeren Wasserschichten am Grund der Elbe laufen verstärkt diese Prozesse ab. Hingegen kommt es in den kälteren oberen Wasserschichten zur Nitrifikation, die sowohl rein chemisch als auch mikrobiell abläuft, allerdings verläuft dieser Prozess verlangsamt. Es entsteht also zunehmend Ammonium. Bei steigenden Temperaturen wird dann das gebildete Ammonium verstärkt nitrifiziert, die NO₃⁻-Konzentration steigt und die NH₄⁺-Konzentration sinkt entsprechend ab. Im weiteren Verlauf wird durch Assimilation das entstandene Nitrat wieder dem Medium entzogen und verstoffwechselt. Die Konzentration sinkt wieder ab.

Die Schwankungen des pH-Wertes beruhen auch auf chemisch/mikrobiellen Prozessen. Die hohe Stoffwechselaktivität in den Sommermonaten führt zu einer verstärkten Freisetzung von Hydroxidionen, die den pH-Wert steigen lassen. Hinzu kommt die geringere Löslichkeit von CO₂ in Wasser. Die fehlende Kohlensäure wird unter Protonenverbrauch durch Hydrogencarbonat nachgeliefert. Dieser Prozess bewirkt ebenfalls einen Anstieg des pH-Wertes. Der pH-Wert kann dadurch auf Spitzenwerte über 9,0 ansteigen. Ein weiteres Zeichen der hohen Produktivität der Organismen ist die Abnahme der Sauerstoffkonzentration in dieser Zeit.

3. Gebietsbeschreibung

Diese Kurzdarstellung soll zeigen, dass Schwankungen nicht unbedingt durch äußere Einflüsse wie z.B. Düngung entstehen müssen. Die chemisch-physikalischen und mikrobiellen Prozesse bewirken während des gesamten Jahres eine Veränderung der Stoffkonzentrationen. Diesen Aspekt gilt es bei der Betrachtung der Ergebnisse zu berücksichtigen.

In Abbildung 3.2 sind die typischen Nährstoffschwankungen des Jahres 1992 dargestellt.

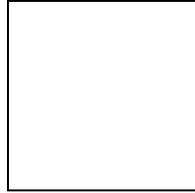


Abb. 3.2: Verlauf ausgewählter Nährstoffparameter während eines typischen Jahres (1992) (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 72)

Bei den Schadstoffen liegen uneinheitliche Rückgänge der einzelnen Elemente im Elbwasser und im frischen Sediment vor. Im Elbwasser ist ein Rückgang der Elemente Arsen, Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink zu verzeichnen, wobei die höchsten Konzentrationen Mitte der 80er Jahre (bei Zink Ende der 80er Jahre) lagen (Tab. 3.7). Da die Konzentrationen im Wasserkörper wöchentlich ermittelt werden, schlagen sich einzelne punktuelle Einleitungen sofort in Form von Belastungsspitzen nieder. Dies ist besonders beim Blei in den Jahren 1988, 1990, 1991, 1994 und 1997 zu beobachten (Abb. 3.3). Die angesprochenen Schadstoffparameter nehmen bei Betrachtung der durchschnittlichen Jahreskonzentration der Jahre 1984 und 1997 (vgl. Tab. 3.7) wie folgt ab:

Pb 41 %, Hg 95 %, Zn 50 %, As und Cd >50 %.

Tab. 3.7: Mediane Elementkonzentrationen ausgesuchter Schadstoffparameter im Wasserkörper (unfiltrierte Probe) am Messort Schnackenburg (Stromkilometer 474,5) in den Jahren 1984-1997 (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 80)

	As	Cd	Hg	Pb	Zn
	[µg/l]				
1984	7,7	0,74	1,20	7,0	113
1985	6,0	0,57	1,70	6,4	118
1986	5,3	0,53	1,00	5,9	115
1987	3,0	0,39	0,70	4,0	115
1988	3,3	0,33	0,66	5,6	125
1989	3,1	0,43	0,75	6,4	149
1990	2,9	0,43	0,44	5,4	113
1991	3,4	0,48	0,34	5,5	117
1992	4,2	0,36	0,27	5,2	101
1993	4,2	0,32	0,11	3,6	71
1994	4,2	0,26	0,14	1,9	65
1995	3,2	0,21	0,08	3,8	60
1996	3,5	0,28	0,08	4,6	59
1997	3,2	0,30	0,06	4,1	57

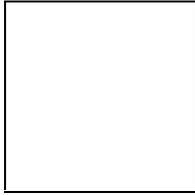


Abb. 3.3: Verlauf der Spurenmetallgehalte im Elbwasser der Jahre 1984-1997 (unfiltrierte Probe) (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 74)

In den Elbsedimenten wurden bei den Schadstoffparametern Cd, Cr, Cu, Hg, Pb und Zn im Jahr 1991 die höchsten Konzentrationen gemessen (Tab. 3.8). Ein Belastungsrückgang der meisten Schadstoffe ist erst Mitte der 90er Jahre zu erkennen. Beim Eisen und beim Arsen ist dagegen ein Konzentrationsanstieg zu verzeichnen. Durch die Abnahme des organischen Kohlenstoffgehaltes kam es zu einer relativen Anreicherung des in der Mineralfraktion gebundenen Eisens. Zusätzlich führte der Anstieg des Sauerstoffgehaltes im Elbwasser zu einer Verschiebung des Redoxpotentials, das eine erhöhte Ausfällungsrate von Eisen aus der gelösten Form ins Sediment mit sich führte. Im Gegensatz zu den Messergebnissen im Wasserkörper ist der Unterschied zwischen Maximal- und Minimalwert zum einen geringer ausgeprägt, zum anderen vollzieht sich der Rückgang der Konzentrationen im Sediment wesentlich langsamer.

Tab. 3.8: Mediane Elementkonzentrationen frischer schwebstoffbürtiger Sedimente in der Fraktion < 20 µm am Messort Schnackenburg (Stromkilometer 474,5) für die Jahre 1986-1997 (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 81)

	Anteil < 20 µm	TOC	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	[%]	[mg/kg]								
1986	51,0	20,3	33,0	9,3	343	341	36,4	109	188	2030
1987	71,5	20,4	17,8	9,0	222	190	39,7	68	141	1410
1988	73,9	21,7	18,4	9,8	253	221	17,4	69	154	1500
1989	60,8	21,8	15,0	9,4	325	278	22,3	110	158	1570
1990	75,6	11,8	22,7	11,9	305	325	22,3	88	216	2185
1991	73,4	12,9	22,5	21,1	354	357	22,2	66	231	2635
1992	67,4	8,8	35,0	15,7	237	283	12,2	66	175	2345
1993	77,3	10,7	54,7	13,0	201	197	9,0	78	155	2010
1994	63,2	8,5	60,2	13,4	154	174	7,6	83	186	1860
1995	62,5	7,9	48,4	11,5	135	152	5,8	64	146	1505
1996	39,6	7,1	45,2	8,5	140	139	4,1	67	156	1355
1997	40,6	7,9	34,3	9,5	134	151	5,2	64	158	1470

Als Grundlage für eine Einstufung der Messergebnisse werden von SCHWARTZ et al. (1999) geogene Hintergrundwerte des Elbestroms nach ARGE-Elbe (1997) und PRANGE (1997) sowie Standardgehalte von Tongestein nach TUREKIAN & WEDEPOHL (1971) herangezogen (Tab. 3.9). Die Hintergrundwerte unterscheiden sich in fast allen Elementen beträchtlich, was auf verschiedene Aufbereitungs- und Analyseverfahren zurückzuführen ist. SCHWARTZ et al. (1999) arbeiteten mit den geogenen Grundgehalten der ARGE-Elbe, da die zugrunde liegenden Daten ebenfalls aus dieser Quelle stammen.

Tab. 3.9: Gegenüberstellung des Tongesteinstandards (TUREKIAN & WEDEPOHL 1971) mit den geogenen Hintergrundwerten des Elbestroms nach ARGE-Elbe (1997) und PRANGE (1997) (aus: SCHWARTZ et al. 1999: 82)

Fraktion < 20 µm	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	[mg/kg]							
T & W	13	0,3	90	45	-	68	20	95
ARGE	3-5	0,2 - 0,4	60 - 80	20 - 30	0,2 - 0,4	10 - 30	25 - 30	90 - 110
PRANGE	24	0,4	117	32	< 0,3	53	29	150

Die Tabelle 3.10 zeigt, dass die rezenten Elbsedimente elementspezifisch unterschiedlich stark verunreinigt sind. Für die Elemente Cadmium, Quecksilber und Zink liegt eine übermäßige anthropogen bedingte Anreicherung vor. So bedeutet ein Anreicherungsfaktor von 32 für das Element Cadmium, dass von den 9,5 mg/kg Cadmium, die in den Sedimentproben analysiert wurden, lediglich 3 % geogen bedingt und 97 % anthropogenen Ursprungs sind. Wenig gegenüber den geogenen Hintergrundwerten angereichert sind dagegen die Elemente Nickel und Chrom. Bei der nach ökotoxikologischen Gesichtspunkten vorgenommenen Einteilung in Gewässergüteklassen steht Zink (Güteklasse III-IV) am schlechtesten dar. Die meisten der untersuchten Elemente liegen in den Güteklassen II-III oder III.

Tab. 3.10: Mediane Elementkonzentrationen frischer schwebstoffbürtiger Sedimente in der Fraktion < 20 µm am Messort Schnackenburg im Jahr 1997 und geogene Hintergrundwerte (HGW) nach ARGE-Elbe und Anreicherungsfaktoren (AF) gegenüber den geogenen Hintergrundwerten (nach SCHWARTZ et al. 1999) sowie Zielvorgaben (ZV) der maximalen Elementkonzentration und Gewässergüteklasse (nach ARGE-Elbe) (aus: SCHWARTZ 1999: 85, verändert)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	[mg/kg]							
1997	34,3	9,5	134	151	5,2	64	158	1470
HGW	3,0-5,0	0,2-0,4	60-80	20-30	0,2-0,4	10-30	25-30	90-110
AF	8,6	31,7	1,9	6,0	17,3	3,2	5,7	14,7
ZV	< 20	< 1,2	< 100	< 60	< 0,8	< 50	< 100	< 200
Güteklasse	II-III	II-III	II-III	III	III	II-III	III	III-IV

Der allgemeine Trend der Abnahme der Belastungen im Elbwasser wie im Schwebstoff, ist durch Klärwerksneubauten und –modernisierungen sowie durch den Rückgang der Emissionen aus Industrie und Landwirtschaft zu erklären.

3.9 Vegetation

Die Vegetationstypen der Elbtalaue weisen nach REDECKER (1999: 51) eine hohe Zahl gebietsspezifischer und gefährdeter Pflanzenarten auf und sind als typisches Landschaftselement zu erhalten. Besonders die Stromtalwiesen, die sich aus Brenndolden-, Silgen- und Sumpflatterbsen-Wiesen zusammensetzen, sind aus Sicht des Naturschutzes besonders schützenswert. REDECKER (1999: 53) ermittelte den aktuellen Bestand der Stromtalwiesen mit 3,5 % des Grünlandes im Gesamtgebiet. Dabei sind die Bestände vor allem im Bereich der Nebenflüsse (Jeetzel, Seege und Aland) und der Elbe sowie im Stromland-Binnendeich anzutreffen. Ein maßgebender Standortfaktor ist die

3. Gebietsbeschreibung

Überflutungsdauer. Mit 76-100 Tagen Überflutungsdauer liegen die Sumpfplatterbsen-Wiesen topographisch am tiefsten. Topographisch höher liegen die wechselfeuchten Brenndolden-Wiesen, die 40-100 Tage im Jahr überflutet sind und die Silgen-Wiese mit 27-40 Tagen Überflutung im Jahr. Auf den untersuchten Flächen konnte REDECKER (1999: 53f) ein Verschwinden der Brenndolden-Wiesen zugunsten von artenarmen Vegetationstypen (vor allem Quecke und Wiesen-Fuchsschwanz) erkennen. Als weiterer Parameter für eine Typisierung der Standorte wurde von REDECKER (2001: 59) die natürliche Nährstoffversorgung herangezogen.

4. Material und Methoden

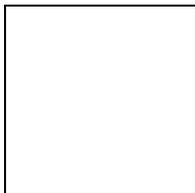
4.1. Probenahme und untersuchte Parameter (Boden)

Im Teilprojekt „Wasser und Boden“ wurden 21 Grünlandflächen (3 binnen- und 18 außendeichsgelegen) und 9 Ackerflächen (davon 1 außendeichsgelegen) geologisch-bodenkundlich aufgenommen und bodenphysikalische, -chemische und -biologische Parameter untersucht.

Weiterhin wurden die im Jahr 1999 zur Erweiterung der Datengrundlage zusätzlich auf 72 Probeflächen des Teilprojektes der Universität GH Kassel (FRANKE & SPATZ 2001) und auf 35 Flächen des Teilprojektes der Universität Lüneburg (REDECKER 2001) entnommenen Oberbodenproben vollständig bis auf den Parameter Kationenaustausch (vgl. Tab. 4.1) untersucht. Die Ergebnisse werden im Rahmen der Fragestellungen der Teilprojekte bei (FRANKE & SPATZ 2001) und REDECKER (2001) diskutiert und sind nicht Bestandteil dieses Berichtes.

Die geologisch-bodenkundliche Bearbeitung der Flächen erfolgte wie in Abbildung 4.1 dargestellt. Sie lässt sich in die Bereiche Oberbodenbeprobung, geologische Kartierung und bodenkundliche Aufnahme untergliedern:

Abb. 4.1: Vorgehen bei der geologisch-bodenkundlichen Bearbeitung



4.1.1 Oberbodenbeprobung

Die Probenentnahme im oberflächennahen Bodenhorizont (0-30 cm) erfolgte mittels eines Edelman-Bodenbohrers. Dazu wurde die Fläche diagonal abgeschritten und alle 5-10 m eine Probe erbohrt. Das so gewonnene Material wurde intensiv vermischt, um eine gute Homogenisierung zu erreichen und daraus anschließend eine Mischprobe (1.500-2.000 g) gezogen, die entweder sofort im Labor untersucht oder bei 10°C im Kühlschrank aufbewahrt wurde.

4.1.2 Geologische Kartierung

Auf den zu untersuchenden Flächen wurden unter Verwendung einer maschinell betriebenen Schlitzsonde Bohrungen bis drei Meter unter Geländeoberkante (GOK), bzw. bei tiefer

liegendem Grundwasser bis zum Grundwasserspiegel (max. 5 m), niedergebracht. Die Anzahl der Bohrungen und die Bohrabstände richtete sich nach der Flächengröße und der morphologischen Geländesituation.

Mit durchschnittlich drei Bohrungen pro Untersuchungsfläche war einerseits der Kartiergenauigkeit genüge getan und andererseits der Aufwand noch vertretbar. Bei den Flächen mit installierten Grundwasser- und Saugkerzenmessstellen wurden die Bohrpunkte so ausgewählt, dass sie die geologischen Verhältnisse im Bereich der Messstellen widerspiegeln. Dabei wurde eine Bohrung (jeweils Bohrung a, vgl. Anhang Bohrprofile) direkt neben den Messstellen durchgeführt, die weiteren um ca. 50 m versetzt. Die Profilsprache im Gelände erfolgte gemäß der BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG (Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde 1994) und beinhaltet im wesentlichen die Bodenfarbe (nach MUNSELL), die mittels Fingerprobe aus der Bindigkeit, Formbarkeit und Körnung abgeleitete Bodenart, den Humusgehalt, den Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung sowie Hydromorphiemerkmale.

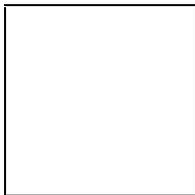


Foto 4.1: Niederbringen einer geologischen Bohrung neben einer Saugkerzenmessanordnung

4.1.3 Bodenkundliche Aufnahme und Beprobung

Die bodenkundliche Kartierung erfolgte über Pürckhauer-Bohrungen und Schürffgruben von jeweils 1 m Tiefe. Die Auswahl des Standortes für die Schürffgruben erfolgte wie bei den Tiefenprofilen, mit der Einschränkung, dass nur eine Schürffgrube pro Versuchsfläche angelegt wurde. Dabei wurden Flurschäden so gering wie möglich gehalten und bei besonders geschützten Flächen ganz auf das Aufgraben verzichtet. Anhand der Bohrung wurde das Profil nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde 1994) beschrieben und beinhaltet im wesentlichen die Bodenfarbe (nach MUNSELL), die mittels Fingerprobe aus der Bindigkeit, Formbarkeit und Körnung abgeleitete Bodenart, den Humusgehalt, den Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung sowie Hydromorphiemerkmale. Die Zielrichtung bei der Profilaufnahme war die Erfassung wesentlicher bodenphysikalischer, chemischer und biologischer Merkmale, spezielle taxonomische Fragestellungen waren von untergeordneter Bedeutung.

Dementsprechend wurde mit den angelegten Schürfen verfahren aus denen nach der Profilbeschreibung horizontweise je fünf Bodenproben in ungestörter Lagerung entnommen wurden. Dazu wurden Stechzylinder aus Stahl horizontal in den Boden gedrückt und sorgfältig aus dem Bodenverband gelöst. Die ungestörte Probenentnahme ermöglicht die Bestimmung einiger bodenphysikalischer Parameter, wie Permeabilität, Porenvolumen und Rohdichte, die Aussagen zum Bodenwasserhaushalt zulassen. Zusätzlich wurden aus max. 3 Tiefenstufen stechzylinderbezogenen Mischproben zur Korngrößenbestimmung entnommen.

Der Zeitraum der geologischen und bodenkundlichen Profilaufnahme lag zwischen Dezember 1999 und Mai 2000 und wurde stark vom Hochwasser der Elbe (Februar bis April) beeinträchtigt. Die flächenhafte Oberbodenbeprobung erfolgte 1999 sowie 2000 in einem vollständigen Zyklus (Anhang 1.1); die Grünlandflächen wurden vor und nach der ersten Nutzung und im Herbst beprobt, die Ackerflächen im Frühjahr beziehungsweise in der Regel vor der Feldbestellung bzw. Düngung und nach der Ernte.

4.1.4 Labormethoden

Die gewonnenen Bodenproben wurden im Labor der FH Suderburg bodenchemisch und bodenphysikalisch nach den VDLUFA-Richtlinien (Methodenbuch 1991: Die Untersuchung von Böden, 1) und den DIN-Vorschriften untersucht (Tab. 4.1). Im wesentlichen wurden folgende Analysenverfahren angewendet:

Tab. 4.1: Parameter und Methoden der Boden- und Pflanzenanalytik

Trockensubstanz	VDLUFA Methodenbuch (1991), Band 1: Die Untersuchung von Böden, Methode A 2.1.1
pH-Wert	DIN 19 684 Blatt 1
Salzgehalt	VDLUFA Methodenbuch (1991), Band 1: Die Untersuchung von Böden, Methode A 10.1.1
C	Nasse Veraschung, Lichterfelder Methode
Organische Substanz	errechnet aus: C % x 1,72
N	Kjeldahl - Stickstoff EAWAG K-3005
P und K (CAL)	VDLUFA Methodenbuch (1991) , Band 1: Die Untersuchung von Böden, Methode A 6.2.1.1. Calcium-Acetat-Lactatauszug
Mg	VDLUFA Methodenbuch (1991) , Band 1: Die Untersuchung von Böden, Methode A 6.2.4.1. Calciumchloridauszug
KAK	Austausch mit NH ₄ Cl im Perkolationsverfahren nach MEIWES et al. (1984) H - Bestimmung potentiometrisch, alle anderen Elemente Bestimmung mittels ICP
Dichte	DIN 19 683 Blatt 12
N _{min} Nitrat	VDLUFA Methodenbuch 1 1991, 2. Teillieferung 1997, A 6.1.4.1
N _{min} Ammonium	DIN 38 406 E5
Nitratreduktase-Aktivität (Denitrifikation)	SCHINNER, F., ÖHLINGER, R. & KANDELER, E. (1990 und 1993): Bodenbiologische Arbeitsmethoden. Springer Verlag Berlin, New York.
Korngrößenbestimmung	Bestimmung durch Sedimentation nach DIN 18 123 und Siebung nach DIN 19 683 Blatt 1
pF – Wert	Keramische Platte und Zentrifugation nach DIN 19 683 Blatt 5
Substanzanalyse	Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)
Substanzanalyse	DIN EN ISO 11 885, Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-AES)
Bestimmung von Schwermetallen	DIN 38 414 - S7, Königswasseraufschluß (Gesamtgehalte)
Bestimmung von Schwermetallen	DIN 19 730, Extraktion mit Ammoniumnitratlösung (mobile, pflanzenverfügbare Fraktion)
Bestimmung von Quecksilber (Hg)	DIN EN 1483, Flammen-Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Die Bestimmung der Korngrößen sowie der KAK des Oberbodens erfolgte einmalig anhand der Proben des ersten Termins (April-Juni 1999). Die Saugspannungs- (pF-Wert) und die Dichtebestimmung wurden an Stechzylinderproben durchgeführt. Die übrigen Parameter wurden bei jeder Oberbodenbeprobung ermittelt; die Nitratreduktase-Aktivität wurde 2x bestimmt. Eine Übersicht zu den jeweiligen Terminen der Oberbodenprobenahme und der gemessenen Parameter ist im Anhang 1.1 zu finden.

4.2 Probenahme und untersuchte Parameter (Bodenwasser, Grundwasser)

4.2.1 Beschaffenheit und Installieren der Brunnen und Saugkerzen

Auf den einzelnen Flächen wurden insgesamt 14 Brunnen und 30 Bodenwassersaugkerzen installiert (vgl. Abb. 4.2). Fünf der Brunnen standen einzeln, die übrigen sind mit Saugkerzen kombiniert worden. Auf den Ackerschlägen war es notwendig die Brunnen und/oder Saugkerzen vor der Ernte im Herbst 1999 zu ziehen, so dass im Frühjahr 2000 ein erneutes Einsetzen erfolgte.

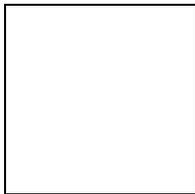


Abb. 4.2: Vorgehen bei der hydrologischen Bearbeitung

Die Brunnen bestehen aus gelochten Kunststoffrohren mit einem Durchmesser von 2,5 cm und einer Länge von 3 m, vereinzelt 4 m (B6). Die Brunnen wurden am unteren Ende mit einem Korken versehen in ein entsprechend tiefes Bohrloch eingebracht. In den Messrohren stellt sich der Grundwasserspiegel entsprechend dem Niveau der Grundwasseroberfläche des freien Grundwassers bzw. dem Druckspiegel des gespannten Grundwassers ein (HÖLTING 1992: 149). Ein auftretendes Problem ist der durch die fehlende Verfilterung begünstigte Eintrag von Feinsediment in die Rohre, durch den es zur zunehmenden Versandung und Verschlammung der Brunnen kommt. Um Verunreinigungen von der Oberfläche zu minimieren, wurden die Rohre mit einem Gummideckel abgedeckt.

Die Saugkerzen wurden in Gruppen zu drei Kerzen, im Abstand von ca. 0,5 bis 1 m in den Boden eingebracht. Um eine möglichst guten Kontakt mit dem umgebenden Boden zu gewährleisten, wurde der verbleibende Zwischenraum mit feinem Quarzsand aufgefüllt. An der Geländeoberfläche wird der Schaft gut mit Boden abgedichtet, damit von oben kein Wasser direkt am Schaft herunterlaufen kann. Es kamen zwei Arten von Saugkerzen zum Einsatz, die sich in der Art der Bevorratung unterscheiden. Die in Abbildung 4.3 links dargestellte Saugkerze sammelt das Wasser im Saugkerzenschaft (Typ 1), während der zweite verwendete Saugkerzentyp (Typ 2, rechts) das Wasser in einer an ihn angeschlossenen Vorratsflasche sammelt. Zudem wurden, abhängig vom mittleren Grundwasserstand, Saugkerzen von entweder 55 oder 105 cm Länge verwendet, um zu gewährleisten, dass aus dem jeweiligen Horizont lediglich Boden- und kein Grundwasser angesaugt wird.



Abb. 4.3: Saugkerze vom Typ 1 (links) und Typ 2 (rechts)

Bei der Gewinnung und Analytik von Bodenwasserproben mit Saugkerzen müssen je nach Kerzentyp drei wesentliche Faktoren berücksichtigt werden (ANDRESEN 1996):

- Der verringerte CO₂-Partialdruck im Unterdrucksystem führt zu einer Verschiebung des chemischen Gleichgewichts von Kohlensäure, Wasser und Kohlendioxid. Dadurch erfolgen Nebenreaktionen im Bodenwasser wie z.B. Anstieg des pH-Wertes und Ausfällungen von Fe-, Mn-, Ca- und Mg-Carbonaten.
- An der Oberfläche von Keramikkerzen können Kationen adsorbiert werden. Zur Vermeidung solcher Prozesse an der Keramik müssen die Kerzen gereinigt und konditioniert werden (Waschen mit 0,1 N HCl und dreifacher Menge dest. Wasser).
- Durch den diffusiven Eintrag von Sauerstoff können redoxsensitive Stoffe ausfallen. Zur Vermeidung sollten die oberirdischen Schlauchstrecken möglichst kurz gehalten werden.

4.2.2 Probenahme an Brunnen und Saugkerzen

Einmal monatlich wurde an den Brunnen der Grundwasserpegel gemessen und eine Wasserprobe zur Analyse entnommen. Das Messen des Grundwasserspiegels erfolgt mit einem Kabellichtlot, welches beim Kontakt mit dem Grundwasser ein Licht an der Kabeltrommel auslöst und an dem Messband die Tiefe abzulesen ist. Dazu wird ein Schlauch in den Grundwasserhorizont des Brunnens gehalten und mit Hilfe einer Pumpe das Wasser herausbefördert. In der Regel wurden die zu Beginn des Abpumpens gewonnenen Wassermengen (mehrere Liter) zwar aufgefangen jedoch zumeist nicht untersucht, sondern das Wasser des zweiten zeitverzögerten Pumpversuchs für die Analytik gewonnen. In Einzelfällen sind mehrere Grundwasserproben, die nacheinander gefördert worden sind, untersucht worden.

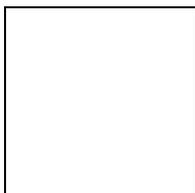


Foto 4.2: Saugkerzenbeprobung

An die Saugkerzen ist ein Vakuum anzulegen, wodurch sie in der Lage sind, durch einen Keramikkopf am unteren Ende Wasser aus dem umgebenden Boden anzusaugen. Dies wird im Saugkerzenkörper sowie in angeschlossenen Vorratsflaschen gesammelt (s.o.). Auch aus den Saugkerzen wurden einmal monatlich Proben entnommen, wobei jeweils die Kerze leergepumpt, die Vorratsflasche entleert und ein neues Vakuum angelegt wurde.

Die Proben wurden beim Transport und bis zur Analyse kühl aufbewahrt, um eine Veränderung und Umsetzung der Inhaltsstoffe zu verhindern.

4.2.3 Labormethoden

Die gewonnenen Wasserproben aus den Brunnen und Saugkerzen wurden im Labor der FH Suderburg nach den DIN-Vorschriften (Tab. 4.2) untersucht. Im wesentlichen wurden folgende Analysenverfahren angewendet:

Tab. 4.2: Parameter und Methoden der Wasseranalytik

pH - Wert	DIN 38 404 Teil 5
el. Leitfähigkeit	DIN EN 27 888
Chlorid, Nitrit, Nitrat, Ortho-Phosphat, Sulfat	DIN EN ISO 10304-2
Calcium, Kalium, Magnesium, Phosphor	EN ISO 11885
Natrium	DIN ISO 9964-3
Ammonium	DIN 38 406 Teil 5
DOC	DIN EN 1484

Die Parameter wurden alle 4 Wochen ermittelt. Eine Übersicht zu den jeweiligen Terminen der Probenahme und der gemessenen Parameter ist im Anhang 1.2 und 1.3 aufgeführt. Die Niederschlagsgänge wurden an repräsentativen Flächen der Auswahlbetriebe mit dem Niederschlagssammler nach HELLMANN ermittelt.

4.3 Probenahme und untersuchte Parameter der pflanzlichen Masse der Grünlandstandorte

4.3.1 Beprobung

Mehrere hundert Proben Schnittgut von Grünlandflächen der Jahrgänge 1999 und 2000 sind auf ihren Gesamtelementgehalt (Focus auf Nährstoff- und Schwermetallgehalt) untersucht worden (FRANKE & SPATZ 2001). Die Proben wurden von Christian Franke im Rahmen des Teilprojektes „Floristische Zusammensetzung, Produktivität und Futterqualität des Elbtalgrünlandes – Möglichkeiten seiner naturschutzdienlichen Weiterentwicklung und Einbindung in landwirtschaftliche Nutzungssysteme“ der Universität GH Kassel entnommen.

4.3.2 Parameter und Laboranalytik

Die Pflanzenproben sind bei 105°C getrocknet und mit einer Pflanzenmühle gemahlen worden. Anschließend sind sie ohne weitere Vorbereitung mit Hilfe einer Hochdruckpresse unter Zugabe von ca. 4 g Wachspulver zu Pellets gepresst worden, die anschließend mit dem Röntgenfluoreszenzspektrometer untersucht worden sind.

In diesem Bericht wird lediglich der Schwermetallgehalt von 12 Grünschnittproben der beiden Untersuchungsjahre (1999, 2000) mit dem Gesamtgehalt der Oberböden korreliert und diskutiert (Kap. 5.1.7.3 und Kap. 5.1.7.4.10). Die Diskussion aller übrigen Parameter ist in FRANKE & SPATZ (2001) zu finden.

Insgesamt wurden 338 Bodenwasserproben und 194 Grundwasserproben untersucht. Von den 307 untersuchten Bodenproben stammen 72 Proben von Auswahlflächen des Schwerpunktes von Christian Franke und 35 Bodenproben wurden zusätzlich von Bernd Redecker in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Weitere 54 Proben wurden

Schürfen entnommen und insgesamt 146 Oberflächenproben wurden an zwei bzw. drei Terminen in den Jahren 1999 und 2000 untersucht. Die Gesamtelementgehalte wurden in 360 Grünschnittpflanzen ermittelt.

4.4 Vermessung der geologischen Bohrpunkte und der Grundwasserbrunnen

Die Vermessung wurde mithilfe eines Elektro – Optischen Ingenieurtachymeters von Leica (Fachhochschule Nordostniedersachsen, Fachbereich Bauingenieurwesen, Suderburg) und eines Global Positioning System (GPS) Handgerätes der Firma Garmin durchgeführt. Von den Katasterämtern Lüneburg und Lüchow zur Verfügung gestellten Daten konnten weitgehend genutzt werden. Im Laufe der Vermessungsarbeiten auf Gelände des Auswahlbetriebes 4 wurde festgestellt, dass viele Katasterfestpunkte nicht mehr auffindbar oder zerstört sind. Aus den Katasterfestlegungsskizzen wurden benötigte Punkte weitestgehend wiederhergestellt, wo dies nicht möglich war, wurden aus der Deutschen Grundkarte im Maßstab 1:5.000 (DGK5) für jede der drei Messungen topographisch auffallende Punkte wie Wegkreuzungen und Häuserecken in ihren Koordinaten bestimmt. Die Abweichung von der Realität liegt dabei unter 5 m. Die Höhen der eingemessenen Punkte auf Gelände des Betriebes 4 wurden von einem wiederhergestellten Katasterfestpunkt auf dem Deich auf die Punkte des Deichvorlandes übertragen, eine genaue Höhenbestimmung der abseits gelegenen Punkte auf den Schlägen R32 und R9 ist jedoch mit den vorhandenen Katasterunterlagen nicht möglich gewesen. Die Höhen für diese Bohrstellen basieren auf einer GPS – Messung und können wegen mangelnder Präzision nur als relativ angesehen werden und entsprechen nicht der tatsächlichen ü NN Höhe, da das amerikanische GPS nicht auf dem mittleren Amsterdamer Pegel basiert. Die Ergebnisse der Vermessung sind den jeweiligen Bohrprofilen vorangestellt (Höhe ü NN), die Lage der Bohrpunkte auf den untersuchten Flächen der Auswahlbetriebe ist den Abbildungen 5.1 bis 5.4 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Vermessung wurden mit dem CAD Programm Allplan V15 der Firma Nemetschek visualisiert (Kap. 5.1.5).

5. Darstellung der Ergebnisse

5.1. Boden

5.1.1 Untersuchungsziel

Das Bodenuntersuchungsprogramm zielt im wesentlichen auf Fragen der aktuellen Nährstoffversorgung und Beschaffenheit der Oberböden und das Verlagerungspotential sowie auf die Darstellung der Filter-, Puffer- und Transformationseigenschaften des gesamten Bodenkörpers ab. Gleichfalls sollen auftretende Belastungen aufgezeigt und mit dem Potential der Böden verglichen werden, um Stoffausträge in das Grundwasser zu vermeiden oder zu vermindern, beziehungsweise einen Schutz des Bodens und der Umwelt zu gewährleisten. Falls erforderlich, werden Handlungsanweisungen für die landwirtschaftliche Nutzung aufgezeigt.

5.1.2 Flächenauswahl und Übersicht

Die in das Untersuchungsprogramm aufgenommenen Flächen sind hinsichtlich ihrer Lage, Nutzung, Düngung, Vegetation, Wasser- und Oberbodenverhältnisse zu unterscheiden. Eine Auflistung sämtlicher Flächen und deren Beschreibung zeigen die Tabellen 5.1-5.4. Insgesamt wurden unterschiedlich bewirtschaftete Flächen von vier Betrieben binnen- sowie außendeichs gelegen untersucht (Abb. 5.1-5.4).

Tab. 5.1: Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 1)

Probe	Fläche	Landschaft	Nutzung / Düngung 1999 (ARUM 2000)	Vegetation 1999-2000 (REDECKER 2000, 2001)	Wasser- verhältnisse	Oberboden- verhältnisse / Bodentyp (ARUM 2000, 2001)
					S: Saugkerzen, B: Brunnen	
1	C1f Mitte	Stromland- Außendeich	Nachweide (ab ca. 1.6.) / Jauche (15.3.), Düngung (min.+org.) (1.4.,1.6.)	Quecke, Fuchsschwanz, wenig Kräuter	Winter/Sommer- Hochwasser	schwach toniger Lehm / Gley
2	C1f	Stromland- Außendeich	Nachweide (ab ca. 1.6.) / Jauche (15.3.), Düngung (min.+org.) (1.4.,1.6.)	Quecke, Fuchsschwanz, wenig Kräuter	Winter/Sommer- Hochwasser	schwach toniger Lehm / Gley
3	C5 S' Teil	Stromland- Außendeich	Schnittwiese, 2-schüurig (5.7., 28.9.) / min. N- Düngung zum 2. Schnitt	Brenndolde	Winter/Sommer- Hochwasser, wechselfeucht; S1-3, B12, Regenmesser	schwach schluffiger Ton / Gley, Auenboden
4	C5 N' Teil	Stromland- Außendeich	Schnittwiese, 2-schüurig (5.7., 28.9.) / min. N- Düngung zum 2. Schnitt	Sumpflatt- erbse	Winter/Sommer- Hochwasser, wechselfeucht; S4-6, B13	schwach schluffiger Ton / Gley, Auenboden
5	C6	Stromland- Außendeich	Schnittwiese, 2-schüurig (5.7., 28.9.) / min. N-	Fuchssegge	wechselfeucht	mittel toniger Lehm / Gley

5. Darstellung der Ergebnisse

			Düngung zum 2. Schnitt			
6	C6	Stromland-Außendeich	Schnittwiese, 2-schurig (5.7., 28.9.) / min. N-Düngung zum 2. Schnitt	Brenndolde	wechselfeucht	mittel schluffiger Ton / Gley
7	C7	Stromland-Außendeich	Schnittwiese, 2-schurig (5.7., 28.9.) / min. N-Düngung zum 2. Schnitt	Straußampfer, Margerite	wechselfeucht; B14	schwach toniger Lehm / Gley
8	C28 SW' 1/3	Stromland-Binnendeich	Acker / Klärschlamm min. N-Düngung (Frühjahr, Schossen, Ährengabe)	Wintergetreide (1999), Brache (2000); angrenzend: Schilf und Bruchwald	Qualmwasser	stark lehmiger Sand / Gley
9	C28 mittleres 1/3	Stromland-Binnendeich	Acker / Klärschlamm min. N-Düngung (Frühjahr, Schossen, Ährengabe)	Wintergetreide (1999), Brache (2000), angrenzend: Bruchwald	Qualmwasser	Sand / Gley
10	C28 NE' 1/3	Stromland-Binnendeich	Acker / Klärschlamm min. N-Düngung (Frühjahr, Schossen, Ährengabe)	Wintergetreide (1999), Brache (2000)	Qualmwasser; S7-10, B11	lehmiger Sand / Auenboden-Gley

Tab. 5.2: Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 4)

Probe	Fläche	Landschaft	Nutzung / Düngung 1999 (ARUM 2000)	Vegetation 1999-2000 (REDECKER 2000, 2001)	Wasser- verhältnisse	Oberboden- verhältnisse / Bodentyp (ARUM 2000, 2001)
					S: Saugkerzen, B: Brunnen	
11	R9	Stromland-Binnendeich	Hofweide (ab Ende April) / Rindergülle, N-Düngung (min.+org.)	Weidelgras, Weißklee, angrenzend: Bruchwald	Frühjahr: Staunässe	sandig-toniger Lehm/ Gley
12	R1	Stromland-Außendeich	Allmendweide (ab Ende April) / keine Düngung	Queckenflur	Frühjahr: Hochwasser	schwach toniger Lehm / Gley
13	R1	Stromland-Außendeich	Allmendweide (ab Ende April) / keine Düngung	Queckenflur, Klee	Frühjahr: Hochwasser	schluffiger Lehm / Gley, Auenboden
14	R2a	Stromland-Außendeich	Nachweide, Mahd (3.6., 25.8.) / keine Düngung seit Nationalpark	Silgenwiese an der Ulme	Frühjahr: Hochwasser; B4	mittel schluffiger Ton / Gley- Auenboden
15	R2c	Stromland-Außendeich	Nachweide, Mahd (3.6., 25.8.) / keine Düngung seit Nationalpark	Straußampfer, Margerite (niedrige)	Frühjahr: Hochwasser	schwach toniger Lehm / Gley- Auen-, Stau- wasserboden

5. Darstellung der Ergebnisse

16	R16a NE' Teil	Stromland- Außendeich	Acker / Rindergülle, Düngung (min. +org.)	Mais (1999), Gerste (2000)	Winter- Hochwasser	mittel sandiger Lehm / Gley, Auenboden
17	R16a SW' Teil	Stromland- Außendeich	Acker / Rindergülle, Düngung (min. +org.)	Mais (1999), Gerste (2000)	Winter- Hochwasser; S11-13, B7	lehmiger Sand / Gley, Auenboden
18	R2d	Stromland- Außendeich	Nachweide, Mahd (3.6., 25.8.) / keine Düngung seit Nationalpark	Straußampfer, Margerite (hohe)	Frühjahr: Hochwasser; S14-16, B6	lehmiger Sand / Gley, Auenboden
19	R7	Stromland- Außendeich	Nachweide, Mahd (3.6., 25.8.) / keine Düngung seit Nationalpark	Brenndolde	Frühjahr: Hochwasser; S17-19, B5, Regenmesser	schwach toniger Lehm / Auenboden
20	R32	Geestinsel	Acker / Rindergülle, Düngung (min. +org.)	Mais (1999), Roggen (2000)	Grundwasser- fern; S20-22	Sand / Podsol, Stauwasser- boden, Braunerde

Tab. 5.3: Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 2)

Probe	Fläche	Landschaft	Nutzung / Düngung 1999 (ARUM 2000)	Vegetation 1999-2000 (REDECKER 2000, 2001)	Wasser- verhältnisse	Oberboden- verhältnisse / Bodentyp (ARUM 2000, 2001)
					S: Saugkerzen, B: Brunnen	
21	Z111	Stromland- Binnendeich	Acker / Rindergülle, Düngung (min. +org.)	Raps (1999) nach 3x Mais, Weizen (2000)	Grundwasser- anschluß, angrenzend: Krainke; S23-25, B8	stark lehmiger Sand / Auen- Stauwasser- boden
22	Z464d	Talsand	Acker / Rindergülle, Düngung (min. +org.)	Mais (1999) seit 10 Jahren, Raps (2000)	Grundwasser- fern, sporadisch; S26-28, B9	Sand / Gley- Podsol
23	Z175	Stromland- Binnendeich	Acker / Rindergülle, Düngung (min. +org.)	Weizen	Grundwasser- anschluß, Qualmwasser; S29-31, B10, Regenmesser	schwach toniger Lehm / Auen- Stauwasser- boden
24	Z300 höherer Vordeich- bereich	Stromland- Außendeich	Schnittwiese (18.5.) / keine Düngung	Silgenwiese	Winter- Hochwasser	schwach toniger Lehm / Gley- Auenboden
25	Z326a (Koppel 38)	Stromland- Binnendeich	Umtriebsweide (ab Ende April) / min. N-Düngung	Weidelgras, Weißklee, Silge	anstehendes Grundwasser, Qualmwasser	schwach schluffiger Ton / Auenboden
26	Z323 (Koppel 58)	Stromland- Binnendeich	Umtriebsweide (ab Ende April) / min. N-Düngung	Weidelgras, Weißklee	anstehendes Grundwasser, Qualmwasser	mittel toniger Lehm / Auen- Stauwasser- boden
27	Z322 (Koppel 60)	Stromland- Binnendeich	Umtriebsweide (ab Ende April) / min. N-Düngung	Fuchsschwanz	anstehendes Grundwasser, Qualmwasser	sandig-toniger Lehm / Auen- Stauwasser- boden

Tab. 5.4: Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 6)

Probe	Fläche	Landschaft	Nutzung / Düngung 1999 (ARUM 2000)	Vegetation 1999-2000 (REDECKER 2000, 2001)	Wasser- verhältnisse	Oberboden- verhältnisse / Bodentyp (ARUM 2000, 2001)
					S: Saugkerzen, B: Brunnen	
28	F8/5 (Senke)	Stromland- Außendeich	Schnittwiese , 2-schüurig (22.6., 1.9.) / min. N-Düngung (15.6.)	Sumpflatt- erbse	Grundwasser- anschluß (Elbe/Aland), Winter- Hochwasser	schwach schluffiger Ton / Gley
29	F8/4 (Rücken)	Stromland- Außendeich	Schnittwiese , 2-schüurig (22.6., 1.9.) / min. N-Düngung (15.6.)	Brenndolde	Grundwasser- anschluß (Elbe/Aland), Winter- Hochwasser; B3	schwach schluffiger Ton / Gley
30	F8/3 (Senke)	Stromland- Außendeich	Schnittwiese , 2-schüurig (22.6., 1.9.) / min. N-Düngung (15.6.)	Sumpflatt- erbse	Grundwasser- anschluß (Elbe/Aland), Winter- Hochwasser; B2, Regenmesser	schwach schluffiger Ton / Gley
31	F8/2 (Rücken)	Stromland- Außendeich	Schnittwiese , 2-schüurig (22.6., 1.9.) / min. N-Düngung (15.6.)	Brenndolde	Grundwasser- anschluß (Elbe/Aland), Winter- Hochwasser	schwach schluffiger Ton / Gley
32	F8/1 (höherer Bereich)	Stromland- Außendeich	Schnittwiese , 2-schüurig (22.6., 1.9.) / min. N-Düngung (15.6.)	Silge (Straußampfer, Margerite)	Grundwasser- anschluß (Elbe/Aland), Winter- Hochwasser; B1	schwach schluffiger Ton / Gley
33	F8/3	Stromland- Außendeich	Schnittwiese , 2-schüurig (22.6., 1.9.) / min. N-Düngung (15.6.)	Wasser- schwaden- röhricht	Grundwasser- anschluß (Elbe/Aland), Winter- Hochwasser	schwach schluffiger Ton / Gley
28B	F8/5 (Senke)	Stromland- Außendeich	Schnittwiese , 2-schüurig (22.6., 1.9.) / min. N-Düngung (15.6.)	Schlickauflage	Grundwasser- anschluß (Elbe/Aland), Winter- Hochwasser	schwach schluffiger Ton / Gley

5.1.3 Oberboden

Zum ersten Beprobungstermin (April 1999) wurden 33 Oberbodenproben (0-30 cm) entnommen, wobei Schläge mit abweichenden Eigenschaften an mehreren Stellen beprobt wurden (Anhang 1.1). Ab dem zweiten Beprobungstermin fielen die Proben 1, 13 und 25 (graue Felder) weg, ab der dritten Probenahme im November/Dezember 1999 wurden die Proben 5 und 6; 8,9 und 10; 16 und 17 sowie 30 und 33 zusammengefasst. Die Probe 28B wurde einmalig nach der Überflutung 1999 genommen. Es handelt sich dabei um die dünne Schlickauflage, die nach einer Überschwemmung auf dem Boden zurückbleibt.

Während des Beprobungszeitraumes - von April 99 bis Oktober 2000 - fand ein Nutzungswechsel auf der Fläche C28 und Kulturwechsel auf den Ackerschlägen R16, R32, Z111 und Z464d statt.

Die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung des Oberbodens sind in der Spalte „Oberbodenverhältnisse“ der Tabellen 5.1-5.4 vermerkt. Dieser Parameter ist nur eingangs einmalig untersucht worden, die übrigen Ergebnisse der Oberbodenuntersuchungen werden ausführlich in Kapitel 5.1.8 diskutiert.

Der Oberboden der Außendeichsflächen vom Betrieb 1 ist überwiegend tonig-lehmig, der der Binnendeichsfläche sandig-lehmig ausgebildet. Die binnendeichsgelegene Ackerfläche vom Betrieb 4 führt als Bodenart im Oberboden einen Sand. Auf den außendeichsgelegenen Flächen sind vorwiegend lehmig-tonige Oberböden vertreten, die auf den Schlägen R16 und R2d deutlich sandiger ausgebildet sind. Die binnendeichsgelegene Hofweide führt einen sandig-lehmig-tonigen Oberboden. Die Außendeichsfläche sowie die Binnendeichsflächen vom Betrieb 2 zeigen einen überwiegend lehmigen Oberboden. Nur die Fläche Z464d weist im Oberboden einen Sand als Bodenart auf. Die Außendeichsflächen vom Betrieb 6 sind insgesamt sehr tonig ausgebildet.

5.1.4 Bodentypen und Geologie

Der überwiegende Teil der untersuchten Flächen liegt im Einflussbereich der Elbe und ihrer Nebenflüsse (Aland, Radegaster Haken, Krainke), so dass es sich bei den vorgefundenen Ablagerungen um fluviatile Sedimente (überwiegend Auelehm) handelt. Die Flächen werden regelmäßig überflutet respektive das Grundwasser hat einen Einfluss auf die Bodenentstehung, somit sind vorwiegend Auenböden und Gleye ausgebildet. Während der Grundwasserstand der Auenböden sehr stark schwankt und im allgemeinen mit dem Flusswasserspiegel korrespondiert, liegt der oberste hydromorphe Horizont der Gleye definitionsgemäß bei ≤ 4 dm unter Geländeoberkante.

Der Standort R32 liegt am Rand des Langendorfer Geestrückens und ist somit dem glazifluviatilen Ablagerungsraum (Geschiebelehm) zuzuordnen. Auf diesem Standort ist eine Braunerde ausgebildet, die sich im gemäßigt-humiden Klima aus den pleistozänen und holozänen Sanden entwickelt hat. Eine Weiterentwicklung stellt der auf Z464d ausgebildete Podsol dar.

Der jeweilige Bodentyp der untersuchten Flächen ist in den Tabellen 5.1-5.4 in Spalte 7 aufgeführt. Die Angaben stammen aus den GIS-Bearbeitungen der Bodenübersichtskarten (BÜK50) L2730 Boizenburg und L2932 Dannenberg des Büros ARUM (2000).

Demzufolge dominieren Gleye und Auenböden auf den Flächen der Betriebe 1,4 und 6. Sie sind dem fluviatilen Ablagerungsraum der Auen und Niederterrassen zuzuordnen. Eine Ausnahme stellt die auf einer Altmoränenscholle gelegene Fläche R32 dar, wo sich ein Braunerde-Podsol ausgebildet hat.

Auf den Flächen des Betriebes 2 ist der Auenpseudogley (Auenboden-Pseudogley) weit verbreitet. Ein Gley-Podsol ist auf der Fläche Z464d anzutreffen. Die Ausbildungen der Auenpseudogleye sind wiederum dem fluviatilen Ablagerungsraum der Auen und Niederterrassen zuzuordnen, wohingegen der Gley-Podsol auf einem Talsand entstand.

Betrieb 1 (Bodenkarte 25; 2630 Boizenburg; BENZLER 1967)

Fläche C1f (Probe 1/2): Die Ablagerungen sind sandig bis lehmig-sandig ausgebildet. Als Bodentyp ist ein Brauner Auenboden (Vega) anzutreffen.

Fläche C5 s' Teil (Probe 3): Die Ablagerungen sind sandig bis lehmig-sandig ausgebildet. Als Bodentyp ist ein Brauner Auenboden (Vega) anzutreffen.

Fläche C5 n' Teil (Probe 4): Die Ablagerungen sind sandig bis lehmig-sandig ausgebildet. Als Bodentyp ist ein Brauner Auenboden (Vega) anzutreffen.

Fläche C6 (Probe 5/6): Die Ablagerungen sind schluffig-lehmig ausgebildet. Als Bodentyp ist ein Junger Auenboden (Paternia) anzutreffen.

Fläche C7 (Probe 7): Die Ablagerungen der Teilfläche C7a werden von einem Sand bis lehmigen Sand gebildet. Als Bodentyp tritt der Braune Auenboden (Vega) auf. Auf der schluffig-lehmigen Ablagerung der Teilfläche C7b ist dagegen ein Junger Auenboden (Paternia) ausgebildet.

Fläche C28 (Probe 8-10): Die Ablagerungen sind schluffig-lehmig ausgebildet. Als Bodentyp ist ein Brauner Auenboden (Vega) anzutreffen.

Betrieb 4 (GÜK 200; REUTER 1975)

Fläche R9 (Probe 11): Über weichselzeitlichen Ablagerungen treten fluviatile Sedimente (Auelehm, Auesand) des Holozäns auf. Als Bodentyp tritt ein Gley-Pseudogley auf (ARUM).

Fläche R1 (Probe 12/13): Es treten holozäne fluviatile Sedimente (Auelehm, Auesand) auf. Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Fläche R2a (Probe 14): Es treten holozäne fluviatile Sedimente (Auelehm, Auesand) auf. Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Fläche R2c (Probe 15): Es treten holozäne Sedimente auf. Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Fläche R16a (Probe 16/17): Es treten holozäne Sedimente auf. Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Fläche R2d (Probe 18): Es treten holozäne Sedimente auf. Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Fläche R7 (Probe 19): Es treten holozäne Sedimente auf. Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Fläche R32 (Probe 20): Es treten Grundmoränenablagerungen (Geschiebelehm, Geschiebemergel) auf. Der Bodentyp wird als Braunerde bis Podsol (ARUM, 2000) angegeben.

Betrieb 2 (CASPER & SCHWARZ 1996, unveröffentlichter Bericht zur geologischen Übersichtskartierung von Amt Neuhaus, NLFb)

Fläche Z111 (Probe 21): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier über dem Auesand liegt. Bodentyp: Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM,2000).

Fläche Z464d (Probe 22): Die Ablagerungen sind sandig und führen lagenweise Schluff. Sie sind demnach dem Auesand zuzuordnen. Bodentyp: Gley-Podsol (ARUM,2000).

Fläche Z175 (Probe 23): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier über dem Auesand liegt. Bodentyp: Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM,2000).

Fläche Z300 (Probe 24): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier z.T. über dem Auesand liegt. Bodentyp: Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM,2000).

Fläche Z323 (Probe 26): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier z.T. über dem Auesand liegt. Bodentyp: Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM,2000).

Fläche Z322 (Probe 27): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier z.T. über dem Auesand liegt. Bodentyp: Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM,2000).

Betrieb 6 (Deutsche Grundkarte 5; Gummern 2935; NLFb 1976)

Fläche F8 (Probe 28-33): Die untersuchten Flächen dieses Betriebes bestehen aus holozänen Sedimenten (Auelehm, Auesand) des Elbetales. Die tonig-schluffigen Ablagerungen des Auelehms liegen über fluviatilem Sand. Als Bodentyp wird ein mitteltiefer, verbraunter Auenboden angegeben. In Flutmulden kommt es zur Ausbildung von Auengleyen.

5.1.5 Flächenspezifischer geologischer Schichtenaufbau und Ergebnisse der topographischen Untersuchungen

Da sich der Aufbau des Untergrundes aufgrund des Ablagerungsraumes zwangsläufig kleinräumig ändert, wird pro Fläche jeweils ein charakteristisches Profil abgebildet und kurz beschrieben. Ergänzend wird auf die Besonderheiten bzw. Abweichungen im geologischen Schichtenaufbau der weiteren Tiefenprofile (vgl. Anhang 3) eingegangen. Die Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen geht aus den Abbildungen 5.1-5-4 hervor. Zur Erstellung der Karten wurden Flächenrasterdaten aus einem GIS-Projekt des Büro ARUM Hannover benutzt.

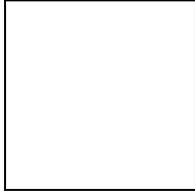


Abb. 5.1: Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen von Betrieb 1

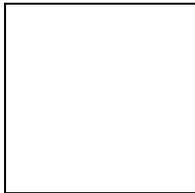


Abb. 5.2: Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen von Betrieb 4

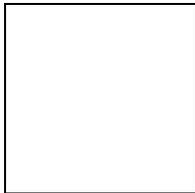


Abb. 5.3: Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen von Betrieb 2

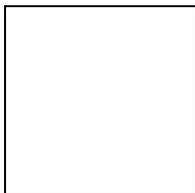


Abb. 5.4: Lage der Bohrprofile und der Grundwasserbrunnen von Betrieb 6

Die Bezeichnung der Einzelbohrung folgt dabei folgender Systematik: Beispiel: Flächenbezeichnung C1f ; Bezeichnung der Bodenprobe: Probe 1/2; Lage/Tiefenprofil 12a. Die Bohrprofile einer Fläche besitzen die gleiche Nummer, die Einzelbohrungen sind fortlaufend alphabetisch gekennzeichnet worden. Die Lage der Grundwasserbrunnen und ihre geologische Untergrundbeschaffenheit ist der zugehörigen Bohrung zu entnehmen (Tab. 5.5 und Abb. 5.1-5.4).

Tab. 5.5: Lage der Grundwasserbrunnen zur benachbarten Bohrung

Grundwasserbrunnen/Fläche	Bohrung
B 1 (F8/1)	23f

5. Darstellung der Ergebnisse

B 2	(F8/3)	23c
B 3	(F8/4)	23h
B 4	(R2a)	2a
B 5	(R7)	8a
B 6	(R2d)	6a
B 7	(R16 SW-Teil)	4a
B 8	(Z111)	17a
B 9	(Z464d)	19a
B 10	(Z175)	18a
B 11	(C28 NE1/3)	13a
B 12	(C5 S-Teil)	14a
B 13	(C5 N-Teil)	15a
B 14	(C7)	16a

Betrieb 1

Die untersuchten Flächen dieses Betriebes bestehen aus holozänen Sedimenten (Auelehm, Auesand) des Elbetales.

Fläche C1f (Probe 1/2): Die Ablagerungen sind sandig bis lehmig-sandig ausgebildet. Als Bodentyp ist der Braune Auenboden (Vega) anzutreffen (Kap. 5.1.4). Auf der Fläche wurden 2 Bohrungen bis 2,7 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 12b (Abb. 5.5) weist unter einem 15 cm mächtigen Schluffhorizont einen 0,9 m mächtigen lehmig-schluffigen Sand auf. Im Profil 12a (vgl. Anhang 3) ist im oberen 1 m eine schluffig-sandige Wechsellagerung ausgebildet. Ab 1 m Tiefe folgt ein Fein- bis Mittelsand, der unterhalb von 2,5 m Tiefe in Mittelsand mit Feinkieskomponenten übergeht. Im Profil 12a tritt in ca. 2 m Tiefe eine 20 cm mächtige Grobsandlage auf. Die Bohrung 12b wurde auf einer leichten Anhöhe niedergebracht und ist im oberen Meter deutlich sandiger als Bohrung 12a ausgebildet.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 12b bei 2,45 m u GOK.

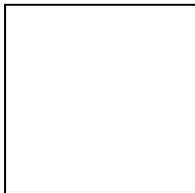


Abb. 5.5: Tiefenprofil 12b - Fläche C1f

Fläche C5 s' Teil (Probe 3): Die Ablagerungen sind sandig bis lehmig-sandig ausgebildet. Den Bodentyp bildet ein Brauner Auenboden (Vega) (Kap. 5.1.4). Auf der Fläche wurden 2 Bohrungen bis 2,9 m bzw. 1,9 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Im Tiefenprofil 14b (Abb. 5.6) wurde eine 60 cm mächtige schluffig-lehmige Abfolge erbohrt, die im Profil 14a (vgl. Anhang 3) 90 cm mächtig ist. Darunter folgt bis 1,4 m Tiefe ein schwach lehmiger Sand (Sl2) und bis 2,9 m Tiefe ein Mittelsand. Im Profil 14a beginnt der Mittelsandhorizont direkt unter der schluffig-lehmigen Abfolge und führt partielle Einschaltungen von mittel sandigem Ton (Ts3).

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 14b bei 1,1 m u GOK.

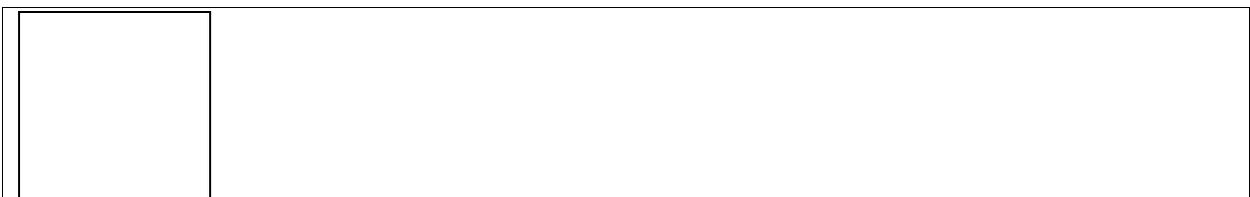


Abb. 5.6: Tiefenprofil 14b – Fläche C5 S' Teil

Fläche C5 n' Teil (Probe 4): Die Ablagerungen sind sandig bis lehmig-sandig ausgebildet. Als Bodentyp ist ein Brauner Auenboden (Vega) anzutreffen (Kap. 5.1.4). Auf der Fläche wurden 2 Bohrungen bis 2,8 m bzw. 2,1 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. Der obere 1 m ist im Profil 15b (Abb. 5.7) schluffig (Ut4) ausgebildet, darunter folgt bis 2,1 m Tiefe ein lehmiger bis leicht toniger Sand. Im Profil 15a (vgl. Anhang 3) tritt der Sand bereits ab einer Tiefe von 0,5 m auf und geht ab 1,7 m Tiefe in einen mindestens 1 m mächtigen Fein- bis Mittelsandhorizont über. Zwischen 0,9 m und 1,4 m Tiefe lag ein Kernverlust vor. Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 15b bei 1,2 m u GOK.



Abb. 5.7: Tiefenprofil 15b – Fläche C5 N' Teil

Fläche C6 (Probe 5/6): Die Ablagerungen sind schluffig-lehmig ausgebildet. Als Bodentyp ist ein Junger Auenboden (Paternia) anzutreffen (Kap. 5.1.4). Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,8 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. Die oberen 60 cm der Bohrung 10a (Abb. 5.8) sind schluffig ausgebildet. Unter dem Schluff, der mit zunehmender Tiefe toniger wird, tritt eine 30 cm mächtige sandige Lage auf. Zwischen 0,95 m und 1,4 m Tiefe ist ein Tonhorizont ausgebildet. Darunter liegt eine mindestens 1,4 m mächtige Sandabfolge, die neben Fein- und Mittelsand auch Grobsandkomponenten führt. Im Profil 10b (vgl. Anhang 3), das auf einer kleinen Anhöhe genommen wurde, fehlt der Tonhorizont, während im Profil 10c (vgl. Anhang 3) (in Grabennähe, ca. 1,4 m tiefer als Profil 10a) bereits unter einer 0,15 m mächtigen Schlufflage stark schluffiger Ton (Tu4) auftritt. Darunter tritt ab 0,5 m Tiefe eine sandig-tonige Abfolge auf, die ab 0,9 m Tiefe von der Konsistenz stark flüssig und nicht mehr bestimmbar wird. Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 10a bei ca. 1,0 m u GOK.

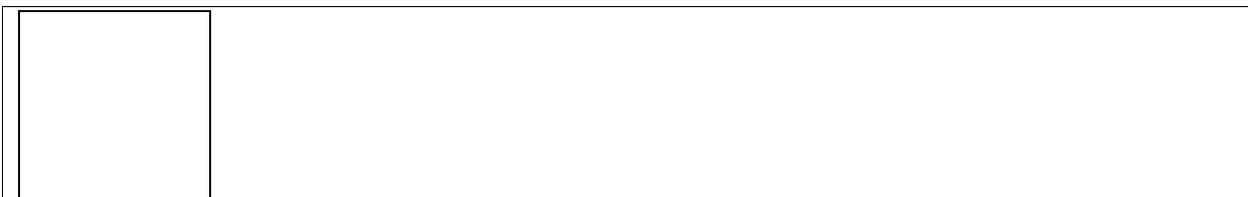


Abb. 5.8: Tiefenprofil 10a – Fläche C6

Fläche C7 (Probe 7): Die Ablagerungen der Teilfläche C7a werden von einem Sand bis lehmigen Sand gebildet. Als Bodentyp tritt der Braune Auenboden (Vega) auf (Kap. 5.1.4). Auf den schluffig-lehmigen Ablagerung der Teilfläche C7b ist dagegen ein Junger Auenboden (Paternia) ausgebildet. Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,8 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. Bis 0,3 m Tiefe liegt im Profil 16a (Abb. 5.9) ein Schluff vor, der von einem 50 cm mächtigen Lehm (Ls2) unterlagert wird. Darunter ist bis in 2 m Tiefe eine sandige Abfolge ausgebildet. Unter dem schwach tonigen Sand tritt eine mindestens 70 cm mächtige Tonlage auf. Die geologische Abfolge im Tiefenprofil 16b (vgl. Anhang 3) ist gleich, nur die Mächtigkeit der

5. Darstellung der Ergebnisse

einzelnen Horizonte variiert; bis 1,35 m Tiefe schluffig-lehmig, bis 2 m Tiefe sandig, dann tonig. Im Tiefenprofil 16c (vgl. Anhang 3), welches auf der Teilfläche C7b genommen wurde, tritt unter dem 50 cm mächtigen Schluffhorizont kein Lehm sondern Mittelsand auf. Der Tonhorizont liegt zwischen 1,3 m und 1,6 m Tiefe und wird von Sand unterlagert. Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 16b und 16c bei ca. 0,8 m u GOK.

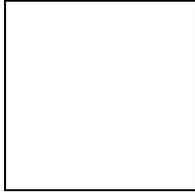


Abb. 5.9: Tiefenprofil 16a – Fläche C7

Fläche C28 (Probe 8-10): Die Ablagerungen sind schluffig-lehmig ausgebildet. Als Bodentyp ist ein Brauner Auenboden (Vega) anzutreffen (Kap.5.1.4). Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,9 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. Das Tiefenprofil 13c (Abb. 5.10) zeigt eine 65 cm mächtige mittel bis schwach schluffige Abfolge, die zwischen 0,65 m und 1,85 m lehmig ausgebildet ist. Darunter tritt ein ca. 1 m mächtiger schwach bis mittel schluffiger Ton auf. In den Tiefenprofilen 13a und 13b (vgl. Anhang 3) fehlt der Lehm. Stattdessen beginnt der Ton bei 0,8 m Tiefe (Profil 13b) bzw. bei 1,6 m Tiefe (Profil 13a). Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 13c bei 1,4 m u GOK.

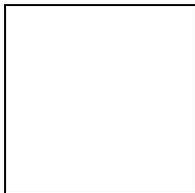


Abb. 5.10: Tiefenprofil 13c – Fläche C28

Die Abbildung 5.11 bringt die räumliche Faziesverbreitung der untersuchten Flächen des Auswahlbetriebes 1 zur Darstellung.

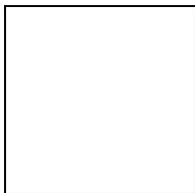


Abb. 5.11: Räumliche Verbreitung der geologischen Schichtglieder im Gebiet des Auswahlbetriebes 1 (Blockbild)

Betrieb 4

Die untersuchten Flächen dieses Betriebes bestehen neben holozänen Sedimenten (Auelehm, Auesand) des Elbetales aus Grundmoränenablagerungen (Geschiebemergel, Geschiebelehm).

Fläche R9 (Probe 11): Über weichselzeitlichen Ablagerungen treten fluviatile Sedimente (Auelehm, Auesand) des Holozäns auf (Kap. 5.1.4). Als Bodentyp tritt ein Gley-Pseudogley auf (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 3,0 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 9b (Abb. 5.12) zeigt als charakteristische Abfolge Schluff über schluffigem Ton, der von einem mächtigen Sandhorizont unterlagert wird. In allen drei Profilen (vgl. Anhang 3) tritt unterhalb von 0,45 m ein mindestens 2 m mächtiger Sandkörper auf, der jedoch sehr unterschiedlich ausgebildet ist. Neben Korngrößenwechseln von Feinsand bis hin zu 2 cm großen Kiesen, treten Wechsel in der Färbung auf.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 9b bei 0,5 m u GOK.

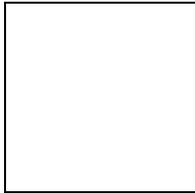


Abb. 5.12: Tiefenprofil 9b – Fläche R9

Fläche R1 (Probe 12/13): Es treten holozäne fluviatile Sedimente (Auelehm, Auesand) auf (Kap. 5.1.4). Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,0 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 3b (Abb. 5.13) zeigt die Abfolge von Schluff (20 cm mächtig) über mittel tonigem Sand (St3) und Mittelsand. In der Bohrung 3c (vgl. Anhang 3) wurde der St3-Horizont nicht angetroffen, während er in der Bohrung 3a (vgl. Anhang 3) doppelt so mächtig ist, wie in Bohrung 3b. Der Sandhorizont ist bis zu 1,7 m mächtig und von der Korngröße ein Mittel- bis z.T. Grobsand.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 3b bei 0,25 m u GOK.

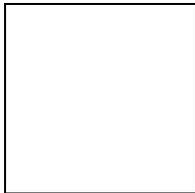


Abb. 5.13: Tiefenprofil 3b – Fläche R1

Fläche R2a (Probe 14): Es treten holozäne fluviatile Sedimente (Auelehm, Auesand) auf (Kap. 5.1.4). Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,85 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Im Tiefenprofil 2a (5.14) liegt ein 80 cm mächtiger Schluff vor, der von einem 15 cm mächtigen stark sandigen Ton (Ts4) unterlagert wird. Darunter folgt ein ca. 2 m mächtiger Mittelsand. In der Bohrung 2c (vgl. Anhang 3) ist der Tonhorizont zum einem mächtiger (40 cm) ausgebildet zum anderen mit stark schluffig (Tu4) bestimmt worden. In der Bohrung 2b (vgl. Anhang 3) ist der Tonhorizont ebenfalls als Tu4 eingestuft worden und mindestens 85 cm mächtig. Der Sandhorizont ist in der Bohrung 2c mit Grobsandanteilen und Feinkieskomponenten deutlich grobkörniger, als in der Bohrung 2a.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 2a bei 1,1 m u GOK.

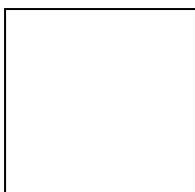


Abb. 5.14: Tiefenprofil 2a – Fläche R2a

Fläche R2c (Probe 15): Es treten holozäne Sedimente auf (Kap. 5.1.4). Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 3 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 5a (Abb. 5.15) stellt die charakteristische Abfolge von Schluff über Ton über Sand dar. Der Schluff reicht von 0 m bis 0,8 m Tiefe und ist mittel tonig. Der Ton liegt als 1,1 m mächtige Lage darunter. Er ist im oberen Bereich stark schluffig ausgebildet, während er im unteren Bereich schwach sandig ist. Darunter folgt ein 1 m mächtiger Mittelsandhorizont. In der Bohrung 5b (vgl. Anhang 3) beginnt der Tonhorizont ebenfalls in einer Tiefe von 0,8 m, ist jedoch mit 55 cm geringer mächtig. Der Sandhorizont ist hier im oberen Bereich toniger ausgebildet und weist Grobsandanteile auf. Im Profil 5c (vgl. Anhang 3) tritt unter dem Schluffhorizont in 1,1 m Tiefe ein 35 cm mächtiger Sand auf, erst darunter liegt der Tonhorizont.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 5a bei 1,1 m u GOK.

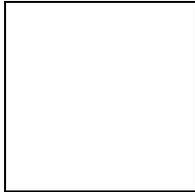


Abb. 5.15: Tiefenprofil 5a – Fläche R2c

Fläche R16a (Probe 16/17): Es treten holozäne Sedimente auf (Kap. 5.1.4). Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 4 Bohrungen bis maximal 3 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht, wobei auf die Bohrung 4c aufgrund von Kernverlusten nicht weiter eingegangen wird.

Das Tiefenprofil 4a (Abb. 5.16) zeigt einen 1,8 m mächtigen Schluffhorizont der von einem schluffig-lehmigen Sand unterlagert wird. In Bohrung 4b (vgl. Anhang 3) tritt der Schluff bis in mindestens 1,9 m Tiefe auf. Die Bohrungen 4c und 4d (vgl. Anhang 3) wurden geringfügig näher an der Elbe abgeteuft und zeigen einen völlig anderen geologischen Schichtenaufbau. In der Bohrung 4d liegt bis in 1,1 m Tiefe ein Sand vor, der von einem stark tonigen Schluff (70 cm mächtig) unterlagert wird. Unterhalb einer geringmächtigen Einschaltung von schluffigem Sand (Su3) folgt eine schluffig-sandige Tonabfolge von mindestens 1 m Mächtigkeit.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 4a bei 2,07 m u GOK, während er im Profil 4d bei 0,85 m u GOK lag.

5. Darstellung der Ergebnisse

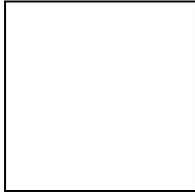


Foto 5.1: Bodenprobenahme auf der Fläche R16a

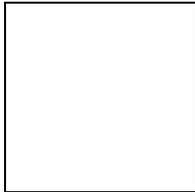


Abb. 5.16: Tiefenprofil 4a – Fläche R16a

Fläche R2d (Probe 18): Es treten holozäne Sedimente auf (Kap. 5.1.4). Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis 3 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. Die elbnaheste Bohrung 6a wurde auf einer kleinen Erhebung durchgeführt, die weiteren Bohrungen 6b und 6c liegen jeweils weiter von der Elbe entfernt.

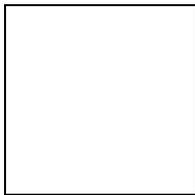


Foto 5.2: Bodenprobenahme auf der Fläche R2d

Das Tiefenprofil 6a (Abb. 5.17) wird bis in 1,2 m Tiefe von einem schluffigen Sandkörper aufgebaut. Darunter liegt eine 1,2 m mächtige Abfolge von Lehm und Ton vor. Ab 2,4 m Tiefe werden die Ablagerungen sandiger, wobei zwischen 2,55 m und mindestens 3 m Tiefe ein Mittelsand vorliegt. Eine ähnliche Abfolge wurde in der Bohrung 6c (vgl. Anhang 3) erbohrt. Hier liegt jedoch über dem oberen Sandhorizont ein 30 cm mächtiger Schluff. Der Sand ist mit ca. 80 cm geringer mächtig und schwach bis mittel tonig ausgeprägt. Darunter liegt ein 1,7 m mächtiger schluffiger Tonhorizont mit einer 20 cm mächtigen Lage von Lehm. Im Gegensatz zur Abfolge in Profil 6a dominiert hier der Ton. Unter dem Ton tritt Grobsand auf. Im Profil 6b (vgl. Anhang 3), welches zwischen den Profilen 6a und 6c erbohrt wurde, ist der Ton nur sehr geringmächtig (15 cm) ausgebildet. Bis 1,4 m Tiefe überwiegt der Schluff, darunter der Sand. Ab 1,8 m Tiefe tritt ein mindestens 1,2 m mächtiger Mittelsand auf. Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 6a bei 1,2 m u GOK, während er im Profil 6c bei 0,6 m u GOK lag.

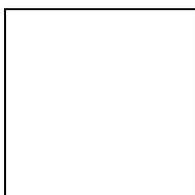


Abb. 5.17: Tiefenprofil 6a – R2d

Fläche R7 (Probe 19): Es treten holozäne Sedimente auf (Kap. 5.1.4). Der Gley ist der vorherrschende Bodentyp (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 2 Bohrungen bis maximal 2,95 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 8b (Abb. 5.18) zeigt die charakteristische Abfolge von Schluff, Ton, Lehm und Sand. Der Schluff wird mit der Tiefe toniger und ist bis zu 1,7 m mächtig (Profil 8a, vgl. Anhang 3). Der Ton ist 40-50 cm mächtig und wird von einem sandigen Lehm bzw. lehmigen Sand unterlagert. Ab einer Tiefe von 2,1 m bzw. 2,6 m tritt ein Mittelsand mit Grobsandeinschaltungen auf.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 8b bei 1,55 m u GOK.

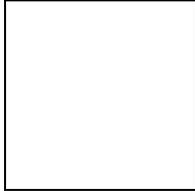


Abb. 5.18: Tiefenprofil 8b – Fläche R7

Fläche R32 (Probe 20): Es treten Grundmoränenablagerungen (Geschiebelehm, Geschiebemergel) auf (Kap. 5.1.4). Der Bodentyp wird als Braunerde mit Übergängen zum Podsol angegeben.

Auf der Fläche wurden 4 Bohrungen bis maximal 4,5 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. In einigen Bereichen gab es Lücken in der Bestimmung durch Kernverlust.

Ein typisches Tiefenprofil zeigt die Bohrung 1d (Abb. 5.19). In den oberen 0,7 m dominiert ein schwach schluffiger Sand. Unterhalb von 0,7 m treten mindestens 2,1 m mächtige Feinsande mit wechselnden Anteilen von Mittelsand und Grobsand auf. In den Bohrungen 1b und 1c (vgl. Anhang 3) treten vereinzelt Lagen von mittel lehmigem Sand (SI3) mit Feinkiesanteilen auf. In der Bohrung 1a (vgl. Anhang 3) tritt zwischen 1,5 m und 1,8 m Tiefe ein mittel schluffiger Ton (Tu3) auf, der von einem sehr feinen, lößartigen Sand (2,1 m mächtig) unterlagert wird.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 1d bei 1,45 m u GOK.

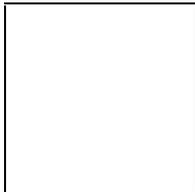


Abb. 5.19: Tiefenprofil 1d – Fläche R32

Die Bohrungen 6a–c, 7a–c und 8a-b wurden in einem rechtwinkligen Transsekt zum Verlauf der Elbe niedergebracht. Das Querprofil beginnt mit Bohrung 6a als elbnahste Bohrung und endet mit Bohrung 8b in der Nähe des Deiches. Während die oberen 0,65 m bis 1,2 m der Bohrungen 6a-c sandig-schluffig ausgebildet, sind in den Bohrungen 7a-c und 8a-b überwiegend tonige Schluffe anzutreffen. Darunter liegen in sämtlichen Bohrungen 0,75 m bis zu 1,8 m mächtige Tone und Lehme, die von tonigen Sanden unterlagert werden. Zwischen 1,8 m und 2,85 m Tiefe beginnt ein Mittelsand der lagenweise Grobsand führt.

Abbildung 5.20 zeigt die Morphologie und räumliche Verteilung der geologischen Fazies auf den R-Flächen des Auswahlbetriebes 4.

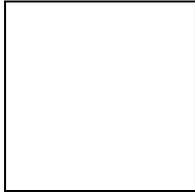


Abb. 5.20: Räumliche Verbreitung der geologischen Schichtglieder im Gebiet des Auswahlbetriebes 4 (Blockbild)

Betrieb 2

Die untersuchten Flächen dieses Betriebes bestehen aus holozänen Sedimenten (Auelehm, Auesand) des Elbetales.

Fläche Z111 (Probe 21): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier über dem Auesand liegt (Kap. 5.1.4). Bodentyp: Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,8 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 17c (Abb. 5.21) zeigt im oberen 1 m eine lehmig-tonige Abfolge, die zwischen 0,3 m und 0,9 m stark schluffig ausgebildet ist. Darunter folgt ein mindestens 1,7 m mächtiger Sand, der ab 1,45 m Tiefe Mittelsand mit Feinkiesen führt. In der Bohrung 17a (vgl. Anhang 3) sind die oberen 1,2 m lehmig-schluffig ausgebildet. Zwischen 0,3 m und 0,55 m und ab 1,2 m Tiefe tritt ein Mittelsand auf, der im tiefer gelegenen Horizont Feinkieslagen führt. In der Bohrung 17b (vgl. Anhang 3) tritt der Mittelsand bereits ab einer Tiefe von 0,6 m auf und führt ab 1,2 m Tiefe Grobsand- und Feinkieslagen.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 17c bei 1,28 m u GOK.

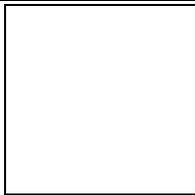


Abb. 5.21: Tiefenprofil 17c – Fläche Z111

Fläche Z464d (Probe 22): Die Ablagerungen sind sandig und führen lagenweise Schluff. Sie sind demnach dem Auesand zuzuordnen (Kap. 5.1.4). Bodentyp: Gley-Podsol (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,8 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 19c (Abb. 5.22) führt im oberen 1 m überwiegend Feinsand mit Mittelsandanteilen. Unterhalb von 1 m Tiefe liegt ein Mittelsand vor, der ab 1,5 m Tiefe Grobsandanteile aufweist. In der Bohrung 19b (vgl. Anhang 3) ist ebenfalls eine Zunahme der Korngröße mit der Tiefe festzustellen. In der Bohrung 19a (vgl. Anhang 3) liegt zwischen 0,4 m und 0,6 m Tiefe ein mittel lehmiger Sand (Sl3) vor.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 19c bei 1,95 m u GOK.

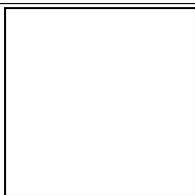


Abb. 5.22: Tiefenprofil 19c – Fläche Z464d

Fläche Z175 (Probe 23): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier über dem Auesand liegt (Kap. 5.1.4). Bodentyp: Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,5 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. In den oberen 30 cm der Bohrungen 18b und 18c sowie zwischen 0,5 m und 0,7 m Tiefe bei Bohrung 18a treten Lücken im Profil durch Kernverlust auf.

Ein typisches Tiefenprofil zeigt die Bohrung 18c (Abb. 5.23). Hier tritt von 0,3 m bis 0,7 m Tiefe ein toniger Schluff auf, der von einem 1,3 m mächtigen Ton unterlagert wird. Unterhalb von 2 m Tiefe werden die Ablagerungen sandig. In der Bohrung 18a (vgl. Anhang 3) liegt über dem tonigen Schluff ein Ton.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 18c bei 2,2 m u GOK.

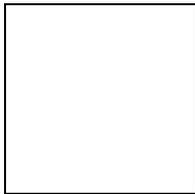


Abb. 5.23: Tiefenprofil 18c – Fläche Z175

Fläche Z300 (Probe 24): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier z.T. über dem Auesand liegt (Kap. 5.1.4). Bodentyp: Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 3 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Im Tiefenprofil 22b (Abb. 5.24) liegt unter einer 25 cm mächtigen Schlufflage ein schwach toniger Sand (St2). Darunter folgen ein 1 m mächtiger Lehm (Ls3) und ein mindestens 1,4 m mächtiger Ton. Im Tiefenprofil 22a (vgl. Anhang 3) sind der Schluff- und der Sandhorizont mächtiger. Unterhalb von 1,1 m Tiefe liegt ein stark sandiger Ton (Ts4). Die Bohrung 22c (vgl. Anhang 3) zeigt eine deutlich sandigere Abfolge. Unter der 1 m mächtigen Schlufflage folgen 20 cm Lehm und ein 30 cm mächtiger schluffig-lehmiger Sand (Slu). Ab 1,5 m Tiefe tritt hier ein schluffiger Sand auf.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 22b bei 0,35 m u GOK.

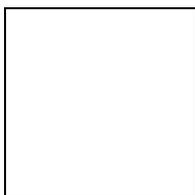


Abb. 5.24: Tiefenprofil 22b – Fläche Z300

Fläche Z323 (Probe 26): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier z.T. über dem Auesand liegt (Kap. 5.1.4). Den Bodentyp bestimmt der Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM, 2000).

Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 3 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 21c (Abb. 5.25) zeigt einen 55 cm mächtigen Schluff, der von einem 65 cm mächtigen stark schluffigen Ton (Tu4) unterlagert wird. Darunter liegt bis 2,25 m Tiefe ein mittel bis stark lehmiger Sand, der zwischen 2,25 m und 2,8 m Tiefe in einen Mittelsand übergeht. Unter dem Mittelsand tritt erneut Ton auf. In der Bohrung 21b (vgl. Anhang 3) fehlt der Schluff. Hier tritt von 0 m bis 1,2 m Tiefe ein Ton mit wechselnden Anteilen von Schluff

und Sand auf. Darunter liegt ein ca. 1,8 m mächtiger Sandkörper mit Mittel- bis Grobsandkomponenten zwischen 1,95 m und 2,6 m Tiefe vor. In der Bohrung 21a (vgl. Anhang 3) tritt unter dem Schluff ein Sand auf, der von einem 1,9 m mächtigen Ton und einer 40 cm mächtigen Mittel- bis Grobsandlage unterlagert wird.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 21c bei 1,2 m u GOK.

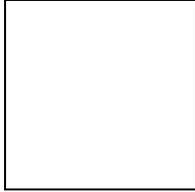


Abb. 5.25: Tiefenprofil 21c – Fläche Z323

Fläche Z322 (Probe 27): Die Ablagerungen sind schluffig-tonig ausgebildet und sind demnach dem Auelehm zuzuordnen, der hier z.T. über dem Auesand liegt (Kap. 5.1.4). Den Bodentyp bildet der Auenboden-Pseudogley (synonym mit Auenpseudogley) (ARUM, 2000). Auf der Fläche wurden 3 Bohrungen bis maximal 2,95 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Im Tiefenprofil 20a (Abb. 5.26) wurde ein 45 cm mächtiger Lehm erbohrt, der von einem 1 m mächtigen Ton unterlagert wird. Darunter liegt ein mittel toniger Sand (St3) und eine 15 cm mächtige Tonlage. Unterhalb von 2 m Tiefe liegt ein Mittelsand mit Grobsandanteilen vor. In der Bohrung 20b (vgl. Anhang 3) ist der Tonhorizont 1,5 m mächtig und reicht von 0,4 m bis 1,9 m Tiefe. Darüber liegt eine anthropogene Auffüllung mit roten Ziegeln vor. Unter Ton steht Mittel- bis Grobsand an, der hier von einem mittel sandigen Ton (Ts3) unterlagert wird. Im Gegensatz dazu tritt in der Bohrung 20c (vgl. Anhang 3) unter der Schluff- und Lehmabfolge ein ca. 2 m mächtiger Sand mit wechselnden Tonanteilen auf, während der Ton hier ganz fehlt.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 20a bei 1,3 m u GOK.

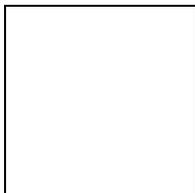


Abb. 5.26: Tiefenprofil 20a – Fläche Z322

Betrieb 6

Die untersuchten Flächen dieses Betriebes bestehen aus holozänen Sedimenten (Auelehm, Auesand) des Elbetales. Die tonig-schluffigen Ablagerungen des Auelehms liegen über fluviatilen Sand. Als Bodentyp wird ein mitteltiefer, verbraunter Auenboden angegeben. In Flutmulden kommt es zur Ausbildung von Auengley (Kap. 5.1.4).

Fläche F8: Auf der Fläche wurden 8 Bohrungen bis maximal 3 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht.

Das Tiefenprofil 23e (Abb. 5.27) ist charakteristisch für diese Fläche. Unter einer 65 cm mächtigen Schlufflage folgt ein 55 cm mächtiger stark schluffiger Ton. Darunter liegt bis in 1,95 m Tiefe eine sandig-schluffige Abfolge mit Einschaltungen von Mittelsand vor. Zwischen 1,95 m und 2,75 m Tiefe nimmt der Tonanteil zu. Darunter liegt eine mindestens 20 cm mächtige Grobsandlage. Eine ähnliche Abfolge von schluffigen Sedimenten mit Einschaltungen von Tonen und Mittel- bis Grobsandlagen wurde in den Bohrungen 23f, 23g und 23h (vgl. Anhang 3) angetroffen, wobei die Mächtigkeit der einzelnen Horizonte jedoch stark variiert. Die Bohrung 23d ist schluffig-sandig ausgebildet, während die Bohrungen 23a

5. Darstellung der Ergebnisse

und 23c (vgl. Anhang 3) schluffig-tonig ausgebildet sind. Die Bohrung 23b (vgl. Anhang 3) ist bis 0,9 m Tiefe schluffig-tonig ausgebildet, darunter trat bei vier Bohrversuchen ein Kernverlust auf.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Bohrung lag im Profil 23e bei 1,0 m u GOK.

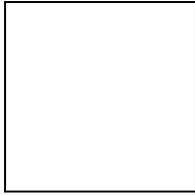


Abb. 5.27: Tiefenprofil 23e – Fläche F8/1

Die Abbildung 5.28 stellt die Morphologie und räumliche Verteilung der geologischen Fazies auf den F-Flächen des Auswahlbetriebes 6 dar.

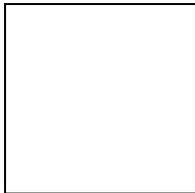


Abb. 5.28: Räumliche Verbreitung der geologischen Schichtglieder im Gebiet des Auswahlbetriebes 6 (Blockbild)

5.1.6 Ergebnisse der Schürfrubenuntersuchungen

Im Labor der Fachhochschule Nordostniedersachsen erfolgte über eine kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse die Korngrößenbestimmung der Mischproben der Schürfe bis in 10 dm Bodentiefe. Anhand der Korngrößenverteilungskurven wurde mittels Bodenartendiagramm (vgl. Abb. 2.2, Kap. 2.1.2) die Bodenartenuntergruppe bestimmt. In der folgenden Tabelle 5.6 sind die Probenahmetiefe, die ermittelte Bodenartenuntergruppe sowie der Gehalt an organischer Substanz und der pH-Wert für jede Mischprobe dargestellt.

Tab. 5.6: Laborergebnisse der Mischproben

Probe	Fläche	Tiefe	Kurz- zeichen	C _{org}	org. Substan- z	pH-Wert	pH-Wert
						[H ₂ O]	[CaCl ₂]
2	C1f	[cm]					
		20	Sl3	0,93	1,60	6,28	5,69
3	C5 S' Teil	70	Su2	0,17	0,29	6,5	5,73
		10	Lu	1,47	2,53	6,35	5,59
		30	Lu	0,6	1,03	6,48	5,69
		60	Sl3	0,27	0,46	6,61	5,75
4	C5 N' Teil	20	Lu	1,09	1,87	6,67	5,96
		40	Lu	0,51	0,88	6,5	5,88
		60	Lu	0,45	0,77	6,62	5,91
7	C7	30	Slu	0,94	1,62	5,39	4,63
		60	Su2	0,21	0,36	5,51	4,69
		80	Ss	0,1	0,17	5,81	4,83
9	C28 (Mitte)	30	Sl3/Su2	0,65	1,12	6,89	6,51
		70	Sl3-4	0,34	0,58	6,76	6,14
10	C28 (NE)	20	Sl2	0,81	1,39	6,51	5,76
		50	Sl2	0,7	1,20	6,22	5,63
		70	Sl3	0,28	0,48	6,33	5,83
11	R9	20	Ls4	1,31	2,25	6,09	5,61
		50	Ss	0,15	0,26	6,72	6,13
12	R1	30	Sl2-3	1,54	2,65	6,5	6,0
14	R2a	50	Lt3	1,13	1,94	5,22	4,67
		95	mS	0,07	0,12	5,36	4,97
15	R2c	40	Lu	1,43	2,46	4,95	4,22
16/17	R16a	50	Lu	0,79	1,36	5,7	4,98
18	R2d	40	Su3	0,5	0,86	6,6	6,22
		70	Sl3	0,45	0,77	6,17	5,41
19	R7	30	Slu	1,18	2,03	5,19	4,64
		60	Lu	1,06	1,82	5,35	4,8
20	R32	40	Sl4	0,25	0,43	4,66	3,86
		70	Ls4	0,16	0,28	7,75	7,24
21	Z111	40	Ls4	0,82	1,41	6,48	5,74
		75	Lt2-3	0,42	0,72	6,35	5,8
22	Z464d	25	Ss	1,02	1,75	6,57	6,03
		40	mSgs	0,06	0,10	6,49	5,78
		60	gSms	0,05	0,09	6,83	5,99
		100	gSms	0,05	0,09	6,62	5,87
23	Z175	30	Lt2-3	1,42	2,44	6,51	5,91
		60	Lt3	1,04	1,79	6,49	5,7
24	Z300	25	Sl3	1,11	1,91	6,11	5,49

5. Darstellung der Ergebnisse

		60	SI3-4	0,62	1,07	6,22	5,59
26	Z323	20	SI2	1,62	2,79	6,38	5,81
		30	SI3	0,47	0,81	6,62	5,91
		50	Tu2	0,94	1,62	7,06	6,27
27	Z322	20	Lt2	0,8	1,38	6,69	5,86
		50	Tu2	0,74	1,27	7,26	6,45
28	F8/5	20	Tu4	1,73	2,98	5,8	5,14
		55	Tu2	1,34	2,30	5,74	5,0
29	F8/4	20	Tu4	1,72	2,96	5,55	4,91
		50	Tu2	1,2	2,06	5,74	5,06
30/33	F8/3	20	Tu4	1,49	2,56	5,62	5,04
		50	Tu2	1,14	1,96	5,81	5,05
31	F8/2	20	Tu3	1,62	2,79	5,8	5,17
		50	Tu3	0,88	1,51	6,22	5,49
32	F8/1	20	Tu4	2,12	3,65	6,01	5,46
		50	Tu4	1,0	1,72	6,31	5,73

Da die Vegetation auf der Fläche C6 besonders schützenswert war, wurde auf die Anlegung eines Schürfes verzichtet. Auf Teilen von Flächen, die vorzeitig aus dem Untersuchungsprogramm gefallen sind, wurde ebenfalls kein Aufschluss angelegt.

Der gemessene Humusgehalt der einzelnen Horizonte nimmt mit der Tiefe ab und liegt zwischen 0,1 Masse-% (sehr schwach humos) und 4,0 Masse-% (mittel humos). Im Oberboden unter Grünland werden Humusgehalte von maximal 16 Masse-% (äußerst humos) erreicht, unter Ackerboden nur 1-3 Masse-% (schwach bis mittel humos).

Bis auf einige Ausnahmen (Probe 4, 9, 10, 18, 22, 23, und 28) steigt der pH-Wert mit zunehmender Tiefe leicht an. Dieses als pH-Tiefenfunktion bekannte Phänomen ist unter anderem durch die mikrobielle Zersetzung der organischen Substanz im Oberboden zu erklären, bei der die meisten H-Ionen entstehen.

Der optimale pH-Wert von Kulturböden wird in Abhängigkeit von der Bodenart festgelegt (vgl. Tab. 2.6, Kap. 2.1.4). Nach dieser Einstufung liegt der in den Mischproben gemessene pH-Wert auf dem größten Teil der Flächen zu niedrig. Der pH-Wert der Proben 9, 10 und 12 liegt im anzustrebenden Bereich, während der pH-Wert der Probe 22 geringfügig zu hoch ist. Einen Überblick über den zeitlichen Verlauf des pH-Wertes geben die zu festen Terminen genommenen Oberbodenproben (vgl. Kap. 5.1.7.1).

Die Einstufung der Feldkapazität gemäß BKA4 in FK1 „sehr gering“ bis FK5 „sehr hoch“, gibt die Fähigkeit des Bodens, die Verlagerung von Stoffen in den Untergrund zu verhindern, wider. Probe 2, 20 und 22 erreichen für 10 dm Profiltiefe aufgrund ihrer Bodenart (Sand) geringe Feldkapazitäten (Anhang 2.5). Die Proben 4, 11, 14, 15, 16/17, 19, 21, 23 sowie 26-33 haben hohe Rückhaltefähigkeit, während die Proben 3, 7, 9, 10, 12, 18 und 24 eine mittlere Rückhaltefähigkeit besitzen.

Die ermittelten Ergebnisse der im Gelände und Labor erarbeiteten Parameter stellen Basiswerte für die in Kapitel 5.1.8.2 ausführlich dargestellten Erhebungen zur Nitrat- und Schwermetallauswaschungsgefährdung und der Bewertung der Schwermetallgehalte der Böden im Hinblick auf die Futterpflanzenproduktion (Kap. 5.1.7.3) dar.

5.1.7 Einzelergebnisse der Flächen

Die Analysenergebnisse der Boden-, Bodenwasser- und Grundwasseruntersuchungen sind im Anhang 2 aufgeführt.

5.1.7.1 Nährstoffe, N_{min} -Gehalt, pH-Wert, Salzgehalt

Neben den wichtigsten Kenndaten der Schläge – Nutzung, Kultur, Lage, Bodenart, Dichte, KAK_{eff} und Basensättigung – sind die Parameter pH-Wert, Salzgehalt, Humusgehalt, Gesamtstickstoff, Nitrat, Ammonium, mineralischer Stickstoff, Denitrifikationsrate, Hauptnährstoffe und Trockensubstanzgehalt für jede Fläche im Anhang 2.1 aufgeführt. Zur Veranschaulichung wurden die wichtigsten Abbildungen ebenfalls in den Text eingebaut. Die angewendeten Analysenverfahren sind in Kapitel 4.1.4 angegeben. Zur besseren Übersicht wurden die zu den vorgegebenen Terminen ermittelten Gehalte verbunden. Die Kurvenverläufe spiegeln aber nicht unbedingt den eigentlichen Verlauf der Parameter über das Jahr gesehen wider.

Betrieb 1

Die Fläche C1f wurde vor der ersten Beprobung 1999 mit Jauche sowie 60 kg N/ha gedüngt (vgl. Tab. 3.5, Kap. 3.6). Die Phosphor- und besonders die Kalium- und Nitratgehalte liegen dementsprechend hoch (Abb. 5.29). Während Kalium 1999 entzogen wurde (Versorgung ging von 24 auf 9 mg/100g zurück) bleibt der Phosphorgehalt relativ konstant bei ca. 12 mg/100g. Die N_{min} -Gehalte (Abb. 5.30) gehen von April bis Juni 1999 um mehr als die Hälfte zurück und verändern sich bis November 1999 nicht weiter. Die zweite mineralische N-Düngung vor dem Auftrieb der Rinder im Juni 1999 schlägt sich nicht

Abbildung X: Nährstoffgehalte der Fläche C1f (Probe 2) in den Gehalten nieder. Im Mai 2000 liegen die N_{min} -Gehalte wie im Herbst 1999 bei 28 kg/ha, so dass hier kaum Auswaschung stattgefunden hat. Bei dem geringen P-Gehalt im Mai 2000 ist von einem Messfehler auszugehen. Bis zur Probenahme im Juli 2000 erfolgte eine N- und K-Düngung, der N_{min} -Gehalt steigt von 28 auf knapp 70 kg/ha und der K-Gehalt von 7 auf 11 mg/100g. Während der K-Gehalt bis zum Oktober 2000 nochmals auf 15 mg/100g ansteigt, geht der N_{min} -Gehalt auf 60 kg/ha zurück. Die Magnesiumgehalte liegen 1999 insgesamt höher als im Jahr 2000.

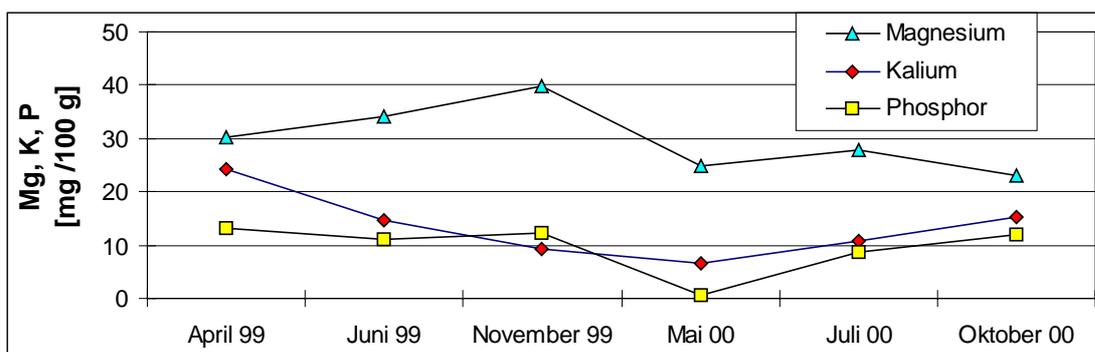
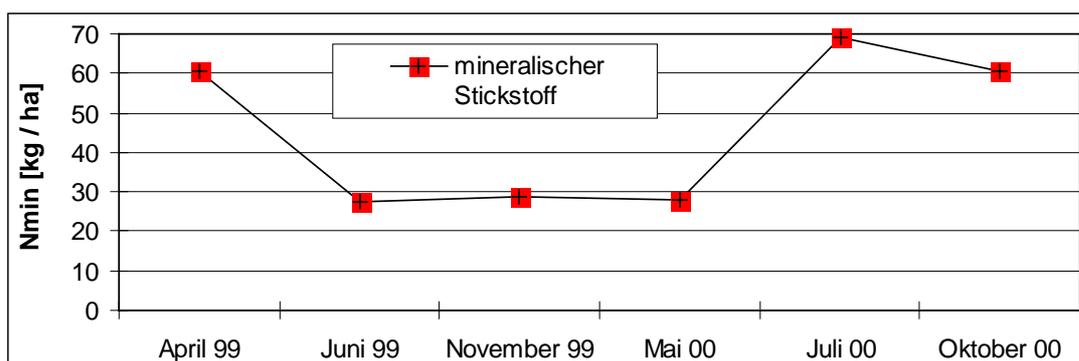


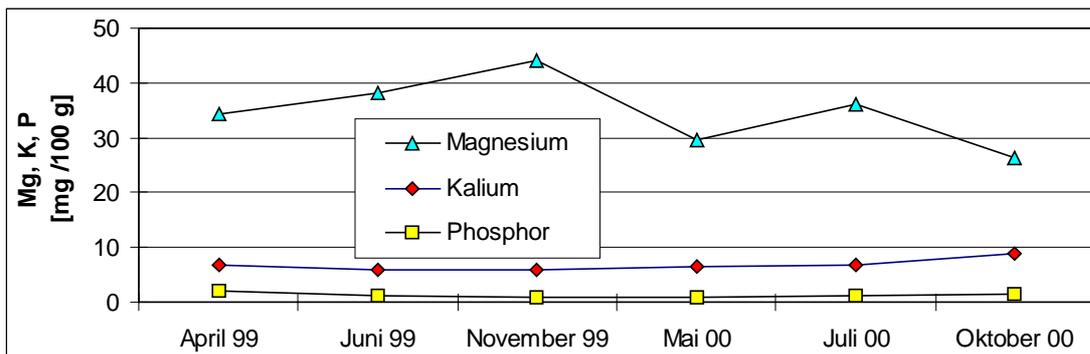
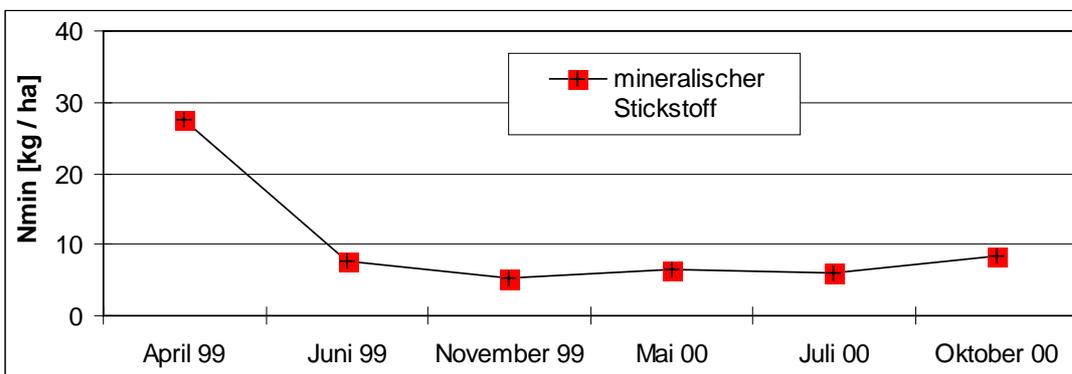
Abb. 5.29: Nährstoffgehalte der Fläche C1f (Probe 2)



Untersuchungen zu nachhaltiger Bodennutzung und zum Grundwasserschutz im niedersächsischen Elbetal

Abb. 5.30: N_{min}-Gehalte der Fläche C1f (Probe 2)

Die Flächen C5, C6 und C7 (Probe 3-7) stehen unter Vertragsnaturschutz mit der Folge, dass 60 kg mineralische N-Düngung zum zweiten Schnitt erlaubt sind. Der erste Schnitt erfolgte im Jahr 1999 Anfang Juli, der zweite Ende September. Zu diesem Zeitpunkt ist jedoch kein Anstieg in den Bodenwerten festzustellen, so dass der Stickstoff entweder schnell aufgenommen worden ist oder der Dünger nicht auf diese Schläge ausgebracht wurde. Deutlich erhöhte N_{min}-Gehalte liegen jedoch im April 1999 in den Proben 3-5 vor; Probe 3 liegt bei 30 kg N_{min}/ha, Probe 4 bei 65 kg N_{min}/ha und Probe 5 bei 41 kg N_{min}/ha. Dies lässt sich durch die Probenahme im schlickigen Grabenbereich direkt nach dem Hochwasserereignis erklären. In diesen Proben ist der TS-Gehalt deutlich niedriger und der Humusgehalt deutlich höher, als in den übrigen Proben (besonders deutlich bei Probe 4). Auf den Flächen C6 und C7 liegt der pH-Wert (CaCl₂) unter 5. Die Nährstoff- und die N_{min}-Gehalte sind auf allen Flächen des Betriebes vergleichbar gering, so dass in den Abbildungen 5.31-5.32 beispielhaft die Probe 3 zur graphischen Veranschaulichung gewählt wurde. Die P- und K-Gehalte sind über den gesamten Untersuchungszeitraum sehr konstant, die Mg-Gehalte schwanken zwischen 28 und 44 mg/100g (bei Probe 7 zwischen 19 und 35 mg/100g). Die P- und K-Gehalte liegen insgesamt sehr niedrig, wobei die Kaliumkonzentration stets höher ist. Der N_{min}-Gehalt liegt im Frühjahr 2000 ebenso wie im Herbst 1999 deutlich unter 10 kg/ha, so daß keine N-Abfuhr im Winter stattgefunden hat.

**Abb. 5.31: Nährstoffgehalte der Fläche C5 (Probe 3)****Abb. 5.32: N_{min}-Gehalte der Fläche C5 (Probe 3)**

Die Fläche C28 (Probe 8-10) wurde 1999 als Acker genutzt. Die erste Düngung (100 kg N/ha) fand als Startgabe für den Weizen im Frühjahr vor dem ersten Beprobungstermin statt. Der N_{min}-Gehalt (Abb. 5.34) liegt im April 1999 zwischen 40 und 53 kg/ha, wobei das Nitrat den wesentlichen Anteil liefert. Weitere Düngungsmengen von je 50 kg N/ha zum Schossen

5. Darstellung der Ergebnisse

und als Ährengabe erfolgten im Jahr 1999, die in den Bodenwerten im November 1999 jedoch nicht mehr auftreten. Wie die Abbildung 5.33 zeigt, liegen die Kalium- und Phosphorvorräte im Frühjahr 1999 bei 17 mg/100 g. Im Jahr 2000 wurde die Fläche als Brache genutzt. Dementsprechend konstant sind die N_{\min} -, P-, K- und Mg-Gehalte.

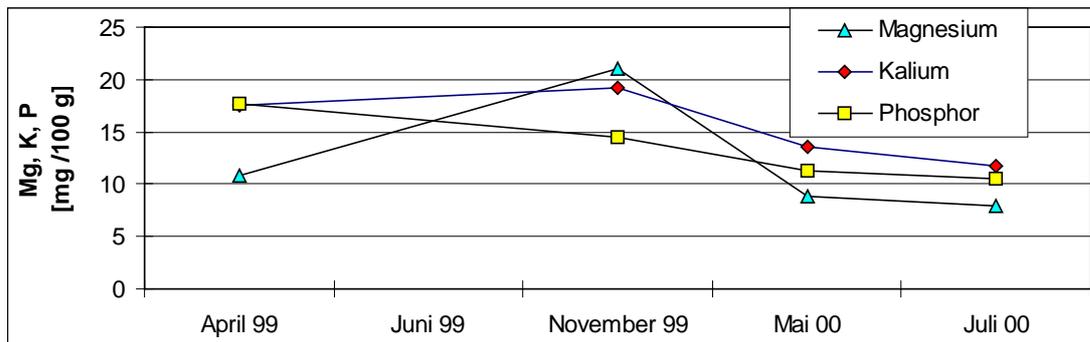


Abb. 5.33: Nährstoffgehalte der Fläche C28 (Probe 10)

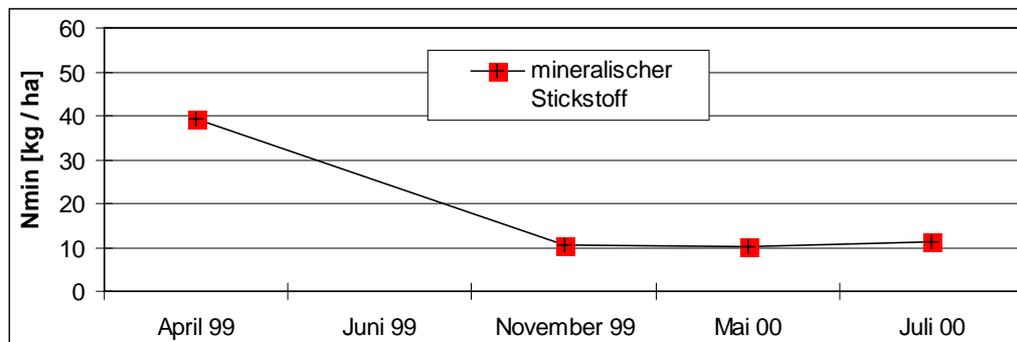


Abb. 5.34: N_{\min} -Gehalte der Fläche C28 (Probe 10)

Betrieb 4

Die Fläche R9 wurde 1999 ab Ende April als Weide genutzt. Mitte April wurden 10 m³ Rindergülle auf die Fläche aufgebracht. Zusätzlich erfolgte eine mineralische N, P, K-Düngung. Die Ammoniumgehalte liegen mit Ausnahme im November 1999 bei ca. 0,3 mg/100g; die Nitratgehalte schwanken zwischen 0,3 und 2,3 mg/100g. Die N_{\min} -Gehalte zeigt die Abbildung 5.36. Sie nehmen im Jahr 1999 von April bis November ab, wohingegen sie 2000 von Mai bis Oktober zunehmen (von 12 auf 51 kg N_{\min} /ha). Ebenso verhält es sich mit den Phosphorgehalten, die jedoch insgesamt sehr niedrig liegen (< 6 mg P/100g). Die Kaliumgehalte steigen jeweils zum Jahresende leicht an (Abb. 5.35).

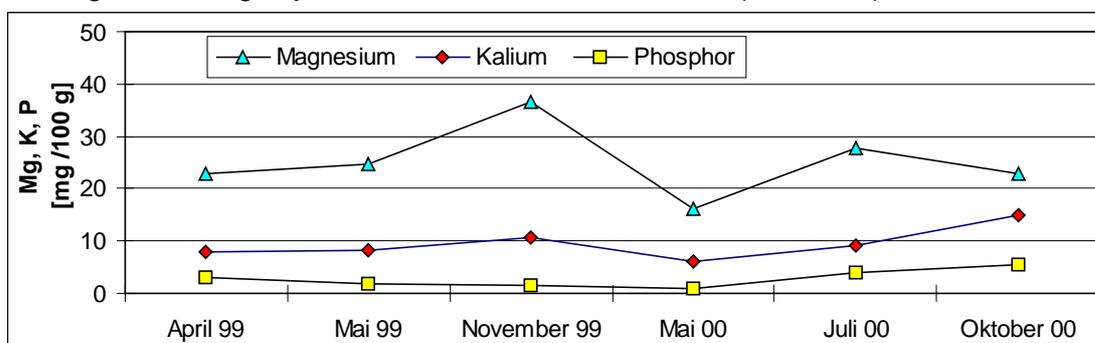


Abb. 5.35: Nährstoffgehalte der Fläche R9 (Probe 11)

5. Darstellung der Ergebnisse

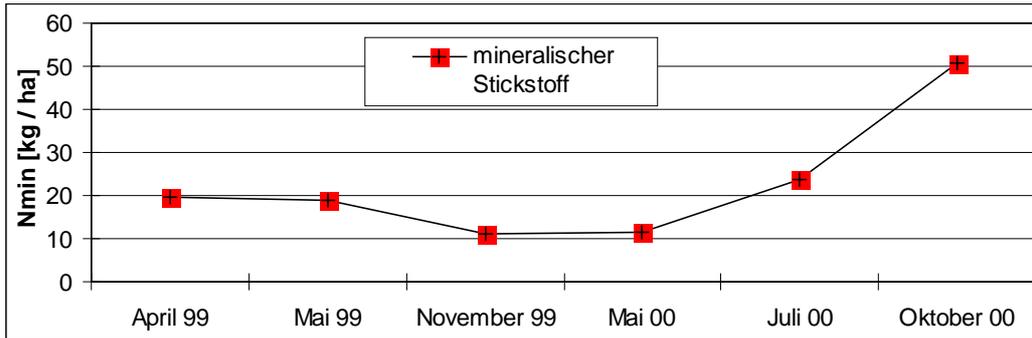


Abb. 5.36: N_{min}-Gehalte der Fläche R9 (Probe 11)

Auf die Fläche R1 (Probe 12, 13) wurde Ende April 1999 das Vieh aufgetrieben. Düngemittel wurden nicht eingesetzt. Im April des Jahres 1999 ist ein N_{min}-Gehalt von 41 bzw. 52 kg/ha im Boden gemessen worden. Bereits einen Monat später wurde nur noch ein halb so hoher Wert festgestellt, wie Abbildung 5.38 zeigt. Im Frühjahr 2000 liegen die N_{min}-Konzentrationen mit 22 kg/ha höher als im vorherigen Herbst (14 kg N_{min}/ha). Im Vergleich zu den anderen Versuchsfeldern sind der Humus- (14 Masse-%), der Phosphor- (rund 30 mg/100 g) und der Salzgehalt (0,06 %) sehr hoch. Die Kaliumgehalte liegen konstant unter 10 mg/100 g (Abb. 5.37).

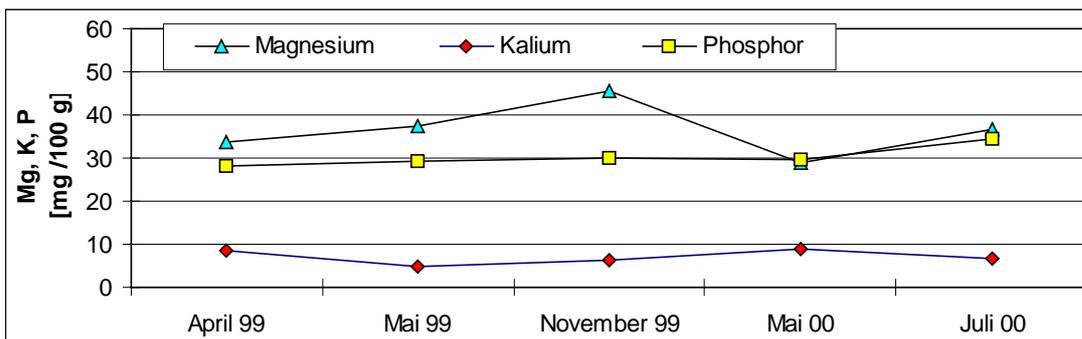


Abb. 5.37: Nährstoffgehalte der Fläche R1 (Probe 12)

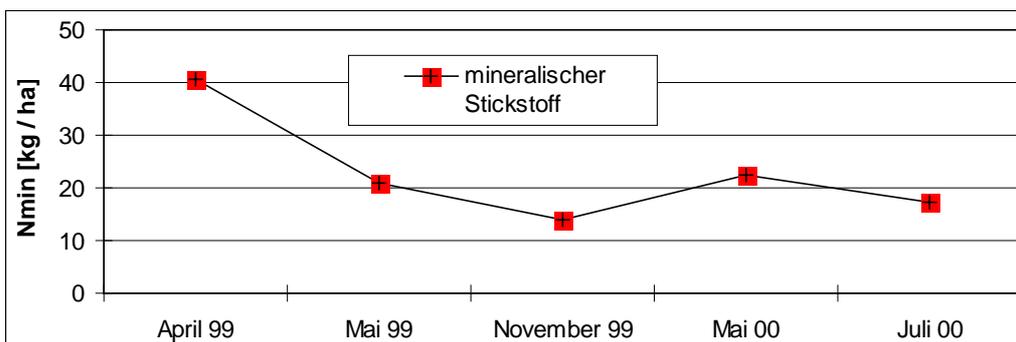


Abb. 5.38: N_{min}-Gehalte der Fläche R1 (Probe 12)

Die Flächen R2a, R2c, R2d und R7 wurden allesamt im Jahr 1999 nicht gedüngt. Die Mahd der Schnitwiesen fand 1999 Anfang Juni und Ende August statt. Die N_{min}-Gehalte haben auf den Flächen R2a, R2c und R7 im April 1999 mit durchschnittlichen 22 kg/ha ihr Maximum, wie Abbildung 5.39 zeigt. Ein weiterer Anstieg ist im Juli 2000 zu verzeichnen, der allerdings deutlich geringere Konzentrationen liefert (zwischen 10 und 16 kg N_{min}/ha). Im Herbst liegen

5. Darstellung der Ergebnisse

jeweils die geringsten Konzentrationen des Jahres vor ($< 10 \text{ kg N}_{\text{min}}/\text{ha}$). Die K-Gehalte aller Schläge liegen zwischen 3 und 8 mg/100 g, wohingegen die P-Gehalte deutlich variabler ausfallen. So sind die Flächen R2a und R7 mit rund 4 mg P/100 g (vgl. Abbildung 5.40) deutlich weniger versorgt, als die Fläche R2d mit 10-18 mg P/100 g (vgl. Abbildung 5.42). Der P-Gehalt der Fläche R2c liegt von April 1999 bis Mai 2000 unter 8 mg/100 g, steigt dann ab Juli 2000 jedoch auf über 17 mg/100 g (vgl. Abbildung 5.41) an. Hier muss von einer mineralischen P-Düngung ausgegangen werden, da der Wert mit der Oktoberprobe bestätigt wird.

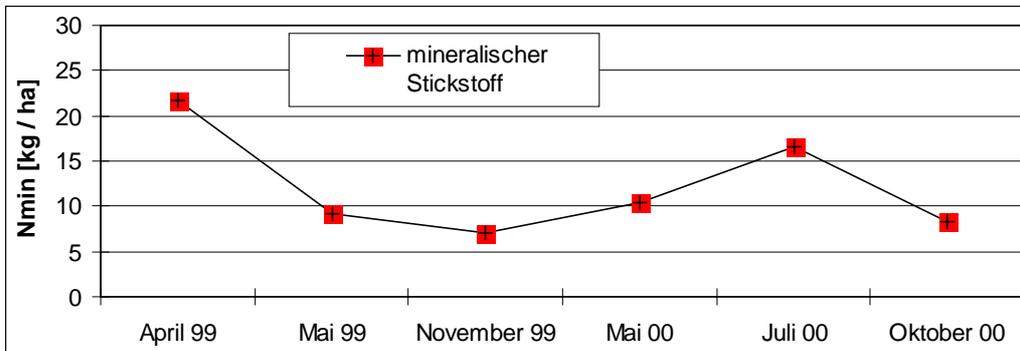


Abb. 5.39: N_{min} -Gehalte der Fläche R2a (Probe 14)

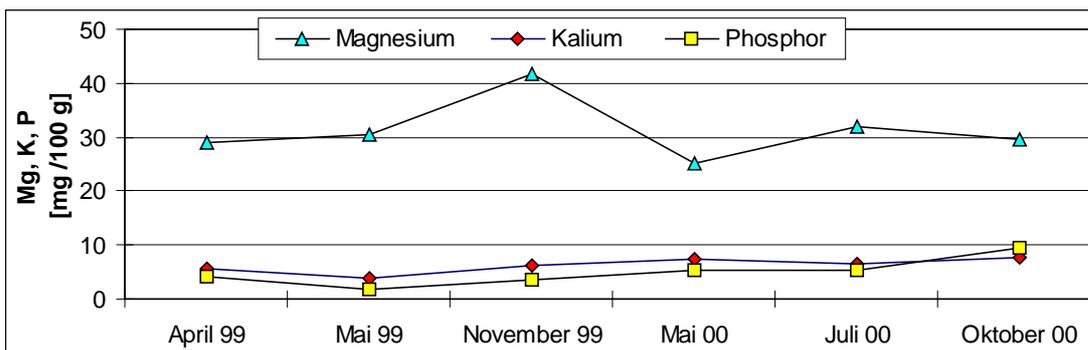


Abb. 5.40: Nährstoffgehalte der Flächen R2a (Probe 14) und R7 (Probe 19)

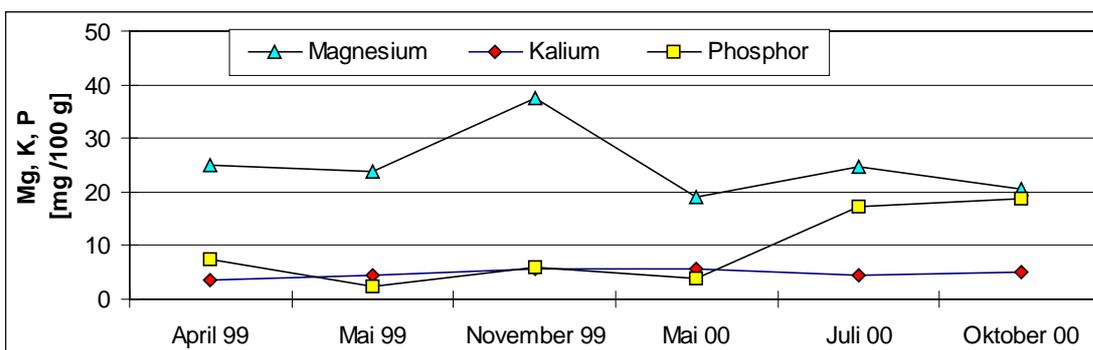


Abb. 5.41: Nährstoffgehalte der Fläche R2c (Probe 15)

5. Darstellung der Ergebnisse

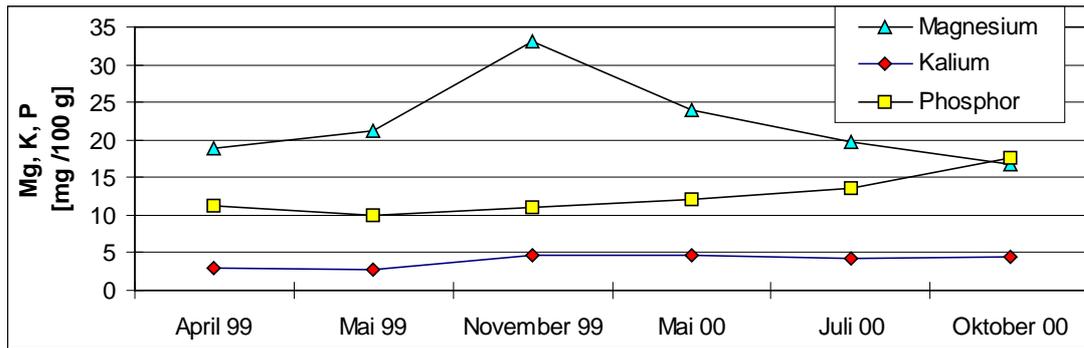


Abb. 5.42: Nährstoffgehalte der Fläche R2d (Probe 18)

Die Fläche R16 (Probe 16, 17) wurde –vor der Beprobung- Mitte April 1999 gegült und mineralisch mit N und P gedüngt (ein Teil Unterfußdüngung und ein Teil nach der Saat). Im Jahr 2000 wurde die Kultur von Mais auf Getreide gewechselt, d.h. die Düngung wurde der Gerste angepasst. Trotz beträchtlicher Düngemengen steigen die P- und K-Gehalte innerhalb des Untersuchungszeitraumes nur langsam an (Abb. 5.43). Phosphor steigt von 5 auf 7 mg/100 g, Kalium von 7 auf 9 mg/100 g. Lagen die N_{\min} -Gehalte im Jahr 1999 bei 50 (Frühjahr) bzw. 70 kg/ha (Herbst), so wurden im Jahr 2000 Gehalte von knapp 90 kg/ha erreicht (Abb. 5.44). Der Nitratanteil liegt zwischen 1,1-2,4 mg/100g, mit dem Maximum im Mai 2000. Der pH-Wert ($CaCl_2$) der Fläche liegt unter 5.

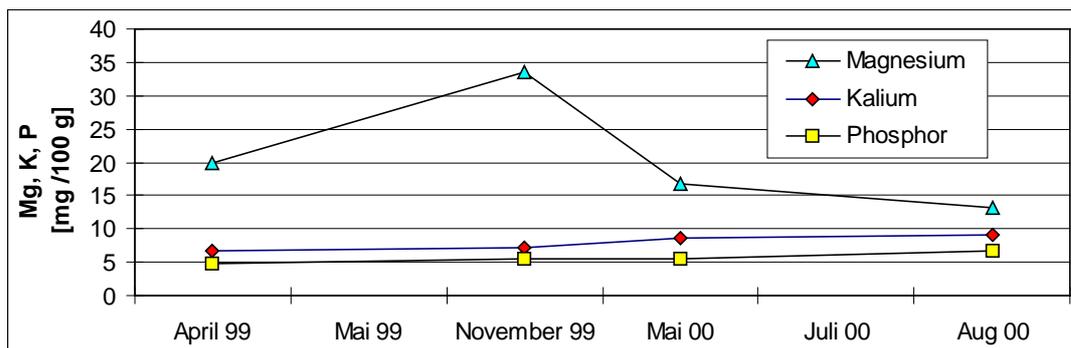


Abb. 5.43: Nährstoffgehalte der Fläche R16 (Probe 16)

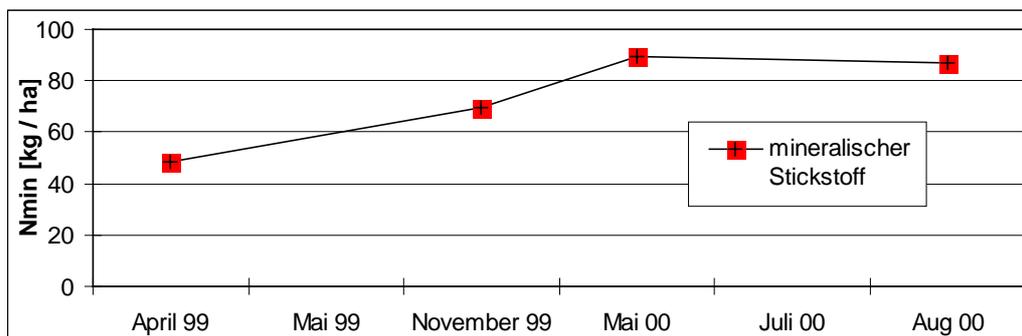


Abb. 5.44: N_{\min} -Gehalte der Fläche R16 (Probe 16)

Die Fläche R32 wurde -nach der Beprobung- Mitte April 1999 gegült und mineralisch mit N und P gedüngt (ein Teil Unterfußdüngung und ein Teil nach der Saat). Im Jahr 2000 wurde die Kultur von Mais auf Getreide gewechselt, d.h. die Düngung wurde dem Roggen angepasst. Für 1999 sind im November hohe N_{\min} -Restmengen (65 kg/ha) gemessen worden (Abb. 5.46), während im August 2000 Gehalte von 20 kg/ha vorliegen. Besonders

5. Darstellung der Ergebnisse

auffällig sind hier die sehr geringen Magnesiumwerte (unter 3 mg/100g), sowie ein pH-Wert (CaCl_2) von unter 4 im Jahr 1999. Die Salzgehalte liegen bei sehr geringen 0,01 %. Die K-Gehalte liegen 1999 geringfügig niedriger als 2000. Die Phosphorgehalte liegen für Mais bei ca. 13 mg/100g und steigen unter Roggen von 9 auf 14 mg/100g (Abb. 5.45).

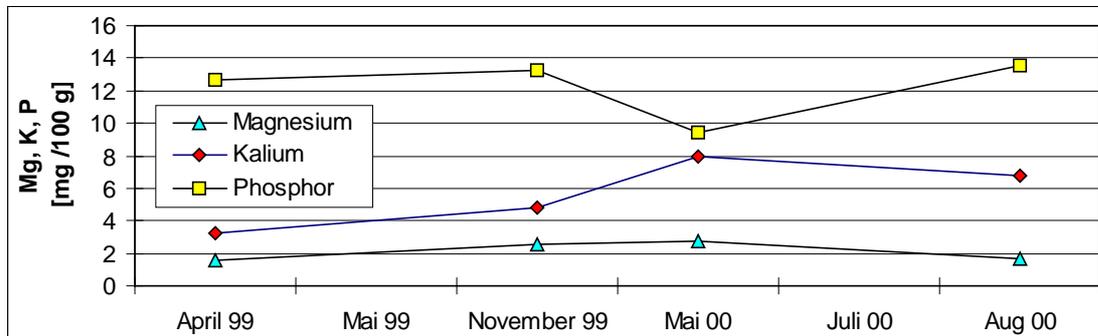


Abb. 5.45: Nährstoffgehalte der Fläche R32 (Probe 20)

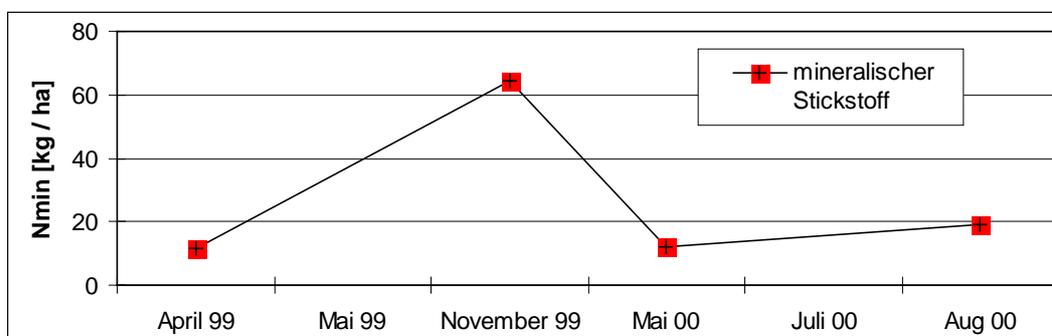


Abb. 5.46: N_{\min} -Gehalte der Fläche R32 (Probe 20)

Betrieb 2

Die Flächen Z111, Z464d und Z175 wurden Ende April 1999 –vor der Probenahme– gegüllt und entsprechend ihrer Kultur mineralisch gedüngt (vgl. Tab. 3.5, Kap. 3.6). Im Jahr 2000 fand auf den Flächen Z111 und Z464d ein Kulturwechsel statt. Die N_{\min} -Gehalte der Fläche Z111 (Abb. 5.47) sind jeweils im Frühjahr am höchsten, mit einem Maximum von 144 kg N_{\min} /ha unter Raps. Die hohen Ammoniumwerte im April 2000 lassen eine Begüllung vor der Probenahme vermuten. Die N_{\min} -Gehalte der Fläche Z464d zeigt Abbildung 5.48. Sie liegen im Jahr 1999 unter Mais mit ca. 60 kg/ha deutlich höher, als 2000 unter Raps. Auf der Fläche Z175 lässt der im April 2000 gemessene Ammoniumwert von 1,2 mg/100g eine N-Düngung in Form von Gülle vermuten. Die N_{\min} -Gehalte (Abbildung 5.49) liegen jeweils im Frühjahr besonders hoch und erreichen ihr Maximum im April 2000 (117 kg/ha). Die N_{\min} -Restmengen sind auf allen Schlägen im November 1999 deutlich höher als im August 2000. Die Nährstoffgehalte auf den einzelnen Flächen zeigen die Abbildungen 5.50-5.52. Die K-Gehalte liegen auf allen Schlägen über 10 mg K/100g, die P-Gehalte der Flächen Z111 und Z464d ebenfalls. Der pH-Wert (CaCl_2) der Flächen Z111 und Z175 liegt über 6, der der Fläche Z464d nur geringfügig darunter.

5. Darstellung der Ergebnisse

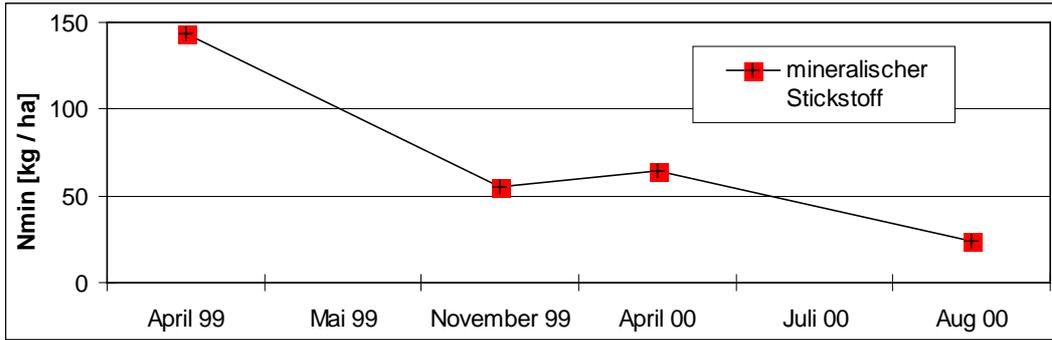


Abb. 5.47: N_{min}-Gehalte der Fläche Z111 (Probe 21)

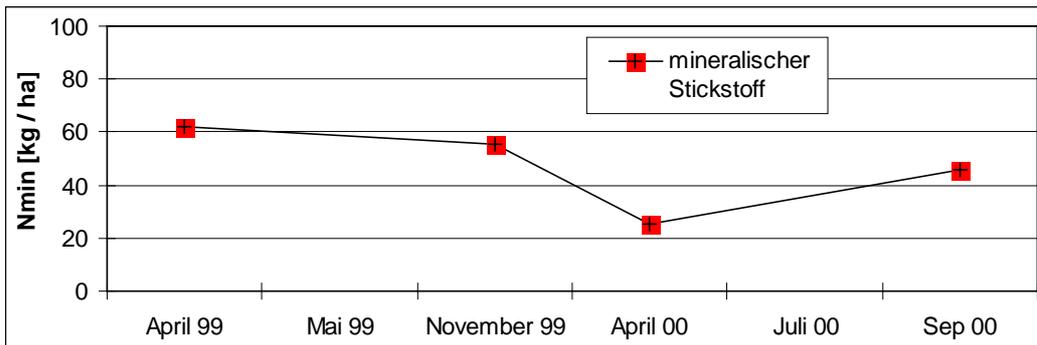


Abb. 5.48: N_{min}-Gehalte der Fläche Z464d (Probe 22)

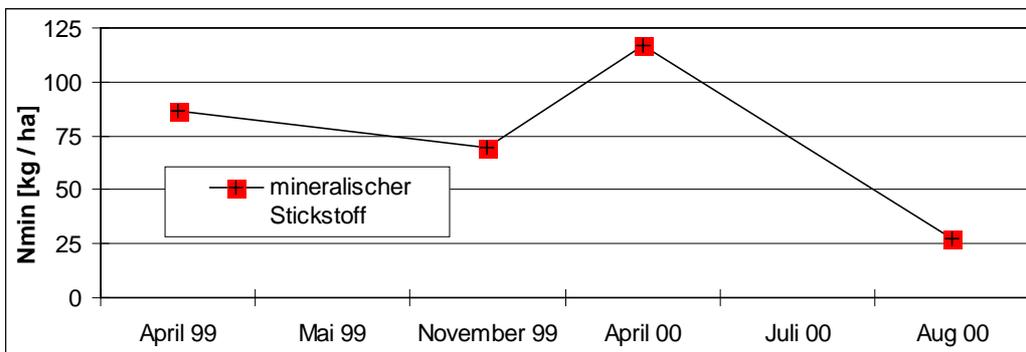


Abb. 5.49: N_{min}-Gehalte der Fläche Z175 (Probe 23)

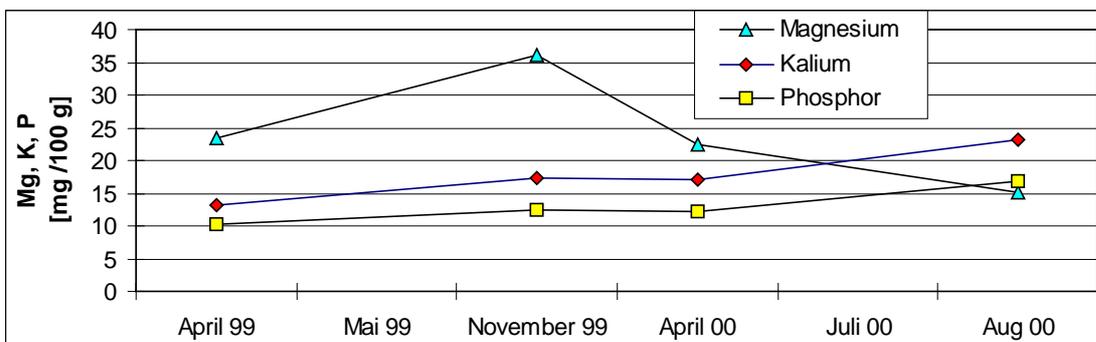


Abb. 5.50: Nährstoffgehalte der Fläche Z111 (Probe 21)

5. Darstellung der Ergebnisse

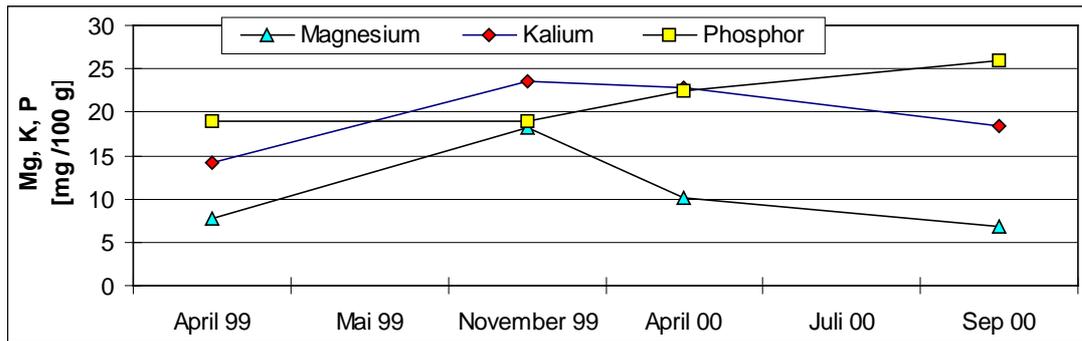


Abb. 5.51: Nährstoffgehalte der Fläche Z464d (Probe 22)

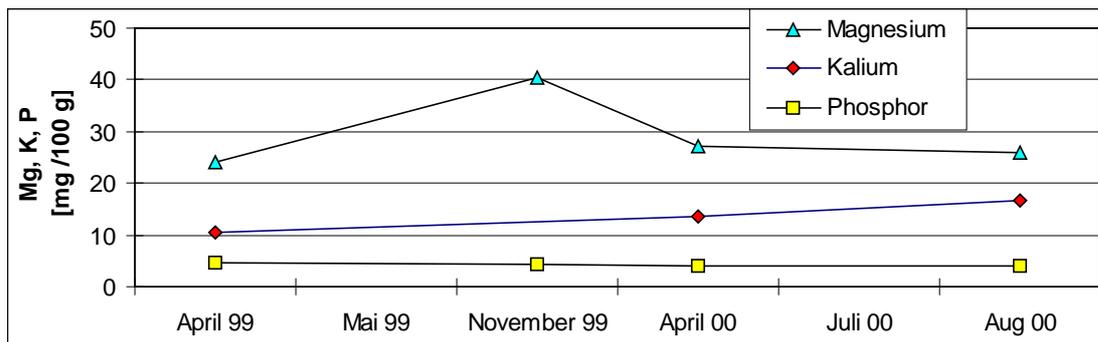


Abb. 5.52: Nährstoffgehalte der Fläche Z175 (Probe 23)

Die Fläche Z300 wurde im untersuchten Zeitraum nicht gedüngt. Im Jahr 1999 erfolgte der erste Schnitt Mitte Mai. Auffällig hohe Ammoniumkonzentrationen (0,3 mg/100g) wurden nach dem Schnitt (im Juni 1999) gemessen. Die Nitratgehalte liegen zwischen 0,3 und 0,9 mg/100g mit einem Minimum im Juli 2000. Das Maximum der mineralischen Stickstoffmenge wurde im Juni 1999 gemessen (Abb. 5.54). Die K-Gehalte liegen konstant bei rund 3 mg/100g, wohingegen die P-Gehalte von 6 auf 16 mg/100g zunehmen (Abb. 5.53).

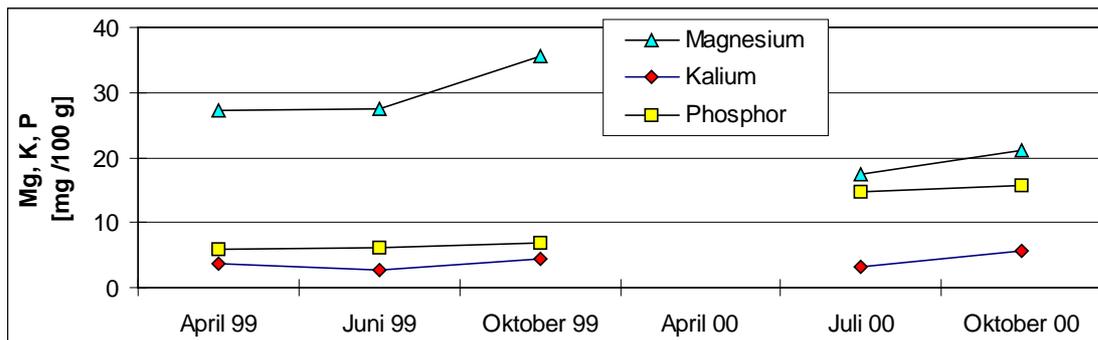


Abb. 5.53: Nährstoffgehalte der Fläche Z300 (Probe 24)

5. Darstellung der Ergebnisse

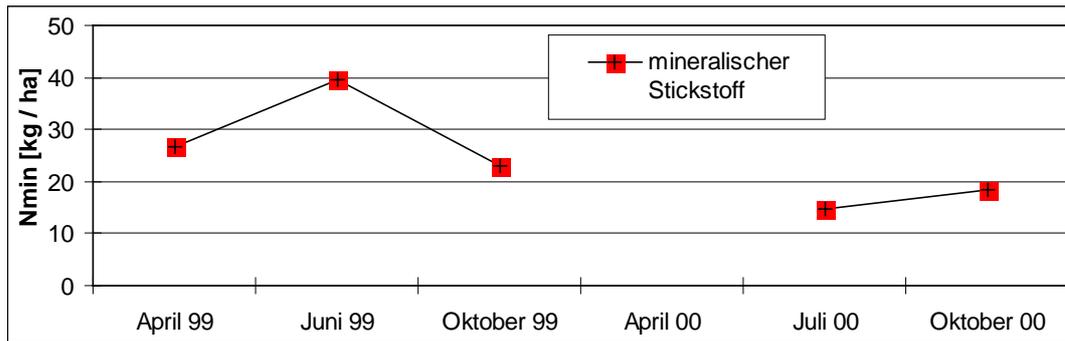


Abb. 5.54: N_{min}-Gehalte der Fläche Z300 (Probe 24)

Die Flächen Z323 und Z322 wurden Ende April 1999 als Umtriebsweide genutzt und mit Stickstoff gedüngt. Die N-Düngung erfolgte 1999 vor dem ersten Beprobungstermin im April, im Jahr 2000 vor dem Julitermin. Die gemessenen N_{min}-Gehalte liegen im Jahr 1999 geringfügig höher als im Jahr 2000. Nach Abbildung 5.56 liegen die N_{min}-Gehalte der Fläche Z323 1999 bei rund 20 kg/ha und im Jahr 2000 bei rund 10 kg/ha. Auf der Fläche Z322 wurde im Oktober ein N_{min}-Wert von 120 kg/ha gemessen (sehr hohe Ammoniumkonzentration), ansonsten liegen ähnliche Mengen wie auf der Nachbarfläche vor (Abb. 5.58). Im Juli und Oktober 2000 steigen die P- und K-Gehalte auf beiden Schlägen deutlich an (vgl. Abb. 5.55 und Abb. 5.57); das Maximum liegt jeweils im Oktober (Kalium 27 mg/100g, Phosphor 12 mg/100g).

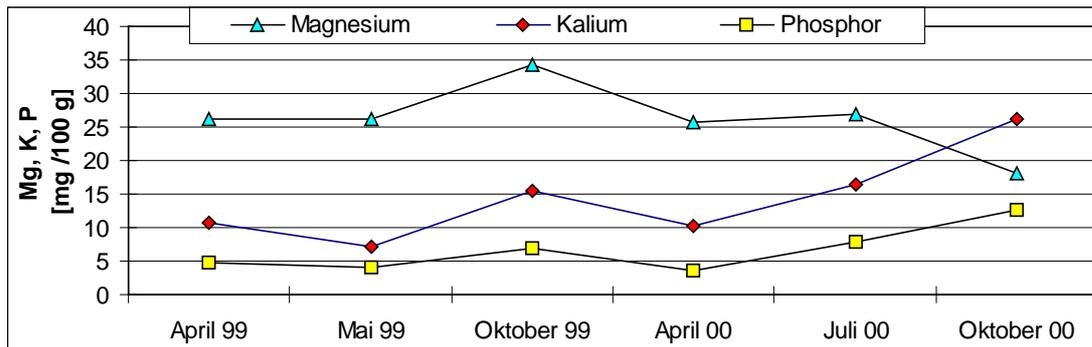


Abb. 5.55: Nährstoffgehalte der Fläche Z323 (Probe 26)

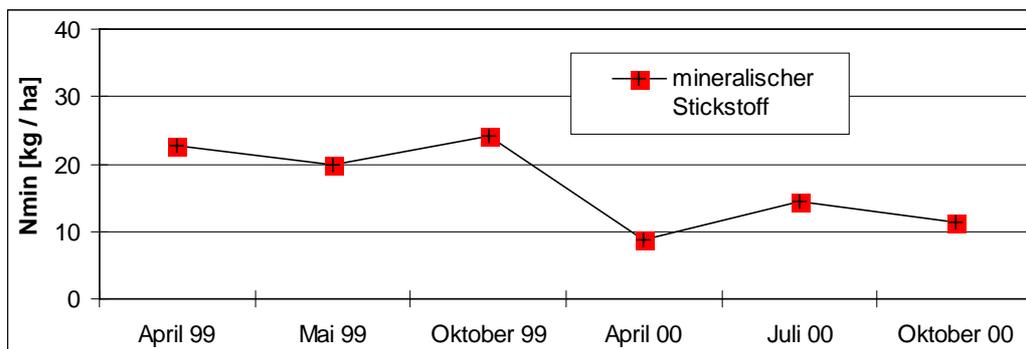


Abb. 5.56: N_{min}-Gehalte der Fläche Z323 (Probe 26)

5. Darstellung der Ergebnisse

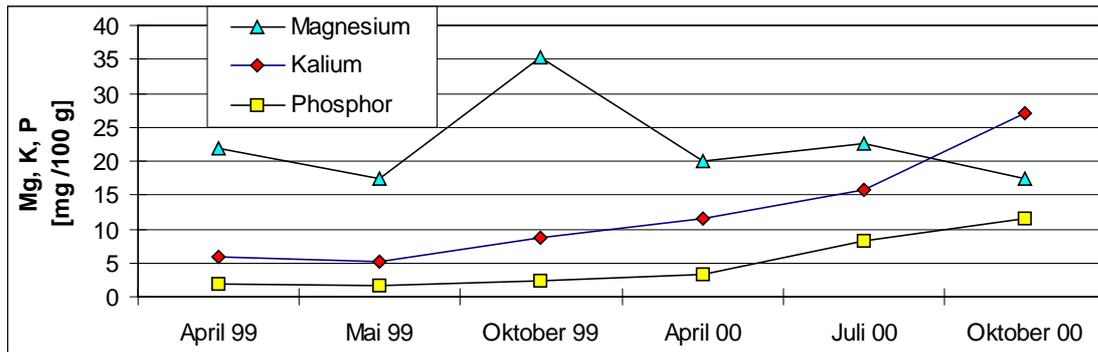


Abb. 5.57: Nährstoffgehalte der Fläche Z322 (Probe 27)

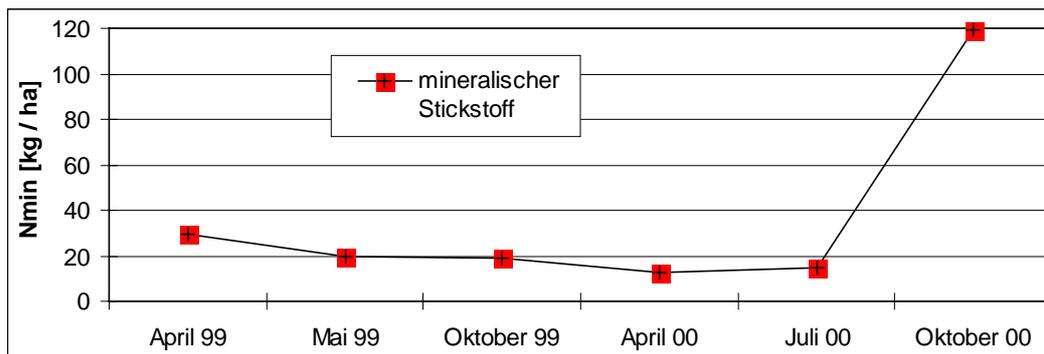


Abb. 5.58: N_{min}-Gehalte der Fläche Z322 (Probe 27)

Betrieb 6

Auf der Fläche F8 (Probe 28-33) fand der erste Schnitt Ende Juni, der zweite Schnitt Anfang September 1999 statt. Eine Düngung von 50 kg N/ha erfolgte zum ersten Schnitt, die sich jedoch in den Bodenproben nicht niederschlägt. Mit Ausnahme der Probe 32 und der Messergebnisse von Mai 1999 liegen die N_{min}-Gehalte deutlich unterhalb von 10 kg/ha. Die Maiprobe weisen insgesamt einen geringeren TS-Gehalt auf, was auf eine Probenahme direkt nach der Frühjahrsüberschwemmung hindeutet. Zur Veranschaulichung wurden die N_{min}-Gehalte der Probe 31 (Abb. 5.60) graphisch dargestellt. Die Ammoniumwerte nehmen in allen Proben jeweils von der ersten bis zur dritten Messung ab. Die pH-Werte (CaCl₂) liegen zwischen 4,7 und 5,3, wobei Probe 32 die sauersten Gehalte aufweist. Die Nährstoffgehalte sind in allen Proben sehr konstant, so dass beispielhaft die Probe 31 in Abbildung 5.59 dargestellt wird. Die P-Gehalte liegen durchweg unter 2 mg/100g, die Kaliumgehalte streuen um 7 mg/100g. Die Phosphor- und Kaliumergebnisse der Probe 28 vom Juni 2000 fallen deutlich heraus, somit sind Fehler beim Messen zu vermuten. Die Mg-Gehalte liegen zwischen 30 und 40 mg/100g.

5. Darstellung der Ergebnisse

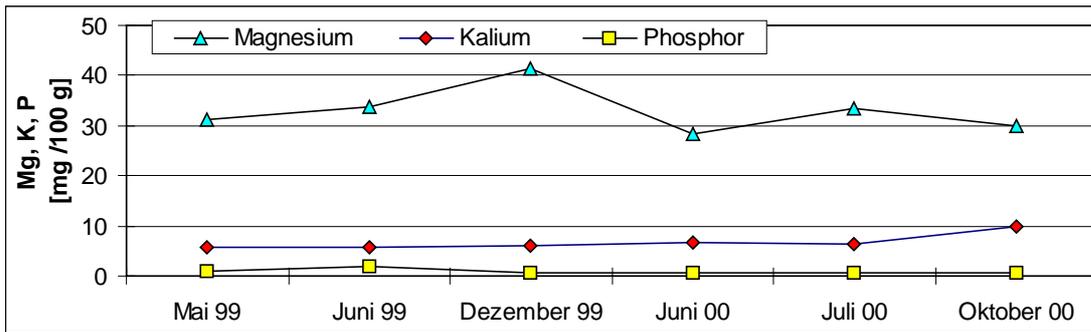


Abb. 5.59: Nährstoffgehalte der Fläche F8/2 (Probe 31)

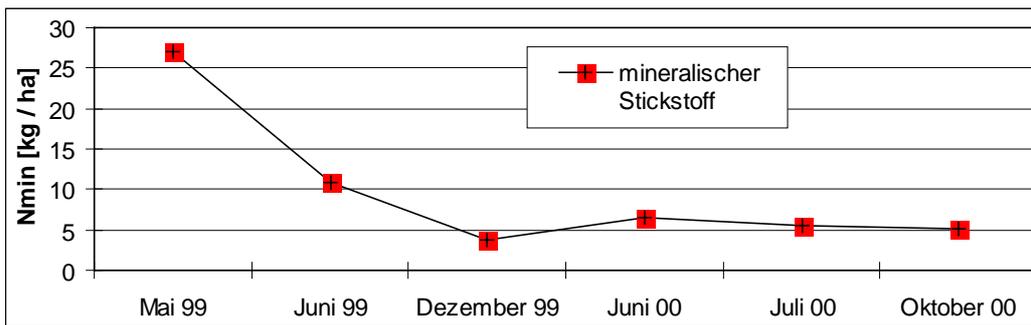


Abb. 5.60: N_{min}-Gehalte der Fläche F8/2 (Probe 31)

5.1.7.2 Nitratauswaschungsgefährdung

Das Risiko der Nitratauswaschung aus dem Boden kann über die relative Austauschhäufigkeit des Bodenwassers quantifiziert werden (AG Bodennutzung in Wasserschutzgebieten 1992, KUES & RAISSI 1995, DVWK 1996b). Um die Auswaschungsgefährdung abzuschätzen, muss das Wasserspeichervermögen des Bodens beziehungsweise das pflanzenverfügbare Bodenwasser und die Sickerwassermenge ermittelt werden. Die nachfolgenden Ergebnisdarstellungen erfolgen auf der Basis der Erhebungen von SERRUDO (2000).

Die Ermittlung der Austauschhäufigkeit (AF) des Bodenwassers wird in folgenden Schritten vorgenommen:

- Bestimmung der Bodenartenuntergruppe,
- Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität, bzw. des pflanzenverfügbaren Wassers,
- Ermittlung der Sickerwassermenge und
- Berechnung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers.

In die Abschätzung der Auswaschungsgefährdung gehen weiterhin der kf-Wert für die Tiefenstufe 1-2 m uGOK und die Denitrifikationskapazität der Böden ein.

Zur Anschauung ist in Abbildung 5.61 die Vorgehensweise zur Abschätzung der Nitratauswaschungsgefährdung schematisch dargestellt.



Abb. 5.61: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Abschätzung der Nitratauswaschungsgefährdung

5.1.7.2.1 Bestimmung der Bodenartenuntergruppe

Die Bestimmung der Bodenartenuntergruppen ist unter Kapitel 2.1.2 beschrieben, die jeweiligen standortspezifischen Ergebnisse sind in Kapitel 5.1.6 dargestellt. Im folgenden wird auf diese Daten zurückgegriffen, und diese gegebenenfalls durch weitere Daten ergänzt.

5.1.7.2.2 Ermittlung der Daten zur Bewertung des Wasserspeichervermögen im effektiven Wurzelraum

Um das Wasserspeichervermögen im effektiven Wurzelraum abzuschätzen, werden die Basisdaten des Wasserhaushaltes (Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität) und die Höhe des standörtlichen effektiven Wurzelraumes (Kap. 5.1.6) ausgewertet.

Die Kenngrößen des Wasserhaushaltes, die in die Bestimmung des standörtlichen Stoffverlagerungsrisikos eingehen sind die folgenden:

- Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKWe) [Vol.-%]
- nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) [Vol.-%]
- gesamtplanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl) [mm/]

5.1.7.2.3 Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) im effektiven Wurzelraum (We)

Als nutzbare Feldkapazität des Bodens wird die maximale Wassermenge bezeichnet, die in Poren der mittleren Größenklasse (0,2 bis 50 µm) entgegen der Schwerkraftwirkung im Boden gespeichert wird. Für die weiteren Berechnungsschritte wurden die im Labor ermittelten Feldkapazitäten herangezogen. Sind die Untergruppen der Bodenart der einzelnen Bodenhorizonte ermittelt, dann lässt sich die nutzbare Feldkapazität für jede dieser Untergruppen ableiten, für die keine Saugspannungskurven erstellt worden sind.

Durch Multiplikation der in Volumenprozent angegebenen nutzbaren Feldkapazitäten mit dem jeweiligen Bodenvolumen der Bodenhorizonte (10 cm = 100 Liter bzw. 100 mm) kann die nutzbare Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodens (nFKWe) berechnet werden. Als Berechnungsbeispiel dient die Probe 2, Fläche C1f:

Berechnung:

Für die Tiefe 0 bis 5,3 dm mit Bodenart mittel lehmiger Sand (Sl3) wurde die nutzbare Feldkapazität mit nFK = 15,04 Vol.-% ermittelt, Zuschlag¹ zur nFK (bei Humusgehalt² = 1,6 Masse-%) = 0,5 Vol.-%.

Für die Tiefe 5,3 bis 8 dm mit Bodenart schwach schluffiger Sand (Su2) wurde die nutzbare Feldkapazität mit nFK = 10,37 Vol.-% ermittelt, kein Zuschlag zur nFK da (Humusgehalt = 0,29 Masse-%).

Für die Tiefe ab 8 bis 10 dm mit Bodenart schwach schluffiger Sand (Su2) wurde die nutzbare Feldkapazität mit nFK = 13,15 Vol.-% ermittelt, kein Zuschlag zur nFK da (Humusgehalt = 0,29 Masse-%).

Nutzbare Feldkapazität für 1 m Tiefe ist:

$$\text{nFK}_{1\text{m Tiefe}} = 5,3 \cdot (15,04 + 0,5) + 2,7 \cdot 10,37 + 2 \cdot 13,15 = 136,7 \text{ mm}/10 \text{ dm}$$

Der mittlere effektive Wurzelraum für diese Schichten beträgt 7,5 dm, somit ergibt sich eine nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum von:

¹ Zuschlag zur FK und nFK siehe Bodenkundliche Kartieranleitung, 1994

² Humusgehalt siehe Bodenkundliche Kartieranleitung, 1994

$$nFKWe = (7,5 \cdot 136,7) / 10 = 102,5 \text{ mm.}$$

5.1.7.2.4 Ermittlung des standortbezogenen effektiven Wurzelraums

Die effektive Durchwurzelungstiefe als bodenphysikalischer Parameter ist mitbestimmend bei der Beurteilung der Wasser – und Nährstoffdynamik des Bodens. Die effektive Durchwurzelungstiefe ist die Tiefe in dm, bis zu der die Pflanzen dem Boden Nährstoffe entziehen können. Die effektive Durchwurzelungstiefe wird als Grenzlinie dargestellt (s. Bodenkundliche Kartieranleitung 1994: 312).

Zur Ermittlung dieser Grenzlinie wird der Wassergehalt beim permanenten Welkepunkt (PWP) sowie derjenige bei Feldkapazität (FK) und der niedrigste Wassergehalt im Herbst über die Tiefe des Bodenprofils eingetragen. Die Aufteilung der Flächen zwischen der Linie der Feldkapazität und der des geringsten Wassergehaltes in gleichen Größen ergeben die effektive Durchwurzelungstiefe (Grenzlinie). Die oberhalb der Grenzlinie liegende, punktierte Fläche stellt das noch pflanzenverfügbare Wasser, die untere schraffierte Fläche das schon verbrauchte Wasser dar.

Die in den Tabellen 5.8, 5.10, 5.12 und 5.14 angegebenen Werte der mittleren effektiven Durchwurzelungstiefe sind nach diesem Verfahren ermittelt worden. Da die Horizonte eines Bodenprofils zum Teil unterschiedliche Bodenarten aufweisen, ist ein Mittelwert für die gesamte Untersuchungstiefe erstellt worden.

Beispiel: Die Probe 2 der Fläche C1f hat bis 1 m Tiefe die folgenden Bodenarten und effektiven Durchwurzelungstiefen: mittel lehmiger Sand (Sl3 entspricht einer mittleren effektiven Durchwurzelungstiefe 8 dm). Die Bodenarten der 2. und 3. Profiltiefen sind schwach schluffiger Sand (Su2). Diese Bodenartenuntergruppe entspricht einer mittleren effektiven Durchwurzelungstiefe von 7 dm. Für das gesamte Bodenprofil ist eine mittlere effektive Durchwurzelungstiefe $We = 7,5$ dm ermittelt worden. In den Tabellen 5.7; 5.9; 5.11 und 5.13 sind die Feldkapazität (FK) bei pF 1,8 Vol.-%, der permanenter Welkepunkt (PWP) bei pF 4,2 Vol.-% und das Gesamtporenvolumen (GPV) aufgeführt und in den Tabellen 5.8, 5.10, 5.12 und 5.14 die FK und nFK des effektiven Wurzelraums angegeben.

Tab. 5.7: Wasserhaushaltsgrößen (FK, PWP, nFK und GVP) Betrieb 1

Probe	Fläche	Tiefe	FK bei pF 1,8	PWP bei pF 4,2	nFK	GPV
Nr.		cm	Vol.-%	Vol.-%	Vol.-%	Vol.-%
1	C1f	0-53	30.80	15.76	15.04	43.12
		53-80	16.29	5.91	10.37	43.57
		80-100	20.55	7.40	13.15	42.33
3	C5 N Teil	0-50	41.84	31.12	10.72	48.65
		50-100	32.39	14.17	18.22	44.68
4	C5 S Teil	0-36	42.64	30.18	12.47	46.84
		36-100	38.13	21.75	16.38	44.47
7	C7	0-55	42.04	24.63	17.41	48.59
		55-70	17.48	5.91	11.56	44.55
		70-100	36.49	18.43	18.06	40.20
9	C28 mittleres 1/3	0-40	27.84	12.85	14.99	40.82
		40-90	27.93	13.10	14.83	34.32
		90-100	32.11	9.89	22.22	41.96
10	C28 NE 1/3	0-40	29.19	13.18	16.02	41.63
		40-70	32.68	16.32	16.36	41.01
		70-100	33.84	14.76	19.08	41.99

Tab. 5.8: Bodenart, FKWe und nFKWe, Betrieb 1

Probe Nr.	Fläche	Tiefe cm	Dif. Tiefe dm	Bodenart	We dm	FKWe mm	nFKWe mm
1	C1f	0-53	5.3	Sl3			
		53-80	2.7	Su2			
		80-100	2	Su2	7.5	192.2	102.5
3	C5 N Teil	0-50	5.0	Lu			
		50-100	5.0	Sl3	9.5	371.6	144.6
4	C5 S Teil	0-36	6.6	Lu			
		36-100	6.4	Lu	11.0	461.3	166.7
7	C7	0-55	5.5	Slu			
		55-70	1.5	Su2			
		70-100	3.0	Ss	7.0	262.6	119.0
9	C28 mittleres 1/3	0-40	4.0	Sl3/Su2			
		40-90	5.0	Sl3-4			
		90-100	1.0		7.5	216.8	118.7
10	C28 NE 1/3	0-40	4.0	Sl2			
		40-70	3.0	Sl2			
		70-100	3.0	Sl3	7.5	245.1	130.4

Tab. 5.9: Wasserhaushaltsgrößen (FK, PWP, nFK und GVP) Betrieb 4

Probe Nr.	Fläche	Tiefe cm	FK bei pF 1,8 Vol.-%	PWP bei pF 4,2 Vol.-%	NFK Vol.-%	GPV Vol.-%
12/13	R1	0-47	42.58	21.13	21.45	66.21
		47-100	8.15	2.73	5.42	43.47
14	R2a	0-50	40.69	25.80	14.88	53.15
		50-95	37.91	27.99	9.92	47.29
		95-100	20.19	7.07	13.12	43.48
15	R2c	0-40	43.30	26.48	16.82	50.32
		40-100	42.04	28.26	13.78	51.56
18	R2d	0-65	25.04	11.29	13.74	46.01
		65-100	29.50	13.37	16.13	43.22
19	R7	0-17	41.31	22.67	18.63	55.74
		17-50	35.17	18.90	16.27	49.35
		50-100	39.97	27.82	12.15	12.15
11	R9	0-40	50.35	30.71	19.63	51.48
		40-100	31.18	7.68	23.50	38.10
16/17	R16a	0-10	37.03	18.69	18.34	45.42
		10-100	37.67	24.18	13.49	45.71
20	R32	0-25	20.95	7.05	13.90	44.78
		25-60	20.42	7.97	12.45	34.73
		60-100	32.90	19.87	13.03	35.47

Tab. 5.10: Bodenart, FKWe und nFKWe, Betrieb 4

Probe Nr.	Fläche	Tiefe cm	Dif. Tiefe dm	Bodenart	We dm	FKWe mm	nFKWe mm
12/13	R1	0-47	4.7	SL2-3			
		47-100	5.3		7.0	181.8	94.0
14	R2a	0-50	5.0	Lt3 mS			
		50-95	4.5				
		95-100	0.5		8.0	316.3	104.1
15	R2c	0-40	4.0	Lu			
		40-100	6.0	Lu	11.0	485.6	171.6
18	R2d	0-65	6.5	Su3			
		65-100	3.5	Sl3	7.5	199.5	109.3
19	R7	0-17	1.7	Slu			
		17-50	3.3	Slu			
		50-100	5.0	Lu	10.0	416.1	153.6
11	R9	0-40	4.0	Ls4			
		40-100	6.0	Ss	5.0	202.2	112.8
16/17	R16a	0-10	1.0	Lu			
		10-100	9.0	Lu	11.0	441.2	159.2
20	R32	0-25	2.5	Sl4			
		25-60	3.5	Sl4			
		60-100	4.0	Ls4	9.5	242.7	123.9

Tab. 5.11: Wasserhaushaltsgrößen (FK, PWP, nFK und GVP) Betrieb 2

Probe Nr.	Fläche	Tiefe cm	FK bei pF 1,8 Vol.-%	PWP bei pF 4,2 Vol.-%	NFK Vol.-%	GPV Vol.-%
21	Z111	0-32	34.96	21.85	13.11	44.61
		32-74	37.05	27.35	9.7	40.95
		74-100	40.22	30.24	9.97	41.90
23	Z175	0-40	44.51	33.12	11.39	49.00
		40-100	47.74	35.64	12.10	49.96
24	Z300	0-45	26.92	13.20	13.71	44.05
		45-100	30.75	17.39	13.36	40.15
27	Z322	0-43	30.14	20.80	9.35	34.27
		43-100	50.41	37.00	13.41	53.24
26	Z323	0-25	37.86	20.03	17.83	44.47
		25-46	28.70	17.00	11.70	35.38
		46-100	45.98	33.18	12.80	49.94
22	Z464d	0-30	20.60	10.40	10.20	43.58
		30-46	10.27	3.03	7.24	40.41
		46-100	10.85	3.44	7.41	39.47

Tab. 5.12: Bodenart, FKWe und nFKWe, Betrieb 2

Probe Nr.	Fläche	Tiefe cm	Dif.Tief dm	Bodenart	We dm	FKWe mm	nFKWe mm
21	Z111	0-32	3.2	Ls4			
		32-74	4.2	Ls4			
		74-100	2.6	Lt2-3	10	390.6	112.3
23	Z175	0-40	4	Lt2-3			
		40-100	6	Lt3	10	497.5	132.2
24	Z300	0-45	4.5	SI3			
		45-100	5.5	SI3-4	8	244.2	112.1
27	Z322	0-43	4.3	Lt2			
		43-100	5.7	Tu2	10	441.9	124.5
26	Z323	0-25	2.5	SI2			
		25-46	2.1	SI3			
		46-100	5.4	Tu2	7.5	319.1	109.6
22	Z464d	0-30	3.0	Ss			
		30-46	1.6	mSgs			
		46-100	5.4	gSmS	5.5	77.7	46.0

Tab. 5.13: Wasserhaushaltsgrößen (FK, PWP, nFK und GVP) Betrieb 6

Probe Nr.	Fläche	Tiefe cm	FK bei pF 1,8 Vol.-%	PWP bei pF 4,2 Vol.-%	nFK Vol.-%	GPV Vol.-%
32	F8/1	0-17	49.34	30.79	18.55	57.38
		17-100	45.30	31.25	14.05	50.99
31	F8/2	0-30	43.86	32.36	11.50	51.26
		30-100	42.47	31.06	11.41	48.04
30	F8/3	0-40	43.68	31.98	11.70	51.46
		40-100	43.49	30.74	12.75	49.17
29	F8/4	0-32	45.25	33.63	11.62	51.80
		32-100	46.02	34.43	11.59	51.26
28	F8/5	0-30	44.61	32.57	12.04	52.89
		30-100	48.42	36.17	12.26	51.57

Tab. 5.14: Bodenart, FKWe und nFKWe, Betrieb 6

Probe Nr.	Fläche	Tiefe cm	Dif. Tiefe dm	Bodenart	We dm	FKWe mm	nFKWe mm
32	F8/1	0-17	1.7	Tu4			
		17-100	8.3	Tu4	11	536.2	170.3
31	F8/2	0-30	3.0	Tu3			
		30-100	7.0	Tu3	11	507.5	141.8
30	F8/3	0-40	4.0	Tu4			
		10-100	6.0	Tu2	10.5	490.0	142.1
29	F8/4	0-32	3.2	Tu4			
		32-100	3.6	Tu2	10.5	348.9	91.7
28	F8/5	0-30	3.0	Tu4			
		30-100	7.0	Tu2	10.5	527.4	140.1

5.1.7.2.5 Bestimmung des kapillaren Aufstiegs

Bei grundwasserbeeinflussten Böden muss neben der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum auch der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser berücksichtigt werden. Die kapillare Aufstiegsrate (mm/d) lässt sich abhängig von der Bodenart, der Lagerungsdichte und vom Abstand des Grundwasserhorizontes bis zur Untergrenze des effektiven Wurzelraumes ermitteln. In der vorliegenden Arbeit wurde eine mittlere Lagerungsdichte für die verschiedenen Bodenarten angenommen. Der Bestimmung des kapillaren Aufstiegs liegen ferner die Werte des mittleren Grundwassertiefstandes (MNGW) zu Grunde (nachfolgendes Kap. 5.1.7.2.6). Die Werte der mittleren kapillaren Aufstiegsrate sind aus diesen Parametern ermittelt worden (Bodenkundliche Kartieranleitung, 1994, verändert). Als Beispiel dient die Probe 2 der Fläche C1f:

Mittlerer Grundwassertiefstand (MNGW)) = 10 dm (Kap. 5.1.7.2.6).

Die Differenz (z_a) zwischen den MNGW und der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes (W_e) ist :

$$z_a = \text{MNGW} - W_e$$

$$z_a = 10 - 7,5 = 2,5 \text{ dm}$$

Die kapillare Aufstiegsrate für die Bodenart Sl3 sowie für Su2 mit $z_a = 2,5 \text{ dm}$ ist $> 5,0 \text{ mm/d}$. Der kapillare Aufstieg ist jeweils für die **Hauptwachstumsperiode**² bemessen worden, das heißt für die Probe 2, Fläche C1f beträgt der kapillare Aufstieg:

$$K_a = 5 \cdot 120 = 600 \text{ mm}$$

Zur Bestimmung der kapillaren Aufstiegsrate ist das Profil bis zu einer Tiefe von 2 m zu betrachten. Die benötigten Bodenarten für den Bereich $>$ effektiver Wurzelraum bis 2 m uGOK sind den geologischen Bohrungen entnommen worden (s. Anhang 3).

5.1.7.2.6 Bestimmung des mittleren Grundwasserhochstands (MHGW) und Grundwassertiefstands (MNGW)

Der Grundwasserstand schwankt im Jahreslauf mehr oder weniger stark. Seine Schwankungsamplitude kann durch Angabe des mittleren Grundwasserhoch- (MHGW) und – tiefstandes (MNGW) sowie des mittleren Grundwasserstandes charakterisiert werden (siehe Tab. 5.15). Für die Bestimmung des kapillaren Aufstieges wird der Abstand (z_a) aus der Differenz zwischen dem mittleren Grundwassertiefstand (MNGW) (z_g) und der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes (W_e) herangezogen. Die benötigten Daten der Betriebsflächen, die der Bodenübersichtskarte 1:50.000 (BÜK 50) entnommen wurden (ARUM 2000), sind in den Tabellen 5.15; 5.16; 5.17 und 5.18 aufgeführt.

² **Hauptwachstumsperiode:**

- Getreide: 60Tage
- Hackfrüchte, Mais, einjähriger Feldfutterbau: 90 Tage
- Grünland, mehrjähriger Feldfutterbau, Getreide inkl. Zwischenfrüchte: 120 Tage

Tab. 5.15: Kapillaraufstieg (Ka) , Betrieb 1

Probe	Fläche	MHW	MNGW	GWS	za = zg-We	kapillarer Aufstieg (Ka)	ges. Ka
Nr.		dm	dm		dm	mm/d	mm
1	2	3	4	5	6	7	8
1	C1f	3	10	3	2.5	>5.0	600
3	C5 N'Teil	3	10	3	0.5	0	0
4	C5 S'Teil	3	10	3	-1	0	0
7	C7	3	10	3	3	>5.0	600
9	C28 mittleres 1/3	10	-99	5	-	-	-
10	C28 NE' 1/3	10	-99	5	0	0	0

Quelle: ARUM, 2000 (Spalten 3-4)

Tab. 5.16: Kapillaraufstieg (Ka), Betrieb 4

Probe	Fläche	MHW	MNGW	GWS	za = zg-We	kapillarer Aufstieg (Ka)	ges. Ka
Nr.		dm	dm		dm	mm/d	mm
1	2	3	4	5	6	7	8
12/13	R1	3	10	3	3	>5.0	600
14	R2a	3	10	3	2	>5.0	600
15	R2c	3	10	3	-1	0	0
18	R2d	3	10	3	2.5	>5.0	600
19	R7	3	10	3	0	0	0
11	R9	3	10	3	5	0.5	60
16/17	R16a	3	10	3	-1	0	0
20	R32	-99	-99	6	-	-	0

Quelle: ARUM, 2000 (Spalten 3 und 4)

Tab. 5.17: Kapillaraufstieg (Ka), Betrieb 2

Probe	Fläche	MHGW	MNGW	GWS	za = zg-We	kapillarer Aufstieg (Ka)	ges. Ka
Nr.		dm	dm		dm	mm/d	mm
1	2	3	4	5	6	7	8
21	Z111	6	16	4	6	1.2	72
23	Z175	6	16	4	6	0.5	30
24	Z300	6	16	4	8	1.5	180
27	Z322	6	16	4	6	0.5	60
26	Z323	6	16	4	8.5	0.35	42
22	Z464d	6	16	4	10.5	0	0

Quelle: ARUM, 2000 (Spalten 3 und 4)

Tab 5.18: Kapillaraufstieg (Ka), Betrieb 6

Probe	Fläche	MHGW	MNGW	GWS	za = zg-We	kapillarer Aufstieg (Ka)	ges. Ka
Nr.		dm	dm		dm	mm/d	mm
1	2	3	4	5	6	7	8
32	F8/1	6	16	4	5	4	480
31	F8/2	6	16	4	5		240
33	F8/3	6	16	4	5.5	4.75	570
29	F8/4	6	16	4	5.5	4	480
28	F8/5	6	16	4	5.5	2.25	270

Quelle: ARUM, 2000 (Spalten 3 und 4)

5.1.7.2.7 Ermittlung des gesamten pflanzenverfügbaren Bodenwassers (Wpfl)

Die Bestimmung des gesamten pflanzenverfügbaren Bodenwassers kann im nächsten Schritt aus den Werten der nFKWe und des kapillaren Aufstiegs (Ka) ermittelt werden:

$$\mathbf{Wpfl = nFKWe + Ka ; [mm]}$$

GI.1

Als Beispiel dient die Berechnung des gesamten pflanzenverfügbaren Bodenwassers der Probe 2 der Fläche C1f:

$$Wpfl = 102.5 + 600 = 702,5 \text{ mm.}$$

5. Darstellung der Ergebnisse

Die Werte des gesamten pflanzenverfügbaren Bodenwassers (Wpfl) sind in den nachfolgenden Tabellen 5.19; 5.20; 5.21 und 5.22 aufgeführt.

Tab. 5.19: Gesamtes pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl), Betrieb 1

Probe Nr.	Fläche	nFKWe mm	ges. Ka mm	Wpfl mm
2	C1f	102.5	600	702.5
3	C5 N'Teil	144.6	0	144.6
4	C5 S'Teil	166.7	0	166.7
7	C7	119.0	600	719.0
9	C28 mittleres 1/3	118.7	0	118.7
10	C28 NE' 1/3	130.4	0	130.4

Tab. 5.20: Gesamtes pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl), Betrieb 4

Probe Nr.	Fläche	nFKWe mm	ges. Ka mm	Wpfl mm
12/13	R1	94.0	600	694.0
14	R2a	104.1	600	704.1
15	R2c	171.6	0	171.6
18	R2d	109.3	600	709.3
19	R7	153.6	0	153.6
11	R9	112.8	60	172.8
16/17	R16a	159.2	0	159.2
20	R32	123.9	0	123.9

Tab. 5.21: Gesamtes pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl), Betrieb 2

Probe Nr.	Fläche	nFKWe mm	ges. Ka mm	Wpfl mm
21	Z111	112.3	72	184.3
23	Z175	132.2	30	162.2
24	Z300	112.1	180	292.1
27	Z322	124.5	60	184.5

5. Darstellung der Ergebnisse

26	Z323	109.6	42	151.6
22	Z464d	46.0	0	46.0

Tab. 5.22: Gesamtes pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl), Betrieb 6

Probe	Fläche	nFKWe	ges. Ka	Wpfl
Nr.		mm	mm	mm
32	F8/1	170.3	480	650.3
31	F8/2	141.8	240	381.8
33	F8/3	142.1	570	712.1
29	F8/4	134.0	480	614.0
28	F8/5	140.1	270	410.1

5.1.7.2.8 Ermittlung der Sickerwasserrate (SR)

Die Größe der jährlichen Sickerwasserspende lässt sich näherungsweise mit Hilfe des pflanzenverfügbaren Wassers (Wpfl) der Winter- und Sommerniederschlagsmenge und der potentiellen Evapotranspiration bestimmen.

Unter gleichen klimatischen Standortbedingungen hängt die Höhe der Sickerwasserspende von der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) und der Höhe der aktuellen Evapotranspiration ab. Dabei gilt grundsätzlich, dass die Grundwasserneubildungsrate im Gegensatz zur aktuellen Evapotranspiration mit zunehmender Bodenbedeckung abnimmt. Die evapotranspirierende Wassermenge verschiedener Kulturen nimmt wesentlichen Einfluss auf die Sickerung aus dem Wurzelraum und damit die potentielle Grundwasserneubildungsrate. Die Sickerung ist beispielhaft für einige Kulturen folgendermaßen gestaffelt: Sickerung bei Schwarzbrache > Acker > Grünland (niederwüchsige), Sickerung bei Brachlandvegetation >> Laubwald (verbuschtes), Brachland > Nadelwald (AG Bodennutzung in Wasserschutz- und Schongebieten 1992).

Der Wasservorrat des zu betrachtenden Bodenwasserhaushalts wird durch die Wassermenge der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) beschrieben. Aus diesem Wasserpuffer wird im Sommer Wasser an die Atmosphäre abgegeben und in Winter Wasser entgegen der Schwerkraft festgehalten.

Die Bestimmung der Sickerwasserspende (SR) erfolgt gemäß Bodenkundliche Pflichtenhefte für Niedersachsen (Heft 1, 1994) nach den folgenden Gleichungen :

Ackerland: $SR = 0.92(Nw) + 0.61(Nv) - 153(\log Wpfl) - 0.12(ETPHaude) + 109$ GI.2

Grünland: $SR = 0.90(Nw) + 0.52(Nv) - 286(\log Wpfl) - 0.10(ETPHaude) + 330$ GI.3

Dabei sind:

SR: Sickerwasserrate [mm/a]

5. Darstellung der Ergebnisse

Nw:	Niederschläge des Winterhalbjahres [mm/0.5a]
Nv:	Niederschläge der Vegetationsperiode [mm/0.5a]
ETPHaude:	Potentielle Verdunstung [mm/a]
Wpfl:	Pflanzenverfügbares Bodenwasser [mm]

Beispielhafte Berechnung der Sickerwasserrate für die Probe 2, Fläche C1f unter Benutzung der Gleichung 3 (Grünland-Nutzung):

Niederschlag: Station 3048 Boizenburg (WST)
 Zeit: ab 1985 bis 1990 und ab 1992 bis 2000 (insgesamt 15 Jahre)
 Nw=315.9 mm;
 Nv=332.7 mm;
 ETPHaude = 554.1 mm

$$SR = (0.9 \times 315.9) + (0.52 \times 332.7) - (286 \times \log 702.5) - (0.1 \times 554.1) + 330 = 284.31 + 173.004 - 814.14 - 55.41 + 330 = -82.2 \text{ mm/a}$$

Die Gleichungen 2 und 3 sind nur für ebene Flächen bis Neigungsstufe < N1.2 (0 bis 3.5 %) gültig. Für Standorte mit stärkerem Relief (Hangposition und Hangneigungsstufen) werden Zuschläge wie Abschläge aus „Bodenkundliche Pflichtenhefte für Niedersachsen“ (1994) entnommen. Da der Standort C1f in ebenem Gelände liegt, entfällt der Neigungseinfluss.

Die Daten der durchschnittlichen Niederschlagsspenden und Potentiellen Verdunstung zur Berechnung der Sickerwasserspende sind vom Deutschen Wetterdienst, Offenbach zur Verfügung gestellt worden.

Winter: Oktober bis März; Sommer: April bis September.

Für die Gebiete der Auswahlbetriebe 4 und 6 sind die gemittelten Monatsniederschlagswerte über 12 Jahre der Station 48305 Schnackenburg-Kapern zu Grunde gelegt worden. Die potentielle Verdunstung ist den Daten der Station 3162 Seehausen (WST) entnommen worden (siehe Tab. 6.1). Für Betrieb 1 wurden Daten 15jähriger Beobachtungen des Niederschlagsganges und 16jähriger Beobachtungen der potentiellen Verdunstung der Station 3048 Boizenburg herangezogen. Für den Auswahlbetrieb 2 sind die Monatsniederschlagswerte der Station 48510, Neuhaus, und die der potentiellen Verdunstung der Station Grambeck entnommen worden. Der Beobachtungszeitraum für die Berechnung der mittleren Niederschlagsmonatsmittel beträgt 16 Jahre, derjenige der potentiellen Verdunstung 15 Jahre.

Tab. 5.23: Mittlerer Niederschlag und potentielle Verdunstung im Gebiet der Betriebe 4 und 6 (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach; Niederschlag: 1985 –1996 (12 Jahre), Verdunstung: 1985-1999 (15 Jahre))

	Niederschlag	Potentielle Verdunstung
	[mm]	[mm]
Winter	272,7	
Sommer	308,50	
Jahresmittel	581,2	631,7

Tab. 5.24: Mittlerer Niederschlag und potentielle Verdunstung im Gebiet von Betrieb 1 (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach; Niederschlag: 1985 –1990 und 1992-2000 (15 Jahre), Verdunstung: 1983-1999 (17 Jahre))

	Niederschlag	Potentielle Verdunstung
	[mm]	[mm]
Winter	315,9	
Sommer	332,7	
Jahresmittel	648,6	554,1

Tab. 5.25: Mittlerer Niederschlag und potentielle Verdunstung im Gebiet von Betrieb 2 (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach; Niederschlag: 1985–2000 (16 Jahre), Verdunstung: 1985-1999 (15 Jahre))

	Niederschlag	Potentielle Verdunstung
	[mm]	[mm]
Winter	272,1	
Sommer	317,6	
Jahresmittel	589,7	572,8

Die errechneten Werte der standortbezogenen Sickerwasserraten für die vier Untersuchungsgebiete sind in den Tabellen 5.26, 5.27, 5.28 und 5.29 angegeben. Da für die Berechnung der Sickerwasserrate auf ackerbaulich genutzten Standorten eine andere Formel benutzt wird (Gleichung 2) als für die Berechnung der Sickerwasserrate auf Grünlandstandorten, sind die entsprechenden Ackerland-Flächen mit (*) gekennzeichnet .

Tab. 5.26: Sickerwasserrate (SR) – Betrieb 1

Probe	Fläche	Sickerwasserrate (SR)
Nr.		[mm/a]
2	C1f	-82.2
3	C5 S`Teil	114.1
4	C5 N`Teil	96.4
7	C7	-85.1
9	C28 mittleres 1/3*	218.7
10	C28 NE` 1/3*	212.4

Tab. 5.27: Sickerwasserrate (SR)- Betrieb 4

Probe	Fläche	Sickerwasserrate (SR)
Nr.		[mm/a]
12/13	R1	-76.8
14	R2a	-78.6
15	R2c	96.8
18	R2d	-79.5
19	R7	110.5
11	R9	95.9
16/17	R16a*	135.4
20	R32*	152.0

Tab. 5.28: Sickerwasserrate (SR)- Betrieb 2

Probe	Fläche	Sickerwasserrate (SR)
Nr.		[mm/a]
21	Z111*	137.7
23	Z175*	146.2
24	Z300	-22.4
27	Z322	34.7
26	Z323	59.1
22	Z464d*	229.9

Tab. 5.29: Sickerwasserrate (SR)- Betrieb 6

Probe	Fläche	Sickerwasserrate (SR)
Nr.		[mm/a]
32	F8/1	-68.7
31	F8/2	-2.5
33	F8/3	-80.0
29	F8/4	-61.6
28	F8/5	-11.4

5.1.7.2.9 Berechnung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF)

Die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers bei Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKWe) beschreibt wie häufig im Verlauf eines Jahres die Bodenlösung in der effektiven Wurzelzone im Zuge der Sickerwasserverlagerung ausgetauscht wird.

Die Abschätzung der potentiellen Nitratbelastung des Grundwassers unter Berücksichtigung der natürlichen Standortverhältnisse erfolgt gemäß „Bodenkundliche Pflichtenhefte für Niedersachsen“, (1994) nach folgendem Ansatz:

$$AF = (SR/FKWe) \cdot 100; [\%/a]$$

GI.4

Wobei:

FKWe: Feldkapazität im effektiven Wurzelraum [mm]

SR: Sickerwasserrate [mm]

Beispielhaft berechnet sich die Austauschhäufigkeit für die Probe 2 der Fläche C1f wie folgt:

$$AF = (-82,3/192,2) \times 100 = - 42,8 \%/a$$

Austauschhäufigkeiten unter 100 % bedeutet, dass das Bodenwasser im Jahresdurchschnitt nicht komplett ausgetauscht wird. Dementsprechend bedeuten Werte von mehr als 100 %, dass das Bodenwasser mehr als einmal im Jahresdurchschnitt ausgetauscht wird.

Um die Auswaschungswahrscheinlichkeit von Nitrat abzuschätzen, wird die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers benötigt. Dabei gilt: je höher die Austauschhäufigkeit, desto größer ist die Auswaschungswahrscheinlichkeit. Umgekehrt heißt das auch: sind die Austauschhäufigkeiten gering, so wäscht das Sickerwasser nicht unbedingt den gesamten verlagerungsfähigen NO₃-Vorrat im Boden aus.

Die ermittelten Werte der relativen Austauschhäufigkeiten sind in den Tabellen 5.30, 5.31, 5.32 und 5.33 angegeben.

Tab. 5.30: Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) Betrieb 1

Probe Nr.	Fläche	SR [mm/a]	FKWe [mm]	AF [%/a]
2	C1f	-82.2	192.2	-43
3	C5 N Teil	114.1	371.6	31
4	C5 S Teil	96.4	461.3	21
7	C7	-79.1	262.6	-30
9	C28 mittleres 1/3*	218.7	216.8	101

5. Darstellung der Ergebnisse

10	C28 NE' 1/3*	212.4	245.1	87
----	--------------	-------	-------	----

Tab. 5.31: Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) Betrieb 4

Probe	Fläche	SR	FKWe	AF
Nr.		[mm/a]	[mm]	[%/a]
12/13	R1	-76.8	181.8	-42
14	R2a	-78.6	316.3	-25
15	R2c	96.8	485.6	20
18	R2d	-79.5	199.5	-40
19	R7	110.5	416.1	27
11	R9	95.9	202.2	47
16/17	R16a*	135.4	441.2	31
20	R32*	152.0	242.7	65

Tab. 5.32: Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) Betrieb 2

Probe	Fläche	SR	FKWe	AF
Nr.		[mm/a]	[mm]	[%/a]
21	Z111*	137.7	390.6	35
23	Z175*	146.2	497.5	29
24	Z300	-22.4	244.2	-9
27	Z322	34.7	441.9	8
26	Z323	59.1	319.1	19
22	Z464d*	229.9	77.7	296

Tab. 5.33: Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) Betrieb 6

Probe	Fläche	SR	FKWe	AF
Nr.		[mm/a]	[mm]	[%/a]
32	F8/1	-68.7	536.2	-13
31	F8/2	-2.5	507.5	-1
33	F8/3	-80.0	490.0	-16
29	F8/4	-61.6	348.9	-12
28	F8/5	-11.4	545.8	-2

5. Darstellung der Ergebnisse

Die Bewertung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers in Abhängigkeit von der Sickerwasserrate (SR) und Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKWe) erfolgt gemäß der Tabelle 5.34. Die Beurteilung und Einstufung der Standorte hinsichtlich der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers ist in den Tabellen 5.35, 5.36, 5.37 und 5.38 angegeben.

Tab. 5.34: Höhe und Bewertung der Austauschhäufigkeit (AF) des Bodenwassers in Abhängigkeit von der Sickerwasserrate (SR) und Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKWe) (aus: Bodenkundliche Pflichtenhefte, 1994).

AF [%/a]	< 70	70-100	100-150	150-250	> 250
Bewertung	sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß

Tab. 5.35: Einstufung der Austauschhäufigkeit (AF)- Betrieb 1

Probe Nr.	Fläche	AF [%/a]	Einstufung
2	C1f	-43	sehr gering
3	C5 N´Teil	31	sehr gering
4	C5 S´Teil	21	sehr gering
7	C7	-30	sehr gering
9	C28 mittleres 1/3*	101	mittel
10	C28 NE´ 1/3*	87	gering

Tab. 5.36: Einstufung der Austauschhäufigkeit (AF)- Betrieb 4

Probe Nr.	Fläche	AF [%/a]	Einstufung
12/13	R1	-42	sehr gering
14	R2a	-25	sehr gering
15	R2c	20	sehr gering
18	R2d	-40	sehr gering
19	R7	27	sehr gering
11	R9	47	sehr gering

5. Darstellung der Ergebnisse

16/17	R16a*	31	sehr gering
20	R32*	65	sehr gering

Tab. 5.37: Einstufung der Austauschhäufigkeit (AF) – Betrieb 2

Probe	Fläche	AF	Einstufung
Nr.		[%/a]	
21	Z111*	35	sehr gering
23	Z175*	29	sehr gering
24	Z300	-9	sehr gering
27	Z322	8	sehr gering
26	Z323	19	sehr gering
22	Z464d*	296	groß

Tab. 5.38: Einstufung der Austauschhäufigkeit (AF) – Betrieb 6

Probe	Fläche	AF	Einstufung
Nr.		[%/a]	
32	F8/1	-13	sehr gering
31	F8/2	-1	sehr gering
33	F8/3	-16	sehr gering
29	F8/4	-12	sehr gering
28	F8/5	-2	sehr gering

5.1.7.2.10 Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (kf –Wert)

Die Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (kf) ist ein wichtiges Maß für die Beurteilung der Filtereigenschaften der Bodensickerwasserzone. Die Verlagerung von Stoffen aus dem Oberboden in tiefere Bodenschichten erfolgt über das Transportmedium Wasser. Bei Lockersedimenten geht man bei mitteleuropäischen Klima- und Bodenverhältnissen von einer jährlichen Sickerwasserbewegung von 0,5 bis 2,0 m in Richtung des Grundwassers aus. So kann es unter Umständen Jahrzehnte dauern, bis sich Stickstoffüberdüngung durch eine ansteigende Nitratkonzentration im Grundwasser bemerkbar macht (KUNTZE 1994) (Kap. 2.1.7).

Die Tiefe der Stoffverlagerung und somit die Zeit bis zum Erreichen des Grundwassers ist abhängig von der klimatischen Wasserbilanz, der standörtlichen Nährstoffrückhaltefähigkeit, der Vegetation und der Bewirtschaftungsintensität.

5. Darstellung der Ergebnisse

Die Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (kf) in Abhängigkeit von der effektiven Lagerungsdichte und Bodenart zwischen 1-2 m (Kap. 5.1.5) ist in Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (1994), erfolgt. Für alle Untersuchungsflächen wurde eine mittlere Lagerungsdichte (Ld3) über das gesamte Profil angenommen (Kap. 2.1.6). Die kf- Werte sowie ihre Einstufung sind den Tabellen 5.39, 5.40, 5.41 und 5.42 zu entnehmen.

Tab. 5.39: Wasserdurchlässigkeit (kf) und ihre Einstufung – Betrieb1

Fläche	kf- Wert	Einstufung
	[cm/d]	
C1f	265	sehr hoch
C5 N Teil	97	hoch
C5 S Teil	427	äußerst hoch
C7	93	hoch
C28 NE' 1/3*	16	mittel
C28 mittleres 1/3*	2	gering

Tab. 5.40: Wasserdurchlässigkeit (kf) und ihre Einstufung – Betrieb 4

Fläche	kf- Wert	Einstufung
	[cm/d]	
R1	427	äußerst hoch
R2a	427	äußerst hoch
R2c	28	mittel
R2d	12	mittel
R7	10	gering mittel
R16a*	7	gering
R9	118	sehr hoch
R32*	33	mittel

Tab. 5.41: Wasserdurchlässigkeit (kf) und ihre Einstufung- Betrieb 2

Fläche	kf- Wert	Einstufung
	[cm/d]	
Z111*	427	äußerst hoch
Z175*	5	gering
Z300	7	gering
Z322	5	gering
Z323	25	mittel

5. Darstellung der Ergebnisse

Z464d*	427	äußerst hoch
--------	-----	--------------

Tab. 5.42: Wasserdurchlässigkeit- (kf) und ihre Einstufung – Betrieb 6

Fläche	kf- Wert	Einstufung
	[cm/d]	
F8/1	40	mittel-hoch
F8/2	13	mittel
F8/3	7	gering
F8/4	12	mittel
F8/5	5	gering

5.1.7.2.11 Einschätzung der Denitrifikationskapazität

Der Prozess der Denitrifikation kann während der Bodenpassage und sogar im Aquifer selbst eine Reduzierung des im Wasser gelösten Nitrats bewirken.

Höhere Bodenwassermengen und Bodentemperaturen sowie ein größeres Angebot leicht zersetzbarer organischer Substanzen fördern häufig die Denitrifikation im Wurzelraum (FREDE 1975, OTTOW 1992, WENGLAND 1992); ferner steigt die Denitrifikation bei Sauerstoffmangel im Boden an. Doch auch gut durchlüftete Böden können hohe Denitrifikationsraten aufweisen, falls sie sehr große Mengen leicht zersetzbarer organischer Substanzen enthalten.

Eine Abschätzung der Denitrifikationsbedingungen für wichtige mitteleuropäische Bodentypen geben WENGLAND et al. (1993), wobei die vorherrschenden Bodentypen des Untersuchungsgebietes, Gleye und Auenböden, sowie Pseudogleye und Übergangsformen zwischen diesen, die günstigsten Denitrifikationsbedingungen mit den höchsten, zu erwartenden Denitrifikationsraten aufweisen.

Tab. 5.43: Abschätzung der Denitrifikationsbedingungen für wichtige mitteleuropäische Bodentypen (nach WENDLAND et al. 1993); + günstiger Einfluss, o mittelmäßiger Einfluss, - ungünstiger Einfluss

Bodentyp	Bodenwasser- verhältnisse	Nährsubstrat	Temperatur	pH-Wert	Gesamteinstufung
Podsol	-	-	-	-	-
podsolige Braunerde	o	-	-	-	-
podsoligte Parabraunerde	o	-	-	-	-
Braunerde (basenarm)	- / o	o	-	-	-
Syrosem	-	-	-	-	-
Pararendzina	o	o / -	o / +	+	o
Rendzina	o	o / +	o	+	o
Braunerde (basenreich)	o	o / +	o	o / +	o
Parabraunerde	o	o / +	o	- / o / +	o
Pseudogley	+	-	o	o / -	+
Tschernosem	o / +	+	+	+	+
Gley	+	+	-	-	+
Auenböden	+	+	o	+	+
Marschböden	+	+	o	+ / o	+
Niedermoor	+	+	o	+	+
Hochmoor	+	+	o	-	+

Die Denitrifikationskapazität der untersuchten Flächen wurde über die Bestimmung der Nitratreduktaseaktivität nach ABDELMAGID & TABATABAI (1987), modifiziert nach SCHINNER et al. (1993) (Kap. 4.1.4) an feldfrischen Oberbodenproben ermittelt. Dabei wird unter Laborbedingungen der Prozess der Umwandlung des NO^{3-} zu NO^2 , der durch das Enzym Nitratreduktase katalysiert wird, über das entstehende Nitrit erfasst und die abgebaute N-Menge errechnet (Tab. 5.44). Die Analytik wurde um eventuelle jahreszeitliche Schwankungen zu detektieren im Frühjahr und im Herbst durchgeführt und Schwankungsbereiche in die Berechnung und Bewertung einbezogen.

Eine Einstufung erfolgt über eine weiterentwickelte, modifizierte Bewertungsmatrix (FREDE & DABBERT 1999) der entbundenen Stickstoffmenge des jeweiligen Standortes und nicht primär über den Bodentyp.

Tab. 5.44: Bestimmung der Denitrifikationskapazität (Nitratreduktaseaktivität) der Standorte der Auswahlbetriebe (URBAN et al. 2001)

Standort (Probe, Nutzung: Ackerschlag (AS), Mähweide (MW), Weide (W), Außendeich (A), Binnendeich (B))	Bereiche der Denitrifikationsrate (Nitratreduktase-Aktivität = $\mu\text{g N/g TS} \times 24\text{h}^{-1}$) * [kg N/ha x a]	**Denitrifikationskapazität	***Standörtliche Bewertung der Denitrifikationsbedingungen
C5 S' Teil (3, MW, A) C5 N' Teil (4, MW, A) C6 (5+6, MW, A) C7 (7, MW, A) R9 (11, W, B) R2a (14, MW, A) R2c (15, MW, A) R7 (19, MW, A) R32 (20, AS, B) F8/5 (28, MW, A) F8/4 (29, MW, A) F8/3 (30, MW, A) F8/1 (32, MW, A) F8/3 (33, MW, A)	0 - 5	gering - mittel	ungünstig - eingeschränkt günstig
C28 NE' Teil (10, AS, B) R16a NE' Teil (16, AS, A) R2d (18, MW, A) Z111 (21, AS, B) Z175 (23, AS, B)	5 - 10	mittel	günstig
C1f (2, W, A) Z464d (22, AS, B) Z300 (24, MW, A) Z323 (26, W, B) Z322 (27, W, B)	10 - 20	mittel - hoch	günstig
R1 (12+13, W, A)	20 - 50	hoch	günstig

Anmerkungen:

* Bestimmung der Nitratreduktaseaktivität nach ABDELMAGID, H.M. & TABATABAI, M.A., 1987, modifiziert nach SCHINNER, F. et al., 1993

** Modifiziert nach FREDE, H.-G. & DABBERT, S., 1999

***Einstufung der standörtlichen Denitrifikationsbedingungen anhand der Bestimmung der Nitratreduktase-Aktivität und der Standortfaktoren (Bodentyp, hohe Bodenfeuchte und /oder hohe Bodendichte, pH-Wert, Temperatur, Humusqualität nach WENDLAND, F. et al., 1993)

5.1.7.2.12 Nitrat Auswaschungsgefährdung der Untersuchungsgebiete

Zur abschließenden Abschätzung der Nitrat Auswaschungsgefährdung werden die ermittelten Parameter: Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF), die Einstufung der kf- Werte und die Denitrifikationskapazität und ihre Einstufung herangezogen. Die Einstufung der Auswaschungsgefährdung erfolgt über eine fünfstufige Klassifizierung:

- sehr geringe Nitrat Auswaschungsgefährdung
- geringe Nitrat Auswaschungsgefährdung
- mittlere Nitrat Auswaschungsgefährdung (gering-mittel als Übergangsklasse in diesem Bericht)
- große Nitrat Auswaschungsgefährdung und
- sehr große Nitrat Auswaschungsgefährdung.

Der ausschlaggebende Parameter für die Klassifikation der Austauschgefährdung ist die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers, die im Hauptdurchwurzelungshorizont ermittelt wurde. Der für die zweite untersuchte Tiefenstufe (1-2 m) ermittelte kf-Wert (Kap. 5.1.7.2.8), modifiziert die Einstufung als zweiter Parameter nur geringfügig (Tab. 5.45). Die Einstufung der Denitrifikationskapazität bewegt sich zwischen „ungünstig“ – „eingeschränkt günstig“ und hat das Einstufungsergebnis nicht weiter modifiziert.

Tab. 5.45: Einstufung der Nitrat Auswaschungsgefährdung in Abhängigkeit von der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AF) und dem kf-Wert

AF	kf-Wert	Einstufung der Nitrat Auswaschungsgefährdung
sehr gering	gering	sehr gering
sehr gering	gering-mittel	gering
sehr gering	mittel	gering
sehr gering	mittel-groß	gering
sehr gering	hoch	gering
sehr gering	sehr hoch	gering
sehr gering	äußerst hoch	gering-mittel
mittel	gering	mittel
groß	äußerst hoch	groß

Die zusammenfassende Abschätzung der Nitrat Auswaschungsgefährdung ist in den Tabellen 5.46-5.49 aufgelistet.

Tab. 5.46: Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung – Betrieb1

Fläche	Einstufung AF	Einstufung Denitrifikationskapazität	Einstufung kf-Wert	Einstufung Auswaschungsgefahr
C1f	sehr gering	günstig	sehr hoch	gering
C5 N´Teil	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	hoch	gering
C5 S´Teil	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	äußerst hoch	gering-mittel
C7	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	hoch	gering
C28 NE´ 1/3*	gering	günstig	mittel	gering
C28 mittleres 1/3*	mittel	günstig	gering	mittel

Tab. 5.47: Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung –Betrieb 4

Fläche	Einstufung AF	Einstufung Denitrifikationskapazität	Einstufung kf-Wert	Einstufung Auswaschungsgefahr
R1	sehr gering	günstig	äußerst hoch	gering-mittel
R2a	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	äußerst hoch	gering-mittel
R2c	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	mittel	gering
R2d	sehr gering	günstig	mittel	gering
R7	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	gering-mittel	gering

5. Darstellung der Ergebnisse

R16a*	sehr gering	günstig	gering	sehr gering
R9	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	sehr hoch	gering
R32*	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	mittel	gering

Tab. 5.48: Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung - Betrieb 2

Fläche	Einstufung AF	Einstufung Denitrifikationskapazität	Einstufung kf-Wert	Einstufung Auswaschungsgefahr
Z111*	sehr gering	günstig	äußerst hoch	gering-mittel
Z175*	sehr gering	günstig	gering	sehr gering
Z300	sehr gering	günstig	gering	sehr gering
Z322	sehr gering	günstig	gering	sehr gering
Z323	sehr gering	günstig	mittel	gering
Z464d*	groß	günstig	äußerst hoch	groß

Tab. 5.49: Einstufung der Nitratauswaschungsgefährdung – Betrieb 6

Fläche	Einstufung AF	Einstufung Denitrifikationskapazität	Einstufung kf-Wert	Einstufung Auswaschungsgefahr
F8/1	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	mittel-hoch	gering
F8/2	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	mittel	gering
F8/3	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	gering	sehr gering
F8/4	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	mittel	gering
F8/5	sehr gering	ungünstig - eingeschränkt günstig	gering	sehr gering

5. Darstellung der Ergebnisse

5.1.7.3 Schwermetallgehalte

5.1.7.3.1 Ergebnisse der Schwermetallgehalte dreier Aufschluss- und Analytikverfahren der Oberböden und des Grünschnitts

Die Gesamtfraktion < 2 mm von 33 Mischproben der Oberböden (0-30 cm) der Acker- sowie Grünlandstandorte wurde nach drei methodischen Vorgehensweisen auf ihren Schwermetall-respektive Gesamtelementgehalt untersucht (BEYENE 2001). Um den Gehalt der anorganischen Kontaminanten zu bestimmen, wurden die Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA= X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRFS) und der Königswasseraufschluss, für die Determinierung des pflanzenverfügbaren, ökologisch relevanten Anteils, der Ammonium-Nitratenaufschluss eingesetzt. Die Messung der Königswasser- und der Ammonium-Nitratextrakte wurde mit der ICP-AES (Inductive Coupled Plasma – Atomic Emissions Spectrometry) durchgeführt. Die Messung der Gesamtgehalte der Schwermetalle mithilfe der RFA erfolgte ohne Aufschlussverfahren anhand von Pellets (Presslingen), die aus den getrockneten (60°C, 105°C) und gemahlene Boden- und Pflanzenproben hergestellt worden sind. BEYENE (2001) beschreibt weiterhin in einem gegenüberstellenden Vergleich der nach den unterschiedlichen Verfahren gewonnenen Ergebnisse Korrelationen zwischen den Methoden zur Bestimmung der Gesamtgehalte. Die Messergebnisse der Gesamtgehaltsbestimmung und des mobilen Schwermetallgehalts der Böden und die Daten der pflanzlichen Masse befinden sich im Anhang 2.2.

Die Bewertung der Schwermetallkonzentrationen (Gesamtgehalt und löslicher Anteil) in den untersuchten Böden erfolgt nach §8 Abs. 1, Satz 2, Nr.1/2 Bundesbodenschutzgesetz (BodSchG 1999) und Altlastenverordnung (BBodSchV), die Futterpflanzenbewertung nach der Futtermittelverordnung.

Dem Bundesbodenschutzgesetz (BodSchG) und der Altlastenverordnung (BBodSchV) zu Folge gelten dabei die nachfolgend definierten Bodenwerte:

Vorsorgewerte:

Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht.

Prüfwerte:

Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt.

Maßnahmewerte:

Werte für Einwirkung oder Belastungen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind.

Diese Werte haben für den Eintragspfad Boden-Pflanze Gültigkeit und erfordern im Falle der Ackernutzung das Ammoniumnitrat- und im Falle der Grünlandnutzung das Königswasser-Aufschlußverfahren. Weiterhin erfolgt laut BBodSchV fallweise die Einstufung in die o.g. Wertestufen in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung und dem pH-Wert.

Die von KRÜGER et al. (1999) ermittelten durchschnittlichen geogenen Hintergrundwerte (GHW) von Auensedimenten der Mittelelbe in der < 20 µm-Fraktion wurden mit der zu berücksichtigenden methodischen Abweichung von der hier dargelegten Methodik der Untersuchung der Gesamtfraktion als eine weitere Vergleichsgröße in die Graphiken und Bewertung eingeführt.

Geogene Hintergrundwerte:

Werte, die durch anthropogene Einflüsse nicht verändert und die Schwermetallgehalte ausschließlich natürlicher Herkunft sind.

Nachfolgend werden die mit den drei Methoden erzielten Ergebnisse für die Elemente Chrom (Cr), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Cadmium (Cd), Blei (Pb), Quecksilber(Hg) und Arsen (As) unterschieden nach Acker- und Grünlandnutzung dargestellt (Abb. 5.62-5.77) und ihre Bewertung diskutiert.

Vorsorgewerte:

Die Konzentration an Zn in allen Proben der Binnendeichstandorte außer in Z323 liegen unterhalb des Vorsorgewertes, die Proben der Außendeichstandorte übersteigen hingegen den Vorsorgewert. Gehalte unterhalb des Vorsorgewertes wurden für Cr, Cu, Ni, Pb, Cd und Hg (Ausnahmen Z323 für Ni, Z111 für Hg, Z464d und R9) in allen Proben der Binnendeichstandorte ermittelt. Die Flächen C1f Mitte, C1f, C7, R1, R2c, R16a NE' Teil, R2d, R7 und Z300 zeigen wie generell alle Außendeichflächen für Cr, Ni und Cu Werte über dem Vorsorgewert. Fast alle Proben der Außendeichflächen übersteigen ihre spezifischen Vorsorgewerte für Pb, Cd, und Hg. In dem existierenden Regelwerk ist kein Vorsorgewert für As vorgesehen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Falle eines Übersteigens des Vorsorgewertes der Untersuchungsflächen Besorgnis über schädliche Bodenveränderungen besteht, die ein zukünftiges Problem darstellen können.

Prüfwerte:

In dem existierenden Bodenschutzregelwerk sind nur für Hg und As ackerbaulich genutzter Flächen Prüfwerte eingeführt worden. In den hier durchgeführten Untersuchungen der Ackerschläge liegen die Werte für Hg und As weit unterhalb der Prüfwerte, sodass von einem relativ kleinen Risiko einer schädlichen Bodenveränderung auszugehen ist.

Maßnahmewert:

Die Gesamtgehalte an Cu, Ni, Pb, und Cd lagen in allen untersuchten Bodenproben (Ausnahme R 9) wesentlich unterhalb der gegebenen Maßnahmewerte. Die Hg-Gehalte übersteigen den Maßnahmewert hingegen auf folgenden Flächen: C1f Mitte, C1f, C5 N' Teil, C6 und C7; beide R1-Flächen, R2a, R2c, R2c, R7 und Z300. Beide R1- Proben und R9 weisen einen über dem Maßnahmewert liegenden Gesamtgehalt an As auf.

Für die Gebiete, die eine Überschreitung des Maßnahmewertes aufweisen, ist in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung auszugehen und Maßnahmen sind erforderlich (BbodSchG, BBodSchV).

Geogene Hintergrundwerte:

Die typischen anthropogenen Elemente Cr, Cu, Zn, Pb und Cadmium einschließlich As und Hg, zeigen auch in dieser Untersuchung häufig deutliche Mehrfachüberschreitungen der geogenen Hintergrundwerte nach KRÜGER et al. (1999). Hohe Konzentrationen werden auf den Außendeichsflächen angetroffen, die im wesentlichen unter Grünlandnutzung stehen.

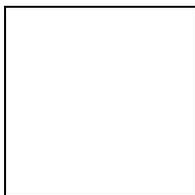


Abb. 5.62 : Die Bewertung der Cr- Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland

5. Darstellung der Ergebnisse

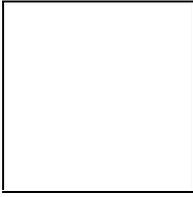


Abb. 5.63: Die Bewertung der Cr- Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Acker

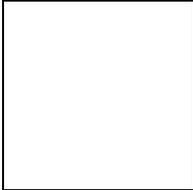


Abb. 5.64: Die Bewertung der Ni - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Grünland

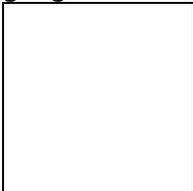


Abb. 5.65: Die Bewertung der Ni - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Acker

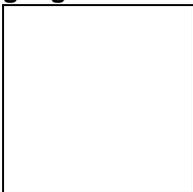


Abb. 5.66: Die Bewertung der Cu - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Grünland



Abb. 5.67: Die Bewertung der Cu - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Acker

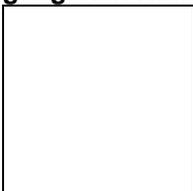


Abb. 5.68: Die Bewertung der Zn - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Grünland

5. Darstellung der Ergebnisse

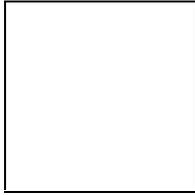


Abb. 5.69: Die Bewertung der Zn - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Acker

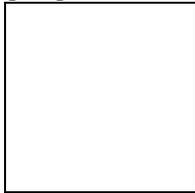


Abb. 5.70: Die Bewertung der Cd - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwerten – Grünland

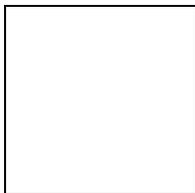


Abb. 5.71: Die Bewertung der Cd - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Acker

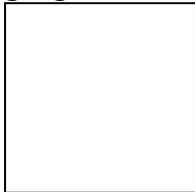


Abb. 5.72: Die Bewertung der Pb - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Grünland

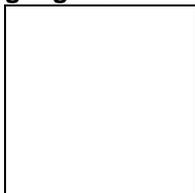


Abb. 5.73: Die Bewertung der Pb - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Acker

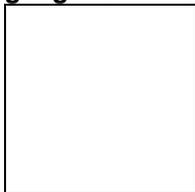


Abb. 5.74: Die Bewertung der Hg - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert – Grünland

5. Darstellung der Ergebnisse

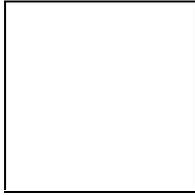


Abb. 5.75: Die Bewertung der Hg - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Acker

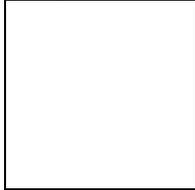


Abb. 5.76: Die Bewertung der As - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Grünland

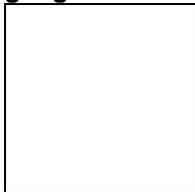


Abb. 5.77: Die Bewertung der As - Konzentrationen nach BBodSchV im Vergleich mit dem geogenen Hintergrundwert - Acker

Zwölf Grünschnittproben der Flächen C1f, C5, C7, R1, R2a, Z323, Z322 und F8 sind auf ihren Gesamtelementgehalt (Tab. 5.78) untersucht worden (siehe auch FRANKE & SPATZ 2001). Die Futtermittelverordnung (1992) weist nur Grenzwerte für die Schwermetalle Cd (1,1 mg/kg) und Pb (45 mg/kg), Elemente mit äußerst unterschiedlichem Mobilitätsverhalten, auf. Mit den Ausnahmen in Proben F8/1 und F8/3 (s. Anhang 2.2.2a), zeigen alle übrigen Proben der Untersuchungsflächen geringere Gehalte an Cd und Pb als die Grenzwerte der Futtermittelverordnung vorgeben. In den meisten Pflanzenproben sind die Konzentrationen der Elemente folgendermaßen einzuordnen (vgl. Abb. 5.78): Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd > As/ Hg .

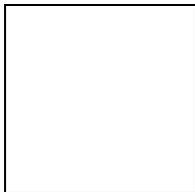


Abb. 5.78: Gesamtgehalt an Schwermetallen in Futterpflanzen (RFA)

5. Darstellung der Ergebnisse

Die Konzentration der Schwermetalle des Pflanzenschnittes korreliert sehr schwach mit der mobilen Fraktion der Schwermetalle der Böden (BEYENE 2001). Ein möglicher Grund dafür wird in der Probennahme- und Präparationsmethodik gesehen. Der Pflanzenschnitt wurde vor der Analytik nicht gewaschen und somit wurden anhaftende Schwebstoffteilchen und Beläge, die schwermetallhaltig sein können, nicht von der Pflanzenoberfläche entfernt. Dennoch sind Transfer-Koeffizienten (Gesamtgehalt Pflanze/Gesamtgehalt Boden) berechnet und mit Literaturwerten verglichen worden.

Transferfaktoren nach KAHL et al. (1994):

Chrom (Cr):		< 0,5
Kupfer (Cu):		0,01-2
Zink (Zn):		0,03-10
Cadmium (Cd):	0,03-10	
Blei (Pb):		< 0,5

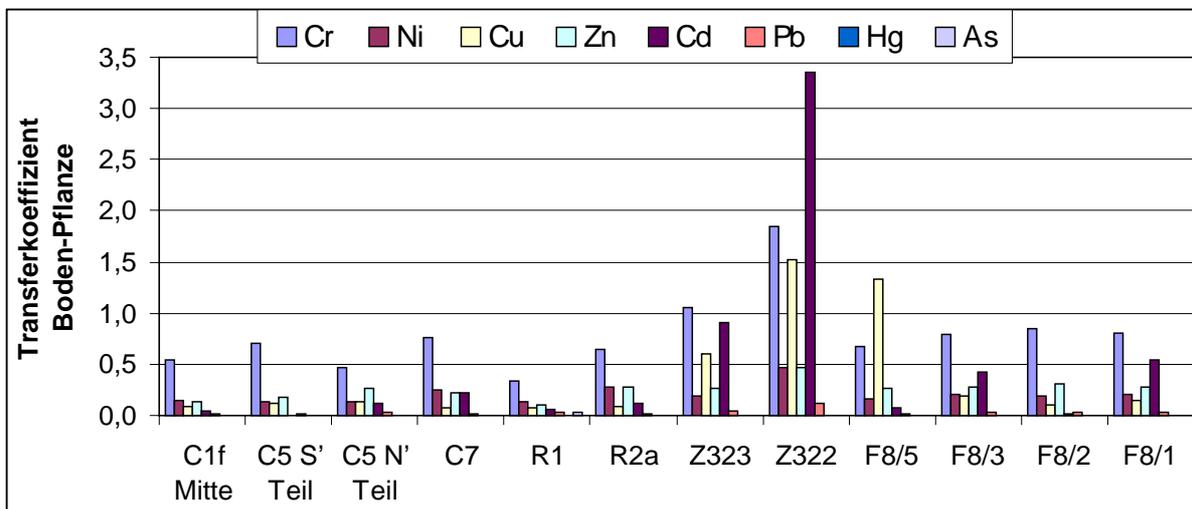


Abb. 5.79: Berechneter Transfer-Koeffizient Boden-Futterpflanze

Die Transfer-Koeffizienten geben die durchschnittliche Aufnahme von Schwermetallen aus dem Boden in die (oberirdische) pflanzliche Masse wider. Insgesamt wurden die Grünschnittproben von zwölf Flächen (s. Anhang 2.2.2b) untersucht. Mit Ausnahme von Cr, außer in den Proben der Flächen R1 und C5 N' Teil, liegen die Werte innerhalb der normalen Bereiche (Abb. 5.79). Obwohl die Fläche Z322 im Binnendeichbereich liegt, zeigt sie einen höheren Transfer-Koeffizienten für die meisten Elemente. Gründe für die Schwermetallanreicherung im Boden und in der vom Fuchsschwanz dominierten pflanzlichen Masse können durch Düngereinträge verursacht worden

5.1.7.4 Einstufung und Bewertung der Bodenparameter
 Die nach der ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER (Bodenkundliche Kartieranleitung 1994) erfolgte Einstufung und Bewertung aller untersuchten Bodenparameter, einschließlich Grundwasserstufe, Sickerwasserrate sowie Niederschlag und Verdunstung, wird im Anhang 2.5 aufgeführt, sofern nicht in Kapitel 5.1.8.4 Auf dem ersten Arbeitsblatt „Deckblatt“ sind die Literaturangaben, Analytikmethoden sowie die entsprechenden Tabellen der BKA4 aufgeführt.

5.1.7.4.1 Kationenaustauschkapazität (KAK)

Die Abbildungen 5.81 und 5.81 veranschaulichen die unterschiedlich hohe KAK auf den Grünland- und den Ackerflächen. Die Standorte mit sandiger Textur (Proben 9, 10, 17, 20 und 22) die insgesamt als Ackerland genutzt werden, weisen eine *sehr geringe* bis *geringe* KAK im Oberboden auf. Sehr hohe Kationenaustauschkapazitäten zwischen 20-30 cmol_c/kg liegen auf den tonig-lehmigen Standorten vor (Probe 1-6, 11-13, 23, 25, 26, 28-33). Diese Flächen, mit Ausnahme der Probe 23, werden als Schnittwiese oder Weide genutzt. Der Oberboden der Flächen mit hoher KAK besitzt ein hohes Sorptions- und Umtauschvermögen und kann gewisse Rückhaltefunktionen übernehmen.

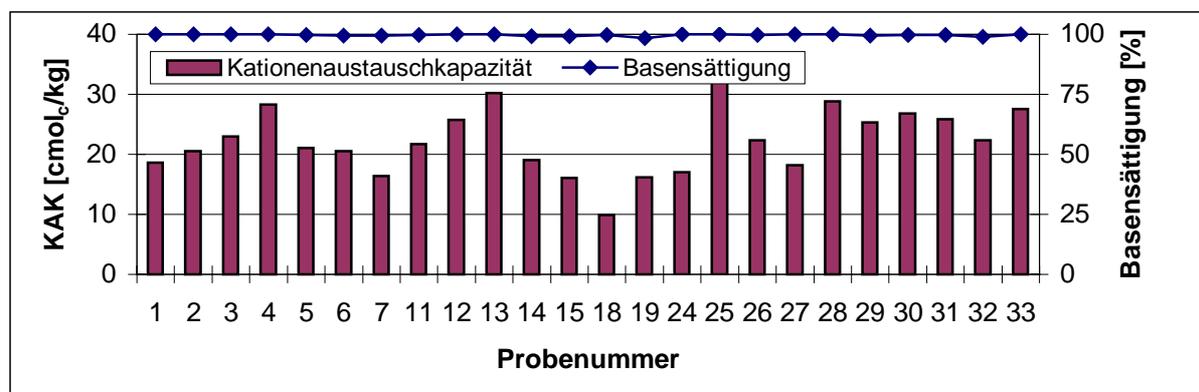


Abb. 5.80: KAK und BS auf den Grünlandflächen

5. Darstellung der Ergebnisse

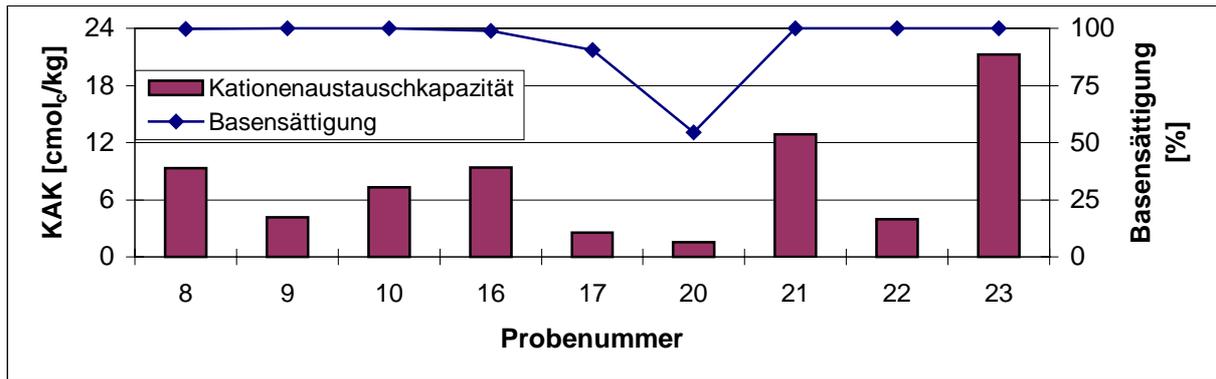


Abb. 5.81: KAK und BS auf den Ackerflächen

5.1.7.4.2 Basensättigung

Die Basensättigung (BS) im Oberboden kann auf allen Standorten, außer Probe 20 (Fläche R32), mit *sehr basenreich* angegeben werden (BS zwischen 80-100 %). Der sandige Oberboden der Probe 20 ist sehr stark sauer und weist eine Basensättigung von ca. 55 % auf.

5.1.7.4.3 Dichte

Die Rohdichte (Schichtdicke: 0-30 cm) der untersuchten Flächen liegt im Bereich zwischen 0,6 und 1,6 kg/l und ist als *sehr gering* bis *mittel* einzustufen. Nach den Abbildungen 5.82 und 5.83 weisen die sandigen Ackerflächen eine größere Dichte (Probe 8-10, 17, 20-22), als die tonigen Grünlandflächen (Probe 3, 4, 28-33: Tu2) auf. Die über den Tongehalt (Masse-%) und die Rohdichte berechnete effektive Lagerungsdichte, erreicht in den sandigen Flächen *geringe* bis *mittlere* Werte, ansonsten *sehr geringe* Werte. Die vergleichsweise höhere Raumdichte in den sandigen Oberböden lässt sich durch deren geringere Humusgehalte erklären, womit ein geringeres Porenvolumen sowie weniger Grob- und Mittelporen einhergehen.

Wurden einzelne Schläge aufgrund sich ändernder Pflanzenvergesellschaftungen unterteilt und an mehreren Stellen beprobt, so zeigen sich zum Teil Unterschiede in den Ergebnissen, die ihre Ursache unter anderem in der kleinräumigen Änderung der Bodenart haben.

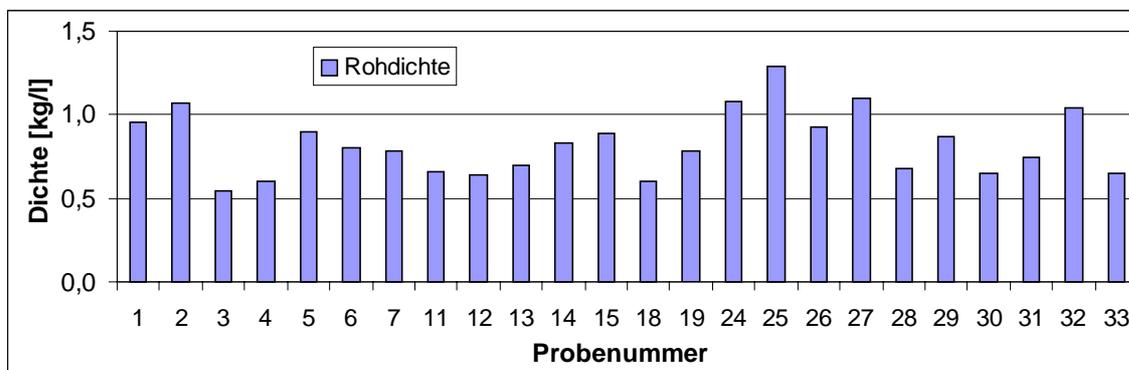


Abb. 5.82: Dichte der Grünlandflächen

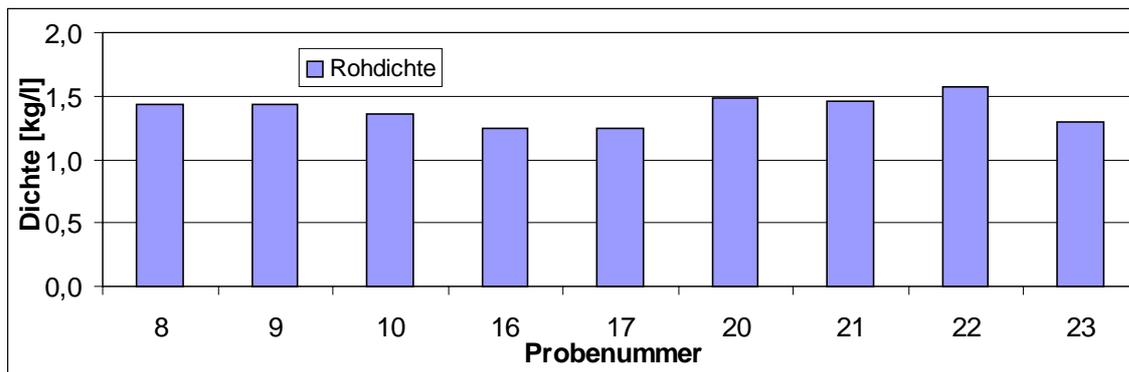


Abb. 5.83: Dichte der Ackerflächen

5.1.7.4.4 pH-Wert

Der in CaCl_2 gemessene pH-Wert der untersuchten Böden unter Grünland liegt größtenteils bei ca. 5 und wird demzufolge als *mittel* bis *stark sauer* eingestuft (vgl. Tab. 2.5, Kap. 2.1.1). Die Proben 11, 14, 15, 26, 27, 28, 30 und 31 auf den Grünlandflächen (Abb. 5.84) sind zeitweise als *stark sauer* einzustufen, während die Proben 5-7, 19, 29 und 32 durchweg *stark sauer* sind. Die pH-Bereiche der Probe 26 schwanken zwischen 4,9 und 6,4.

Der pH-Wert unter den Ackerflächen (Abb. 5.85) ist weiter gestreut, als unter den Grünlandflächen. Er liegt in den Proben 21 und 23 bei *schwach sauer*, wohingegen die Probe 20 im Jahr 1999 pH-Bereiche von 3-4 (*sehr stark sauer*) erreicht. Ein überwiegend *mittel saurer* pH-Wert liegt in den Proben 9, 10 und 22 vor.

Ein Vergleich der Werte mit den in Tab. 2.6 (vgl. Kap 2.1.4) aufgeführten Richtlinien für den anzustrebenden pH-Wert zeigt, dass die Grünlandflächen durchweg zu niedrige pH-Werte aufweisen. Der anzustrebende Richtwert der Fläche C28 (Acker) liegt zwischen 6-6,5, die erreichten Werte liegen knapp darunter. In Abhängigkeit von der ermittelten Bodenart und den gemessenen Humusgehalten sind die Ackerflächen R16, R20, Z111 und Z175 deutlich zu sauer. Auf der Ackerfläche Z464d ist ein pH-Anstieg von April 1999 bis September 2000 zu verzeichnen, wobei der pH-Wert ab November 1999 geringfügig über dem in den Richtlinien vorgeschlagenen Wert liegt. Auf den Ackerflächen der Proben 10, 20 – 22 sowie auf den Weiden der Probe 26 und 27 ist eine deutliche zeitliche Abhängigkeit zu erkennen, deren Ursache in den Düngeterminen und Düngegaben bzw. im Viehauftrieb zu sehen ist.

5. Darstellung der Ergebnisse

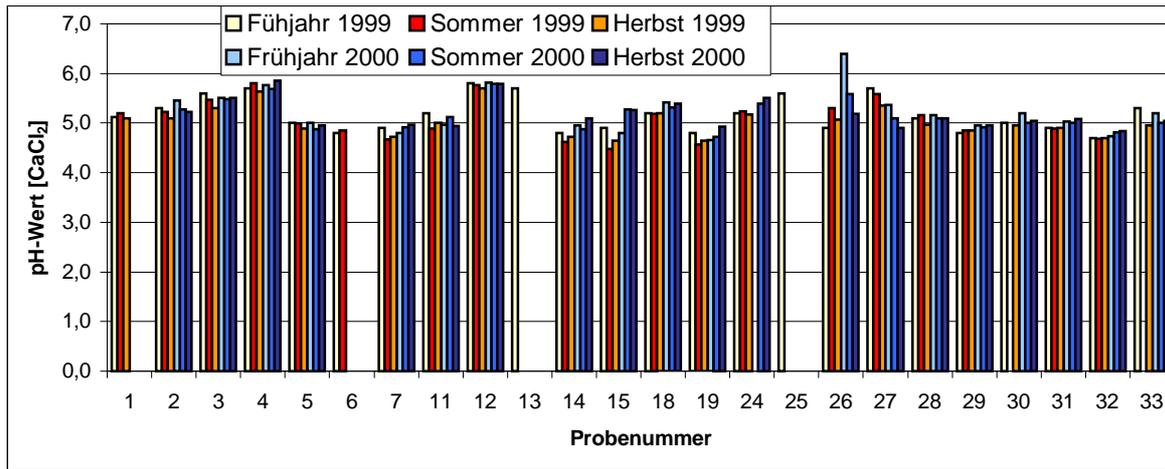


Abb. 5.84: pH-Wert auf den Grünlandflächen

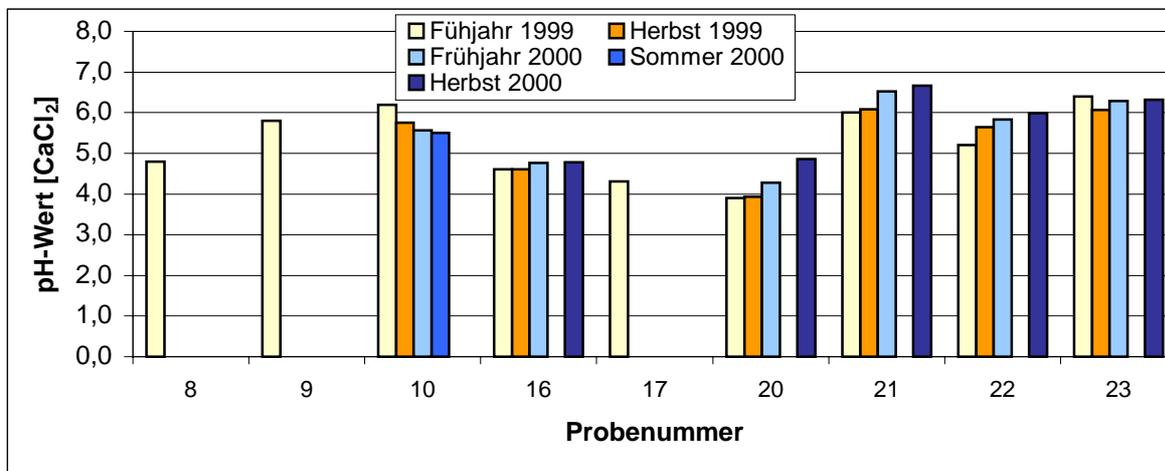


Abb. 5.85: pH-Wert auf den Ackerflächen

5.1.7.4.5 Humusgehalt

Die Ackerböden in Abbildung 5.87 weisen insgesamt geringere Humusgehalte (1-3 Masse-%) als die Grünlandböden in Abbildung 5.86 (ca. 5-10 Masse-%) auf. In den Proben 2, 3, 4, 5, 6, 7, 26 und 28 ist der für 1999 gemessene Frühjahrswert der höchste. Zum Teil wurden diese Proben am Rand eines schlickigen Grabenbereiches genommen. Einen *sehr stark humosen* Oberboden (13-15 Masse-%) führen die Proben 12/13 der als Weide genutzten Fläche R1, wohingegen der Oberboden der Fläche Z322 (Probe 27) nur als *mittel humos* (3-4 Masse-%) einzustufen ist.

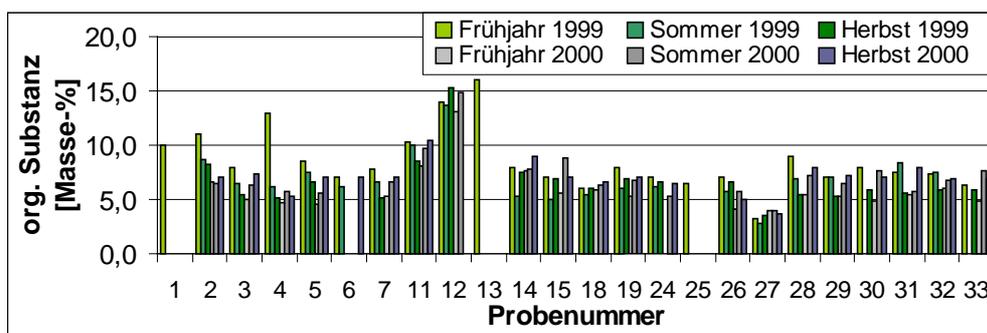


Abb. 5.86: Humusgehalte auf den Grünlandflächen

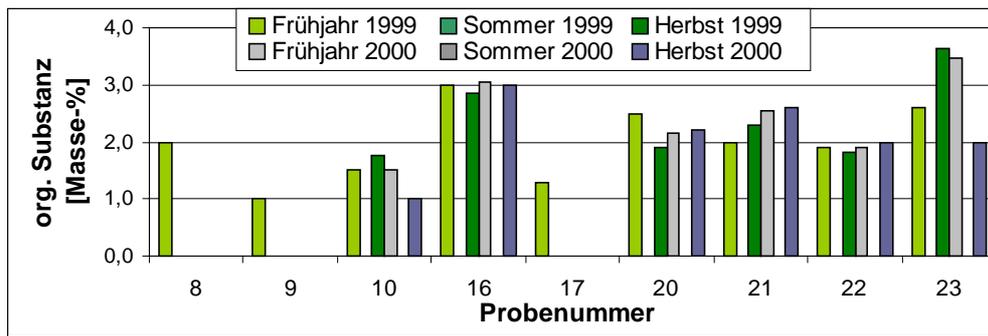


Abb. 5.87: Humusgehalte auf den Ackerflächen

5.1.7.4.6 C/N-Verhältnis

Das C/N-Verhältnis (Abb. 5.88-5.89) liegt beim größten Teil der untersuchten Flächen bei rund 10. Die Humusqualität ist demnach zwischen *hoch* und *sehr hoch* einzustufen (vg. Tab. 2.4, Kap. 2.1.3). Mit maximal 13 haben die Grünlandflächen R2c (Probe 15) und R2d (Probe 18) ein geringfügig höheres Verhältnis. Die Ackerfläche R32 (Probe 20) erreichte im April 1999 einen Wert von 16, die Grünlandfläche R1 (Probe 12) im November 1999 einen Wert von 36. Diese Werte sind jedoch als Ausreißer zu bewerten.

Das C/N-Verhältnis liegt auf der Ackerfläche R16 (Probe 16) geringfügig unter dem als optimal angesehenen Bereich. Auf den Ackerflächen C28, Z111, Z175 und Z464d liegen einige Messergebnisse im Bereich des Optimalwertes, während auf der Ackerfläche R32 bis auf die Messung im April 1999 alle Ergebnisse im optimalen Bereich liegen.

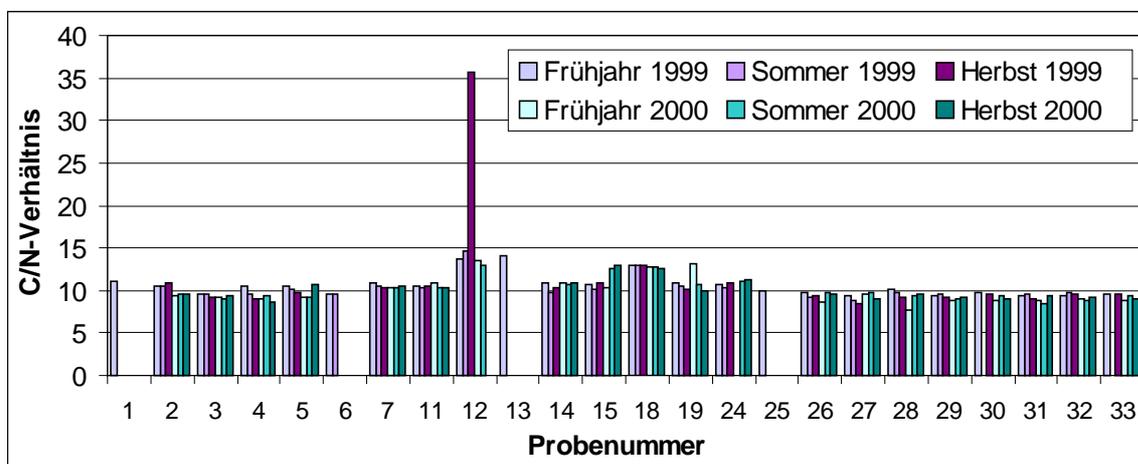


Abb. 5.88: C/N-Verhältnis auf den Grünlandflächen

5. Darstellung der Ergebnisse

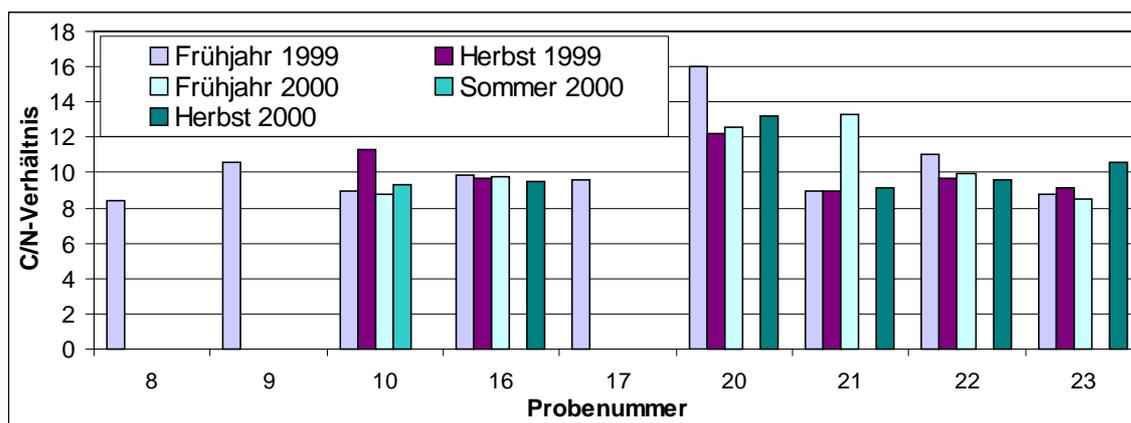


Abb. 5.89: C/N-Verhältnis auf den Ackerflächen
5.1.7.4.7 Nährstoffgehalt

Ein Vergleich der Hauptnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium zeigt, dass die P- und K-Gehalte über den Beprobungszeitraum relativ konstant bleiben, während die Mg-Gehalte vom Frühjahr bis zum Herbst 1999 deutlich zunehmen. Eine Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse für 1999 und 2000 zeigt die Tabelle 5.50. Die Versorgung mit Magnesium ist mit Ausnahme der Probe 20 (sandiger Acker) auf allen Standorten als *hoch* (D) bis *besonders hoch* (E) einzustufen. Beim Phosphor und Kalium liegen die Gehalte teilweise unterhalb der empfohlenen Werte (vgl. Kap. 2.1.8, Tab. 2.14).

Tab. 5.50: Zusammenstellung der Einstufung der Nährstoffgehalte für 1999 und 2000

Probe	Fläche	Einstufung der Nährstoffgehalte 1999			Einstufung der Nährstoffgehalte 2000		
		Phosphor	Kalium	Magnesium	Phosphor	Kalium	Magnesium
1	C1f Mitte	D	E	E	-	-	-
2	C1f	D	E	E	C-D	D-E	E
3	C5 S' Teil	A	B	E	A	B	E
4	C5 N' Teil	A	B	E	A	C	E
5	C6	A	B	E	A	C	E
6	C6	A	B	E	A	C	E
7	C7	A	B	E	B	B	D
8	C28 SW' 1/3	B	C	E	-	-	-
9	C28 mittleres 1/3	C	B	D	-	-	-
10	C28 NE' 1/3	C	E	E	C	D	E-D
11	R9	A	B	E	B	C	D
12	R1	E	B	E	E	B	E
13	R1	E	B	E	E	B	E
14	R2a	B	B	E	B	B	E
15	R2c	B	B	E	E	B	E
16	R16a NE' Teil	B	B	E	B	C	E
17	R16a SW' Teil	B	C	D	-	-	-
18	R2d	C	A	D	C	B	D
19	R7	B	B	E	B	B	E
20	R32	D	A-B	A/C	C-D	C-B	C/A
21	Z111	C-D	D-E	E	D-E	E	E

5. Darstellung der Ergebnisse

22	Z464d	E	E	E	E	E	E-D
23	Z175	B	C	E	A	D-E	E
24	Z300	C	B	E	E	B-C	E
25	Z326a (Koppel 38)	C	E	E	-	-	-
26	Z323 (Koppel 58)	B	C	E	B-D	C-E	E
27	Z322 (Koppel 60)	A	C	E	B-D	D-E	E
28	F8/5 (Senke)	A	B	E	A	B	E
29	F8/4 (Rücken)	A	B	E	A	C	E
30	F8/3 (Senke)	A	B	E	A	C	E
31	F8/2 (Rücken)	A	B	E	A	B	E
32	F8/1 (höherer Bereich)	A	C	E	A	C	E
33	F8/3	A	B	E	A	C	E
28B	F8/5 (Senke)	A	B	E	A	C	E

Eine Unterversorgung mit Phosphor liegt vor allem auf den ungedüngten Schnittwiesen der Betriebe 1 (Probe 3-7) und 6 (Probe 28-33) vor. Die P-Gehalte liegen zwischen 0 und 2 mg P/100 ml. Im Frühjahr 1999 und 2000 standen diese Flächen mehrere Wochen unter Wasser. Die Vegetation entspricht überwiegend der der Stromtalwiesen (Brenndolde, Sumpflatterbse, Silge). Trotz der Überflutung durch die Elbe wird auf diesen Flächen nur ein „niedriger“ P-Gehalt erreicht. Die K-Gehalte dieser Flächen schwanken zwischen „mittel“ und „hoch“.

Eine überwiegend „besonders hohe“ Versorgung mit Phosphor ist dagegen auf den ungedüngten Grünlandflächen der Betriebe 2 und 4 anzutreffen. Die Fläche Z300 führt P-Gehalte zwischen 6-17 mg P/100 ml und ist somit im Jahr 2000 mit Phosphor überversorgt. Für Kalium sind die Gehalte bei „mittel“ bis „hoch“ anzusiedeln. Die Flächen R1, R2a, R2c, R2d und R7 liegen im Außendeichbereich von Betrieb 4 und werden stark vom Hochwasser der Elbe beeinflusst. Dabei werden die höchsten P-Gehalte (18-24 mg P/100 ml) auf der Fläche R1, die direkt an die Elbe grenzt, gemessen. Die Flächen R7 und R2a liegen mit Gehalten um die 2 bis 8 mg P/100 ml größtenteils im mittleren Versorgungsbereich für Phosphor, während die Gehalte der Fläche R2c sehr stark schwanken. Hier werden im Jahr 2000 Extremwerte von 17 mg P/100 ml erreicht. Die Fläche R2d liegt mit Gehalten von 6 bis 11 mg P/100 ml im optimal versorgten Bereich. Nach Angaben von ARUM (1999-2000) wurden die Flächen alle nicht landwirtschaftlich gedüngt, werden jedoch als Nachweide genutzt. Es liegen topographisch wie vegetationskundlich verschiedenartige Standorte vor. Auf der Brenndolden-Wiese (R7) und der Silgen-Wiese (R2a) werden die geringsten P-Gehalte gemessen. Etwas höhere P-Gehalte liegen auf den Straußampfer-Margeriten-Wiesen (R2c und R2d) vor, während der Standort der Queckenflur (R1) die höchsten P-Gehalte führt. Die K-Gehalte liegen auf allen Standorten im mittleren Bereich. Ein weiterer Standort mit Quecke und Fuchsschwanzvegetation, die Fläche C1f (Probe 1 und 2), wurde nur sehr geringfügig mit Phosphat gedüngt – 3 kg P₂O₅/ha. Hier werden ebenfalls „sehr hohe“ P-Gehalte gemessen. Die K-Gehalte sind mit „besonders hoch“ einzustufen.

Die binnendeichs gelegenen Grünlandflächen (R9, Z323 und Z322) erreichen insgesamt nur „niedrige“ bis „mittlere“ P-Gehalte. Einzelne Proben, der als Umtriebsweiden genutzten Flächen von Betrieb 2, weisen jedoch im Jahr 2000 Werte von bis zu 12 mg P/100 ml auf und liegen damit in einem Versorgungsbereich von „sehr hoch“. Trotz mineralischer und organischer Phosphatdüngung und Nutzung als Hofweide, liegt auf der Fläche R9 eine Unterversorgung mit Phosphor und teilweise auch Kalium vor.

Die Versorgung der Ackerschläge mit den Nährstoffen Phosphor und Kalium ist stark abhängig von der Düngemenge. Die Flächen Z464d (Probe 22), Z111 (Probe 21), Z175 (Probe 23) und R32 (Probe 20) liegen im Binnenland, die Fläche R16a (Probe 16/17) liegt im Außendeichbereich. Die genannten Ackerflächen wurden unterschiedlich stark mit P₂O₅ und K₂O gedüngt. Während in den Proben 20 und 21 die Gehaltsklassen C und D für Phosphor erreicht werden, liegt die Probe 16/17 bei Gehaltsklasse B. Hier ist der Phosphorentzug

höher als die gedüngte Menge. Die Fläche Z175 (Probe23) weist nur „niedrige“ bis „mittlere“ P-Gehalte auf, wohingegen die Fläche Z464d (Probe 22) „besonders hohe“ Phosphor- und Kaliumgehalte führt. Bis auf Fläche R32 liegen die Kaliumgehalte über den Phosphorgehaltenen.

Die Kaliumvorräte sind in den Proben 3-7, 11-20, 24 und 28-31 nicht ausreichend, während sie in den Proben 21 und 22 (Acker) deutlich zu hoch liegen.

5.1.7.4.8 N_{\min} -Gehalte

Einige Schläge sind bereits vor dem ersten Beprobungstermin (Frühjahr) gedüngt worden, sodass insbesondere die N_{\min} -Werte differenziert betrachtet werden müssen. Im Jahr 1999 wurde auf den Probenahmeflächen 1/2, 8-10, 16/17 sowie 21-23 eine vor dem Beprobungstermin erfolgte Düngung dokumentiert, in 2000 auf den Flächen 16/17 und 23. Für die Einschätzung des N_{\min} -Vorrats im Boden wird die Frühjahrmessung -vor der Düngung- herangezogen; die Probe 20 (Acker) zeigt jeweils im Frühjahr N_{\min} -Gehalte von 12 kg/ha. Die Herbstmessung zur Zeit der Ernte zeigt den nicht pflanzlich verwertbaren N_{\min} -Restwert auf. Beim Vergleich der Herbstwerte 1999 und 2000 fallen Unterschiede der N_{\min} -Gehalte auf, deren Ursache in den Probenahmeterminen (November bzw. August) begründet liegt. Die Abbildung 5.91 zeigt, dass direkt nach der Ernte im August 2000 auf den Ackerflächen (Probe 20-23) deutlich geringere Werte als im November 1999 vorliegen. Zur Erntezeit im August 2000 enthält der Boden unter Getreide (Probe 20, 21, 23) mit rund 25 kg N_{\min} /ha die geringsten N_{\min} -Gehalte, während er unter Raps (Probe 22) 45 kg N_{\min} /ha aufweist. Im Gegensatz dazu liegen die N_{\min} -Gehalte im November 1999 um ein Vielfaches höher (mit Ausnahme der Probe 10, bei ca. 60 kg N_{\min} /ha), was mit Prozessen der Herbstmineralisation zu erklären ist. Ein weiterer Aspekt ist ein Wechsel in der Kultur auf fast allen Ackerflächen. Mit knapp 90 kg/ha liegen die N_{\min} -Gehalte der Probe 16 im Frühjahr und Herbst 2000 auffällig hoch, so daß von hohen Düngerzugaben auszugehen ist.

Aufgrund der überwiegend sandigen Bodenart und des geringen Humusgehaltes der Ackerflächen besteht die Gefahr einer vermehrten N-Auswaschung des Bodens in der vegetationslosen Zeit. Ein Vergleich der Herbstwerte 1999 und der Frühjahrswerte 2000 deutet auf den Probenahmeflächen 20 und 22 beträchtliche Auswaschungsverluste (von 65 auf 12 kg/ha, bzw. 55 auf 25 kg/ha) an.

Auf den Grünflächen wird der Stickstoff, insbesondere das Nitrat, infolge der langen Vegetationsperiode weniger stark ausgewaschen. Die N_{\min} -Gehalte in Abbildung 5.90 bleiben über den Winter relativ konstant und liegen auf den Schnittwiesen im Jahresmittel unterhalb von 10 kg N_{\min} /ha. Auf den Weiden (Probe 2, 11, 12, 26, 27) schwanken die N_{\min} -Gehalte in Abhängigkeit von der Besatzdichte und -stärke sowie dem Zeitpunkt der Probenahme. Die trophische Situation innerhalb der Weiden ist wesentlich heterogener, als die der Wiesen. Rinder führen Nährstoffe durch ihren Harn und Dung zu, während an den befressenen Stellen Nährstoffe entzogen werden. Da Rinder Bereiche mit Dungfladen meiden, wird dieser Effekt noch verstärkt. Auf der Fläche C1f (Probe 2) liegen die N_{\min} -Gehalte im Schnitt höher, als auf den übrigen Weideflächen. Werte von über 60 kg/ha liegen hier im April 1999 sowie Juli und Oktober 2000 vor. Die Fläche Z322 (Probe 27) hat im Oktober 2000 mit 120 kg N_{\min} /ha einen Extremwert, der durch besonders hohe Ammoniumkonzentrationen von 2,6 mg/100g hervorgerufen wird.

5. Darstellung der Ergebnisse

Die Ackerböden weisen insgesamt geringere Gesamtstickstoffgehalte (bis zu 0,2 %) als die Grünlandböden (0,3-0,7 %) auf.

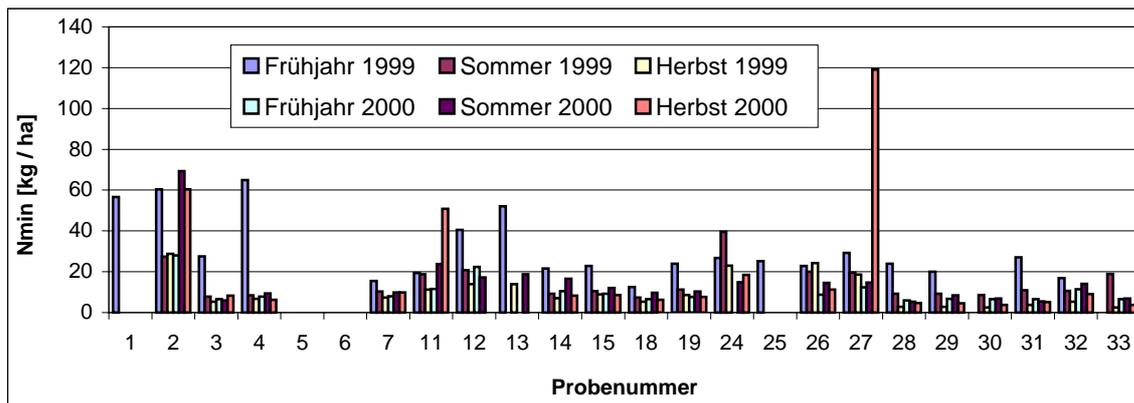


Abb. 5.90: N_{min}-Gehalte auf den Grünlandflächen

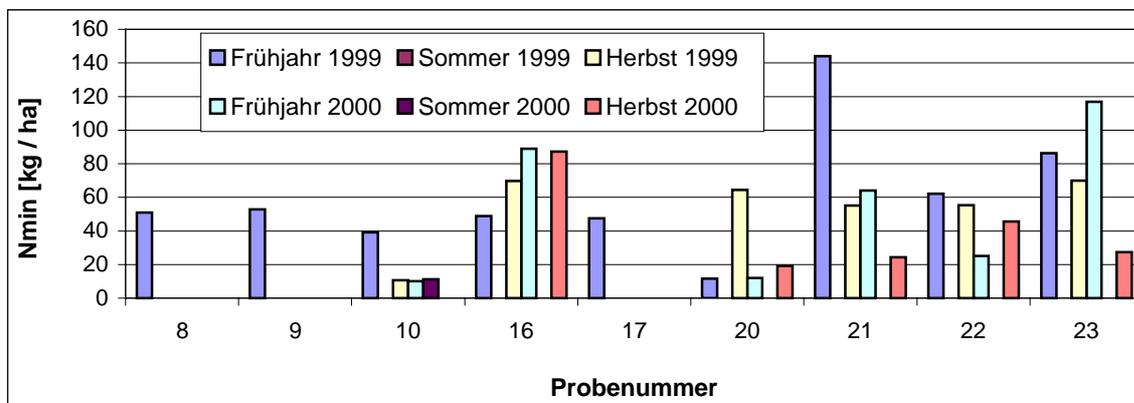


Abb. 5.91: N_{min}-Gehalte auf den Ackerflächen

5.1.7.4.9 Wasserbindung und –speicherung, Auswaschungsgefährdung für Nitrat

Der Boden wurde hinsichtlich der Feldkapazität (Speicherfeuchte), des permanenten Welkepunktes, der nutzbaren Feldkapazität und des Gesamtporenvolumens untersucht. Die Werte der Feldkapazität und der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes, die wesentliche Kenngrößen der Bemessung der Nitratauswaschungsgefährdung darstellen, sind aus Tabellen 5.8, 5.10, 5.12 und 5.14 (Kap.5.1.8.2.12) ersichtlich.

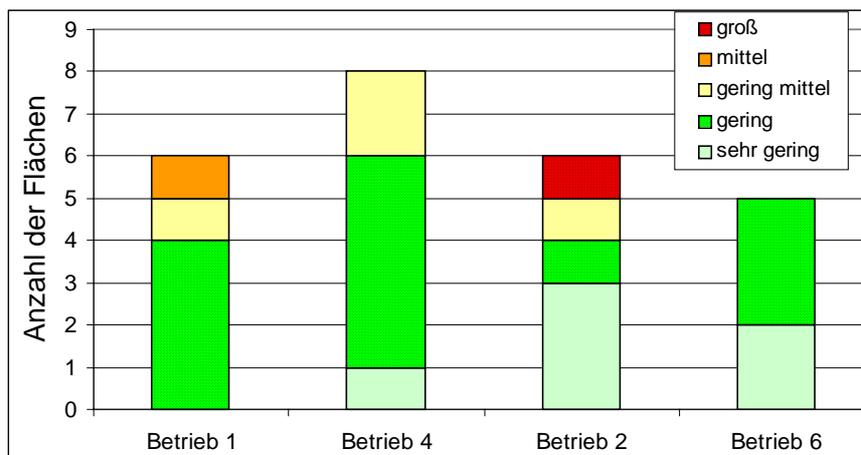


Abb. 5.92: Betriebsspezifische Einstufung der Auswaschungsgefährdung für Nitrat

Die Nitratauswaschungsgefährdung der einzelnen Standorte der Auswahlbetriebe (Abb. 5.92 und 5.93) zeigt im wesentlichen einen Schwerpunkt der Klassen „sehr gering“ und „gering“, gefolgt von der Klasse für geringe-mittlere Nitratauswaschungsgefährdung. Diese Übergangsklasse wurde für diejenigen Standorte eingeführt, deren relative Austauschhäufigkeit des Bodenwassers zwar aufgrund mangelnder Sickerwasserbildung als sehr gering eingestuft, deren kf-Wert für die Bodentiefe 1-2 m jedoch als „äußerst hoch“ ermittelt wurde.

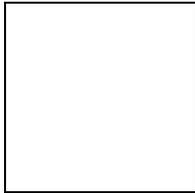


Abb. 5.93: Verteilung der Auswaschungsgefährdungsklassen im Untersuchungsgebiet

Diese hohe Wasserleitfähigkeit ist auf stärker sandige Bodenarten unter sandig-lehmigen oder sandig-lehmig-schluffigen Deckschichten zurückzuführen, die auf den Flächen C5 S' Teil, R1, R2a, Z464d und Z111 im Profil angetroffen wurden (Kap. 5.1.5).

Die nachfolgenden Abbildungen 5.94 bis 5.97 geben eine Übersicht über die flächenspezifisch ermittelte Einschätzung der Nitratauswaschungsgefährdung (Berechnungen nach SERRUDO 2000). Zur Erstellung der Karten wurden Flächenrasterdaten aus einem GIS-Projekt des Büro ARUM Hannover benutzt.

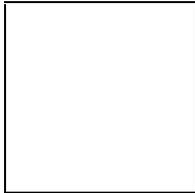


Abb. 5.94: Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsflächen des Betriebes 1

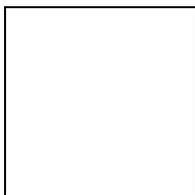


Abb. 5.95: Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsflächen des Betriebes 4

5. Darstellung der Ergebnisse

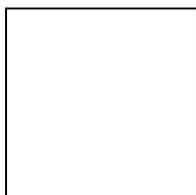


Abb. 5.96: Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsflächen des Betriebes 2

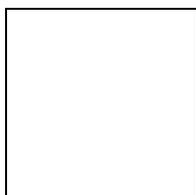


Abb. 5.97: Nitratauswaschungsgefährdung der Untersuchungsflächen des Betriebes 6

5.1.7.4.10 Schwermetallverbreitung

Die Bewertung der Schwermetallkonzentrationen (Gesamt und löslicher Anteil) in den untersuchten Böden nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und Altlastenverordnung (BBodSchV) hat für Bodenproben der Außendeichstandorte sehr viel höhere Gehalte an Schwermetallen als in den Proben der Binnendeichflächen ergeben. Mit Ausnahme der Hg-Gehalte in 12 Proben und As-Gehalte in 3 Proben übersteigen die Werte der Schwermetalle nicht die Maßnahmewerte. Die mobilen Anteile der Schwermetallgehalte in Ackerland sind wesentlich niedriger als der Prüfwert, außer Zn und Pb in drei Proben und Cd in einer Probe, die den Maßnahmewert überschreiten. Die nachfolgenden Verbreitungskarten (Abb. 5.98 bis 5.101) geben die Standorte mit ihren nach BbodSchV eingestuften Grenzwertüberschreitungen für die Schwermetalle Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb und für Hg und As wider (modifiziert aus BEYENE 2001). Zur Erstellung der Karten wurden Flächenrasterdaten aus einem GIS-Projekt des Büro ARUM Hannover benutzt.

Abb. 5.98: Schwermetallgehalte der Untersuchungsflächen des Betriebes 1

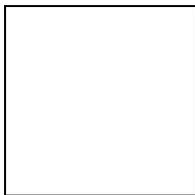


Abb. 5.99: Schwermetallgehalte der Untersuchungsflächen des Betriebes 4

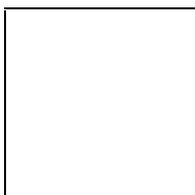


Abb. 5.100: Schwermetallgehalte der Untersuchungsflächen des Betriebes 2

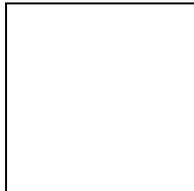
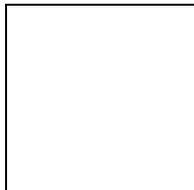


Abb. 5.101: Schwermetallgehalte der Untersuchungsflächen des Betriebes 6



Die Untersuchungen der Korrelationen zwischen wesentlichen physiko-chemischen Bodeneigenschaften (pH-Wert, Kationenaustauschkapazität, Humus-Gehalt und Textur der Böden) und den Gesamtgehalten mit dem Quotienten aus mobiler Fraktion und Gesamtgehalt der Schwermetalle zeigen auf, dass der pH-Wert und der Gesamtgehalt der Schwermetalle die Löslichkeit der meisten Elemente mehr beeinflussen als die anderen o.g. Faktoren. Die Mobilität der Elemente in den meisten Proben ist folgendermaßen einzuordnen: Cd > Zn > Ni > Cu > Cr, Pb (BEYENE 2001).

Tab. 5.51: Übersicht über die r-Werte der physiko-chemischen Bodeneigenschaften und Gesamtgehalt an Schwermetallen unter Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen mobilem Anteil und Gesamtgehalt

	Hauptkorngröße											
	Sand				Schluff				Ton			
	pH-Wert	Humus-Gehalt (%)	KAK cmol/kg	Gesamtgehalt (mg/kg)	pH-Wert	Humus-Gehalt (%)	KAK cmol/kg	Gesamtgehalt (mg/kg)	pH-Wert	Humus-Gehalt (%)	KAK cmol/kg	Gesamtgehalt (mg/kg)
Cr	0,08	-0,86	-0,56	-	-0,65	-0,48	-0,46	0,79	-0,45	-0,23	-0,38	-0,63
Ni	-0,9	0,98	-0,41	-	-0,43	-0,08	-0,49	0,2	-0,95	0,06	-0,97	-0,43
Cu	-0,69	-0,58	-0,5	-	-0,25	-0,19	-0,5	0,97	-0,55	-0,1	-0,7	0,60
Zn	-0,96	0,93	-0,59	-	-0,28	0,05	-0,59	0,36	-0,81	0,25	-0,97	0,84
Cd	-0,91	0,95	-0,52	-	-0,85	-0,33	-0,52	0,00	-0,74	0,44	0,27	0,84
Pb	-0,89	-0,67	-0,39	-	-0,31	-0,06	-0,39	-0,05	-0,72	-0,48	-0,04	-0,81

tal

HERMS & BRÜMMER (1983) zeigten am Vergleich der Konzentrationen von Zn und Cd in zwei Bodentypen mit signifikanten Tongehalts- und Kationenaustauschkapazitäts- (KAK-) Unterschieden, einem Luvisol und einem Podsol, eine enge Korrelation zwischen hohen Gehalten der Elemente in der Bodenlösung und dem Anteil der Fraktion $< 2 \mu\text{m}$ und der KAK auf. Der Einfluss des pH-Wertes als bedeutendster Bodeneigenschaft für das Löslichkeitsverhalten von Schwermetallen, wird durch den Vergleich vierer Bodentypen mit abnehmendem pH-Wert deutlich, deren Schwermetallgehalt in der Bodenlösung mit ebenfalls abnehmender Sorptionsfähigkeit zunimmt: Regosol (pH 7,22), Eutric Cambisol (pH 5,97), Fimic Anthrosol (pH 4,82) und eines Haplic Podsol (pH 3,12) (HERMS & BRÜMMER 1983). KOENIG & KRAUSE (1997) beschreiben eine starke Mobilitätszunahme für Cd ab pH $< 6,5$, eine leichte Zunahme im Bereich von pH 6,5 – 7 und nahezu keine statistische Beziehung bei pH > 7 .

Diese enge Beziehung zwischen pH-Wert und Schwermetallmobilität ist in den Untersuchungsergebnissen der Mittelteilbestandorte insbesondere für die sanddominierten Standorte belegt worden (Tab. 5.51).

Die Futterpflanzenbewertung nach Futtermittelverordnung (FMVO) zeigt auf, dass mit Ausnahme der Cd-Gehalte in 2 Pflanzenproben (von insgesamt 12) die Werte von Cd und Pb niedriger sind als die Grenzwerte nach FMVO (Kap. 5.1.3.8).

5.2 Bodenwasser und Grundwasser

5.2.1 Untersuchungsziel

Die Untersuchungen zur Erfassung der Boden- und Grundwasserqualität im Untersuchungsgebiet basieren auf Beobachtungen des zeitlichen Verlaufes über die Vegetationsperioden und den Gang des Klimas. Um Prognosen zur stofflichen Verlagerung zu treffen, sind sowohl die Niederschlagsverhältnisse im Jahresverlauf einschließlich der potenziellen Evapotranspiration als auch die nutzbare Feldkapazität (nFK) und die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) einschließlich weiterer boden- (kapillarer Aufstieg, k_f -Wert u.a.) und klimarelevanter Daten ermittelt worden.

Das Bodenwasser- und Grundwasseruntersuchungsprogramm zielt in erster Linie auf die Ermittlung der standortspezifischen Nährstoffgehalte, und deren zeitlichen und räumlichen Verlagerungen hin. Es kann also als kurzfristiges Monitoring betrachtet werden. Gleichfalls werden, wie im Kapitel 5.1 beschrieben, auftretende nutzungsbedingte Belastungen aufgezeigt und deren Verlauf im Bodenwasser und Grundwasser ermittelt. Diese Daten können im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Kapitel 5.1 dazu beitragen, Handlungsalternativen für die Bewirtschaftung der entsprechenden Flächen zu geben.

5.2.2 Untersuchungsflächen / Untersuchungsparameter

Die in das Untersuchungsprogramm aufgenommenen Flächen (Tab. 5.52–5.55) unterscheiden sich zu den in der Bodenuntersuchung beschriebenen Flächen in der Form, dass nicht alle Standorte, die geologisch beprobt worden sind, auch in diesem Untersuchungsprogramm berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund werden im Folgenden die für diese Untersuchungen relevanten Flächenbeschreibung erneut dargestellt.

Tab. 5.52: Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 1) - Wasser

Betrieb 1	Probe	Fläche	Land-schaft	Nutzung/ Düngung 1999	Vegetation 1999-2000	Wasserver- hältnisse B=Brunnen S=Saugkerzen	Oberboden- verhältnisse/ Bodentyp
	3	C5 S' Teil	Stromlan- d- Außendei- ch	Schnittwiese, 2-schurig (5.7.,28.9.) / min. N- Düngung zum 2. Schnitt	Brenndolde	Witer/Sommer- Hochwasser; wechselfeucht S1-3, B12 Regenmesser	schwach schluffiger Ton / Gley, Auenboden
	4	C5 N' Teil	Stromlan- d- Außendei- ch	Schnittwiese, 2-schurig (5.7.,28.9.) / min. N- Düngung zum 2. Schnitt	Sumpflatt- erbse	Witer/Sommer- Hochwasser; wechselfeucht S4-6, B13	schwach schluffiger Ton / Gley, Auenboden
	7	C7	Stromlan- d- Außendei- ch	Schnittwiese, 2-schurig (5.7.,28.9.) / min. N- Düngung zum 2. Schnitt	Straußamp- fer Margerite	Frühjahr: Hochwasser; wechselfeucht B14	schwach toniger Lehm / Gley
	10	C28	Stromlan- d- Binnendei- ch	Acker / Klärschlamm, min. N- Düngung (Frühjahr, Schossen, Ährengabe)	Wintergetr- eide (1999) / Brache (2000)	Qualmwasser S7-10 B11	lehmiger Sand / Auenboden- Gley

Tab. 5.53: Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 4) - Wasser

Betrieb 4	Probe	Fläche	Land-schaft	Nutzung/ Düngung 1999	Vegetation 1999-2000	Wasserver- hältnisse B=Brunnen S=Saugkerzen	Oberboden- verhältnisse/ Bodentyp
	14	R2a	Stromlan- d- Außendei- ch	Nachweide, Mahd (3.6.,25.8.) / keine Düngung seit Nationalpark	Silgen- wiese an der Ulme	Frühjahr: Hochwasser B4	mittel schluffiger Ton / Gley- Auenboden
	17	R16a SW' Teil	Stromlan- d- Außendei- ch	Acker / Rindergülle, Düngung (min.+org.) (Unterfussdün- gung nach Saat)	Mais (1999) / Gerste (2000)	Winter- Hochwasser S11-13, B7	lehmiger Sand / Gley, Auenboden

5. Darstellung der Ergebnisse

	18	R2d	Stromland - Außendeich	Nachweide, Mahd (3.6.,25.8.) / keine Düngung seit Nationalpark	Straußampfer Margerite (hohe)	S14-16 B6	mittel-stark lehmiger Sand / Gley, Auenboden
	19	R7	Stromland - Außendeich	Nachweide, Mahd (3.6.,25.8.) / keine Düngung seit Nationalpark	Brenndolde	S17-19, B5 Regenmesser	schwach toniger Lehm / Gley, Auenboden
	20	R32	Geestinsel	Acker / Rindergülle, Düngung (min.+org.)	Mais (1999) / Roggen (2000)	S20-22	Sand / Podsol, Stauwasserboden, Braunerde

(Fortsetzung Tab. 5.53)

Tab. 5.54: Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 2) - Wasser

Betrieb 2	Probe	Fläche	Landschaft	Nutzung/ Düngung 1999	Vegetation 1999-2000	Wasserverhältnisse B=Brunnen S=Saugkerzen	Oberbodenverhältnisse / Bodentyp
	21	Z111	Stromland-Binnendeich	Acker / Rindergülle, Düngung (min.+org.)	Raps (1999) nach 3x Mais / Weizen (2000)	Grundwasser-Anschluß angrenzend: Krinke S23-25 B8	stark lehmiger Sand / Auen-, Stauwasserboden
	22	Z464d	Talsand	Acker / Rindergülle, Düngung (min.+org.)	Mais (1999) seit 10 Jahren / Raps (2000)	Grundwasser-fern sporadisch S26-28 B9	Sand / Gley, Podsol
	23	Z175	Stromland-Binnendeich	Acker / Rindergülle, Düngung (min.+org.)	Weizen	Grundwasser-Anschluß Qualmwasser S29-31 B10 Regenmesser	schwach toniger Lehm / Auen-, Stauwasserboden

Tab. 5.55: Übersicht der untersuchten Flächen (Betrieb 6) - Wasser

Betrieb 6	Probe	Fläche	Land- schaft	Nutzung/ Düngung 1999	Vegetation 1999-2000	Wasserver- hältnisse B=Brunnen S=Saugkerzen	Oberboden- verhältnisse/ Bodentyp
	29	F8/4 Rücke n	Stromlan d- Außendei ch	Schnittwiese 2-schurig (22.6.,1.9.) / min. N- Düngung (15.6.)	Brenndolde	Grundwasser- Anschluß (Ebe/Aland) Winter- Hochwasser B3	schwach schluffiger Ton / Gley
	32	F8/1 höhere r Bereic h	Stromlan d- Außendei ch	Schnittwiese 2-schurig (22.6.,1.9.) / min. N- Düngung (15.6.)	Silge (Straußam pfer, Margerite)	Grundwasser- Anschluß (Ebe/Aland) Winter- Hochwasser (etwas länger trocken) B1	schwach schluffiger Ton / Gley
	33 / 30	F8/3	Stromlan d- Außendei ch	Schnittwiese 2-schurig (22.6.,1.9.) / min. N- Düngung (15.6.)	Wassersch waden- röhricht	Grundwasser- Anschluß (Ebe/Aland) (am längsten überflutet)	schwach schluffiger Ton / Gley

Auf den oben beschriebenen Flächen wurden wahlweise Saugkerzen in Verbindung mit Brunnen, nur Saugkerzen oder nur Brunnen installiert.

In Tabelle 5.56 ist eine Übersicht der Bezeichnungen der Brunnen und Saugkerzen, die in den Grafiken der Auswertung Verwendung finden.

Tab. 5.56: Übersicht der untersuchten Flächen (Betriebe 1, 2, 4 und 6) und Kennzeichnung der Saugkerzen und Brunnen

Probe	Fläche	Saug- kerzen	Brunnen
<i>Betrieb 1</i>			
3	C5 S'-Teil	1,2,3	12
4	C5 N'-Teil	4,5,6	13
7	C7	-	14
10	C28	8,9,10	11
Betrieb 4			
14	R2a	-	4
17	R16a SW'-Teil	11,12,13	7
18	R2d	14,15,16	6
19	R7	17,18,19	5
20	R32	20,21,22	
Betrieb 2			
21	Z111	23,24,25	8
22	Z464	26,27,28	9

5. Darstellung der Ergebnisse

23	Z175	29,30,31	10
Betrieb 6			
29	F8/4	-	3
32	F8/1	-	1
33	F8/3	-	2

An allen Standorten wurden die gleichen Parameter in Boden- und Grundwasser analysiert. Die Installation, Deinstallation, Wartung, Probennahme und Besonderheiten der Saugkerzen und Brunnen werden in Kapitel 4 eingehend beschrieben. Im Folgenden ist eine Übersicht (Tab. 5.57) der untersuchten Parameter gegeben.

Tab. 5.57: Übersicht der im Boden- und Grundwasser untersuchten Parameter

Untersuchungsparameter Boden- und Grundwasser			
Parameter	Dimension	Bodenwasser	Grundwasser
pH-Wert	[H ₂ O]	+	+
elekt. Leitfähigkeit	[µS/cm]	+	+
Chlorid	[mg/l]	+	+
Sulfat	[mg/l]	+	+
Nitrat	[mg/l]	+	+
Ammonium	[mg/l]	+	+
Nitrit	[mg/l]	-	+
DOC	[mg/l]	+	+
Phosphor	[mg/l]	+	+
Ortho-Phosphat	[mg/l]	-	+
Magnesium	[mg/l]	-	+
Natrium	[mg/l]	-	+
Calcium	[mg/l]	+	+
Kalium	[mg/l]	+	+
Wassermenge	[ml]	+	-
GW u GOK	[m]	-	+

5.2.3 Grundwasserganglinien und Niederschlagsgänge

Die Daten der Grundwasserstände unter Geländeoberkante (GOK) basieren sowohl auf eigenen als auch auf Messungen der Universität Lüneburg. Im Folgenden ist eine entsprechende Tabelle 5.58 mit Monatswerten dargestellt. Die Übersichtsgrafik basiert auf einer größeren Datengrundlage die durch Zusatzmessungen oder Doppelmessungen zweier Institute entstanden sind. Die Übersicht der Grundwasserstände ist in Abbildung 5.102 dargestellt. In der Tabelle 5.58 sind Anmerkungen zu Tiefstständen oder nicht ermittelbaren Daten gegeben. Die Nummern der Brunnen lassen sich entsprechend der Tabellen 5.52-5.55 (Kapitel 5.2.2) den untersuchten Flächen zuordnen.

Tab. 5.58: Übersicht der Grundwasserstände in den Brunnen B 1 – B14 der untersuchten Flächen

Datum	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10	B 11	B 12	B 13	B 14
Jul 99	1,77	1,25	1,39	2,75	2,53	3,55	3	1,31	1,32	1,93	2,02	1,83	1,2	1,89
Aug 99	1,9	1,55	1,62	-	2,79	4	3	1,33	1,33	2,0	2,24	2,13	1,48	2,24
Sep 99	1,97	1,8	1,87	2,81	2,87	3,95	2,8	-	1,38	-	-	2,29	1,82	2,42
Okt 99	2,13	2,0	2,11	-	-	-					-	-	1,89	2,46
Nov 99	2,28	1,96	2,1	-	3	4			Brunnen gezogen		3	2,22	1,81	2,78
Dez 99	2,28	1,91	2,09	3	3	4						2,22	1,63	2,66
Jan 00	2,21	1,69	1,89	3	3	3,71		1,27				1,87	1,2	2,29
Feb 00	1,94	1,23	1,42	2,74	2,55	3,4	2,3	1,17	1,43	0,89	2,28	1,51	0,88	1,06
Mrz 00	0,29	0	0,09	0,55	0,51	1,37	0,3	0,97	1,25	0,05	0,35	0	0	0
Apr 00	0,05	0	0	0,42	0,14	1,25	0,6	1,19	1,26	0,33	0,65	0	0	0
Mai 00	1,05	0,53	0,71	1,7	1,69	2,66	1,8	1,18	1,31	0,81	1,04	-	0,61	1,04
Jun 00	1,7	1,21	1,35	2,4	2,05	3,81	2,2	1,22	1,45	1,37	1,99	1,82	1,25	1,49
Jul 00	1,7	1,57	1,64	2,43	2,66	3,81	2	1,34	1,54	1,69	2,45	2,2	1,56	2,12
Aug 00	2,43	1,62	1,73	2,43	2,66	3,81	2		1,36		2,55	2,2	1,55	2,04
Sep 00	2,27	1,73	1,84	2,43	2,66	3,81	2,6		1,54		2,63	2,37	1,7	2,41

Dabei sind:

0: Die Flächen waren zu den Terminen überflutet.

Rote Zahlen: Brunnen war trocken (aktuelle Brunnentiefe, falls gemessen - sonst 3 m bzw. 4 m (B6) uGOK)

5. Darstellung der Ergebnisse

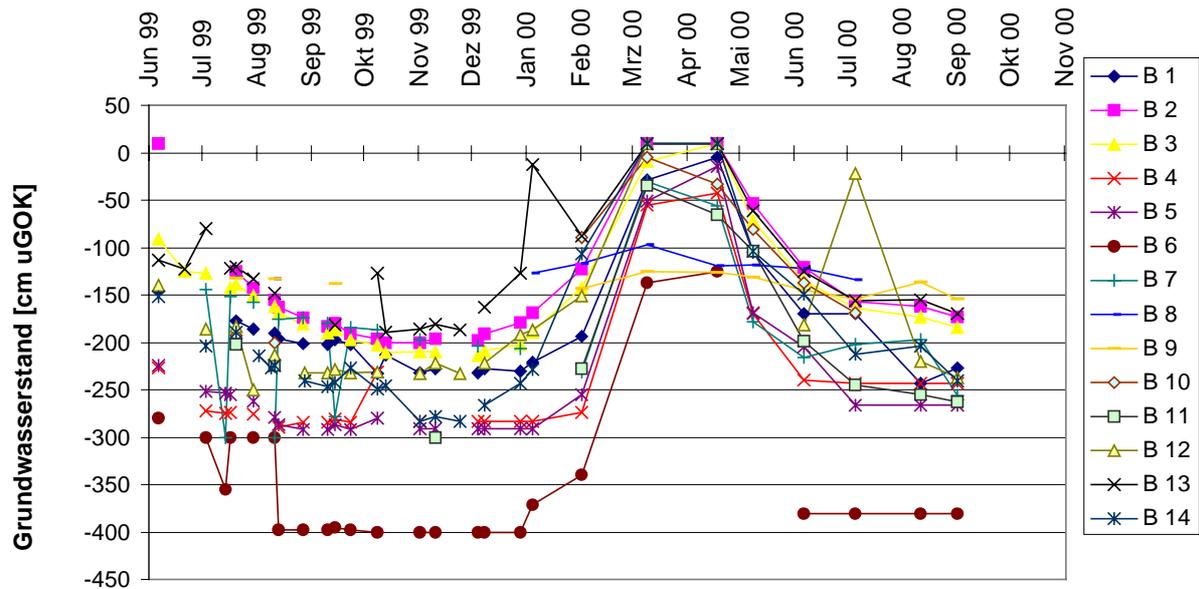


Abb. 5.102: Grundwasserstände der Brunnen B 1 – B14 der untersuchten Flächen – Juni 1999 bis November 2000

Der Verlauf des Niederschlags wurde gebietsspezifisch als Bestandesniederschlag mit dem HELLMANN-Niederschlagssammler ermittelt. Die Kurven (Abb. 5.103) werden in den Kapiteln 5.2.4.1 bis 5.2.4.15 zusammen mit den Grundwasserganglinien und den Wasserparametern diskutiert.

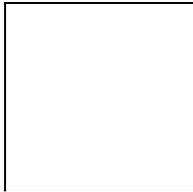


Abb. 5.103: Gebietsspezifischer Niederschlagsverlauf – Juli 1999 bis September 2000

5.2.4 Flächenspezifische Qualität des Bodenwassers und des Grundwassers

Der nun folgende Teil ist die Darstellung der Ergebnisse aus den Untersuchungen der Bodenwasser- und Grundwasseranalytik. Dazu wurden die gemessenen Niederschlagswerte und die dem jeweiligen Brunnen entsprechende Grundwasserganglinie (außer der Fläche R32: kein Brunnen installiert) in einer Grafik als Bezug verankert. Diese beiden Grafiken sind jeweils mit einer Monatsskalierung beschriftet. Diese lassen sich vertikal fortsetzen, wurden daher bei den Parametereinstellungen zur Übersichtlichkeit weggelassen. Zwischen diesen Basisdaten werden jeweils für eine einzelne Fläche spezifische Parameter im Bodenwasser und Grundwasser dargestellt. Diese Darstellung ist gewählt worden, um einen möglichen zeitlichen Einfluß von Niederschlägen, aufsteigendem Grundwasser oder Überflutung, bzw. eventuell auftretende Verlagerungen von Nährstoffen aus dem Bodenwasser in das Grundwasser, oder umgekehrt, zu visualisieren. Um die Handhabung zu vereinfachen,

5. Darstellung der Ergebnisse

wurden zu einzelnen Parametern in eine Textblock an der rechten Seite neben der Angabe des jeweiligen Parameters auch vorhandene Grenzwerte oder andere Anmerkungen notiert.

Die Grafiken werden in der Reihenfolge aufgeführt, die in Tabelle 5.52 bis 5.55 dargestellt sind. Für jede Fläche ist jeweils eine Grafik für die Parameter erstellt worden.

- pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (Bodenwasser und Grundwasser)
- Chlorid, Sulfat (Bodenwasser und Grundwasser)
- Nitrat, Ammonium (Bodenwasser); Nitrat, Ammonium, Nitrit (Grundwasser)
- DOC, Phosphor (Bodenwasser); Ortho-Phosphat, DOC (Grundwasser)
- Kalium, Calcium (Bodenwasser); Kalium, Magnesium, Phosphor (Grundwasser)

Die jeweilige Einstufung und Bewertung erfolgt nach Tabelle 2.20 (Trinkwasserverordnung) und Tabelle 2.21 (Grenzwerte nach EU-Trinkwasserrichtlinie) sowie nach Orientierungswerten der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

5.2.4.1 Betrieb 1, Fläche C5 S' Teil

Der Betrachtungszeitraum ist Juni 1999 bis November 2000. Die Niederschlagsganglinie innerhalb des Betrachtungszeitraumes zeigt starke Niederschläge in den Monaten 12-99 und 01-00 sowie im Sommer 2000 (08 und 09-2000). Die Fläche war in den Monaten März bis Mai 2000 überflutet und nicht zu beproben. Die Niederschlagskurve ist für alle Flächen des Betriebes 1 gleich, die Erfassung des Niederschlages erfolgte auf Fläche C5 S' Teil. Es sind nur vereinzelt zusammenhängende Daten für das Bodenwasser vorhanden.

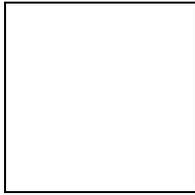


Foto 5.3: Hochwasserereignis im Frühjahr 2000

pH-Werte und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.104)

Die Parameter pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit im Bodenwasser zeigen einen sinkenden Trend von Januar 2000 bis November 2000. Die elektrische Leitfähigkeit schwankt im Bereich von 400 bis 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Der pH-Wert im Grundwasser fällt zu Beginn 2000 und steigt in den Sommermonaten kurz an. Danach ist ein Absinken auf die Frühjahrswerte zu beobachten.

Die elektrische Leitfähigkeit ist nach dem Hochwasser um das Dreifache im Vergleich zu den Jahresmittelwerten angestiegen, fällt aber mit Absinken des Grundwasserstandes sehr schnell wieder auf die Mittelwerte 400 bis 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Chlorid und Sulfat (Abb. 5.105)

Eine Bewertung der Schwankungen ist aufgrund der geringen Datenmenge nicht möglich. Die Werte für beide Parameter liegen unterhalb der Grenzwerte nach TVO.

Beide Parameter steigen im Grundwasser über die Wintermonate an. In den Sommermonaten steigen die Sulfatwerte um das 8-fache an und sinken erst wieder zu Beginn der Wintermonate. Die Chloridwerte verlaufen dazu entgegengesetzt. Bei beiden Parametern ist ein paralleler Verlauf zu den Niederschlagswerten zu erkennen.

Nitrit, Nitrat, Ammonium (Abb. 5.106)

In den Wintermonaten sinken die Nitratwerte mit zunehmenden Niederschlägen und steigendem Grundwasser. Die weiteren Werte liegen unterhalb von 1 mg/l. Die Ammoniumwerte sind im Bodenwasser ebenfalls sehr gering und übersteigen den Grenzwert nicht.

Im Grundwasser ist lediglich mit ansteigendem Grundwasser ein erhöhter Nitritwert über dem Grenzwert (0,1 mg/l nach derzeitig noch gültiger TVO) im Monat Februar 2000 zu verzeichnen. Die Messung im Juli 2000 überschreitet den Grenzwert einmalig um das 14-fache. Die Nitratwerte liegen ganzjährig unterhalb der Grenzwerte und zeigen keine besondere Schwankung. Lediglich die Ammoniumkonzentration zeigt nach der Überflutung im Juni 2000 einen sehr hohen Wert (135 mg/l). Dieser sinkt aber sehr schnell wieder unter die Nachweisgrenze.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.107)

Die DOC-Werte steigen im Bodenwasser gemäß der Erwartung in den Sommermonaten an, im Winterhalbjahr sinken sie. Der Anstieg im Grundwasser verzögert sich bis in die Herbstmonate.

Die wenigen Phosphorwerte im Bodenwasser zeigen einen Trend. In den Wintermonaten sind sie erhöht und sinken bis zu den Herbstmonaten.

Im Grundwasser sind keinen nennenswerten o-Phosphatwerte zu registrieren.

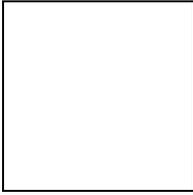
Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.108)

Kalium zeigt einen zunehmenden Trend im Bodenwasser, Calcium einen abnehmenden Trend.

K und Mg haben im Grundwasser einen ähnlichen Verlauf mit leicht zunehmender Tendenz zu den Wintermonaten hin. Phosphor ist stark angestiegen nach der Überflutung, sinkt mit abnehmendem Grundwasser sehr schnell um das sechsfache und steigt dann noch mal im September 2000 kurzfristig stark an.

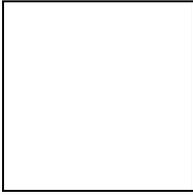
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.104: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



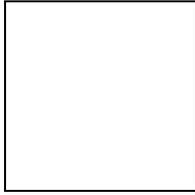
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.105: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12;
Chlorid, Sulfat (BW, GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.106: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



**Abb. 5.107: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**

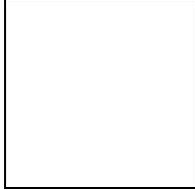
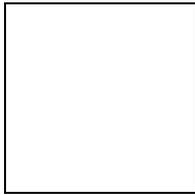


Abb. 5.108: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.2 Fläche C5 N' Teil

Betrieb 1;

Die Erfassung des Niederschlages erfolgte auf Fläche C5 S' Teil.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.109)

Im Bodenwasser sinkt der pH-Wert in den Herbstmonaten aufgrund abnehmender mikrobieller Aktivität ab, allerdings ist kein deutlicher Anstieg in den Sommermonaten 2000 zu verzeichnen. Die elektrische Leitfähigkeit zeigt mit erhöhten Niederschlagswerten im Sommer 2000 einen Anstieg.

Der pH-Wert im Grundwasser nimmt ebenfalls im Jahr 1999 über die Herbst- und Wintermonate hinweg ab und steigt im Sommer 2000 von 7,3 bis auf ein Maximum von 8,2 im August an. Die elektrische Leitfähigkeit sinkt mit steigendem Grundwasser. Nach der Überflutung und der Wiederaufnahme der Beprobung sind die Anfangswerte des vorangegangenen Winters wieder erreicht und unterliegen danach nur geringen Schwankungen.

Chlorid und Sulfat (Abb. 5.110)

Im Bodenwasser zeigen beide Parameter einen parallelen Verlauf zur Niederschlagskurve. Sie sinken zu Beginn des Hochwassers und steigen mit Absinken des Grundwassers. Dieser Verlauf ist auch im Grundwasser zu sehen.

Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.111)

Im Bodenwasser sind keine besonderen Schwankungen zu sehen. Die erhöhten Werte der Saugkerze 6 für Ammonium können im Vergleich zu den beiden anderen Kerzen Fehlmessungen sein.

Im Grundwasser ist zu Beginn des ansteigenden Grundwassers erneut ein erhöhter Nitritwert oberhalb des Grenzwertes zu beobachten. Die Nitrat- und Ammoniumwerte zeigen in den Sommermonaten einen ähnlichen Verlauf. Nach einem Anstieg im Juli sinken die Konzentrationen im August und steigen im Oktober wieder deutlich an. Die Ammoniumwerte übersteigen dabei den Grenzwert von 0,5 mg/l nach TVO.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.112)

Die DOC-Werte steigen im Bodenwasser gemäß der Erwartung in den Sommermonaten an, im Winterhalbjahr sinken sie. Die DOC-Werte im Grundwasser sind in den Wintermonaten geringer im Vergleich zu den vorliegenden Daten in den Sommermonaten.

Die Phosphorwerte im Bodenwasser zeigen einen Trend. In den Wintermonaten sind sie erhöht und sinken bis zu den Herbstmonaten.

Im Grundwasser sind keine nennenswerten o-Phosphatwerte zu registrieren.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.113)

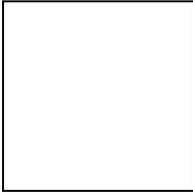
Die Kaliumwerte steigen lediglich in den Herbstmonaten kurz an. Der weitere Verlauf ist nicht bekannt aufgrund mangelnder Daten.

5. Darstellung der Ergebnisse

Im Grundwasser verlaufen die Kaliumwerte relativ gleich. Lediglich in den Sommermonaten kommt es zu einer leichten Erhöhung. Die Magnesiumwerte sinken mit steigendem Grundwasser und zeigen nach der Überflutung einen relativ konstanten Wert. Phosphor ist in den Wintermonaten stark angestiegen, die Kurve verläuft im Sommerhalbjahr 2000 relativ konstant.

5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.109: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.110: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Chlorid, Sulfat (BW, GW)

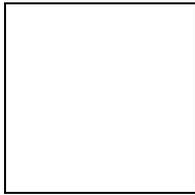


Abb. 5.111: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)

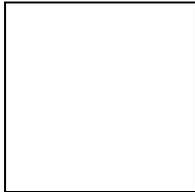


Abb. 5.112: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)

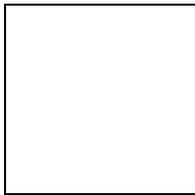
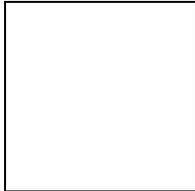


Abb. 5.113: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.3 Betrieb 1, Fläche C7

Die Erfassung des Niederschlages erfolgte auf Fläche C5 S' Teil.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.114)

Der pH-Wert im Grundwasser bleibt über den gesamten Betrachtungszeitraum relativ konstant mit Werten zwischen 6,5 bis 7,5.

Die elektrische Leitfähigkeit schwankt im Jahrgang relativ gleichmäßig zwischen 200 und 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Die Chlorid- und Sulfatwerte im Grundwasser verlaufen exakt mit dem jeweiligen Grundwasserstand, d.h sie steigen mit erhöhtem Grundwasserspiegel und sinken bei abnehmendem Grundwasserstand. Sulfat zeigt dabei einen stärkeren Anstieg bei einsetzendem Hochwasser als Chlorid.

In den Herbstmonaten beider Jahre gibt es einen kurzfristigen starken Anstieg der Ammonium- und Nitritkonzentrationen. Nitrat ist nicht nachweisbar.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.117)

Im Winterhalbjahr sind erhöhte DOC und o-Phosphat-Werte zu sehen. Ein Anstieg ist aber auch in den Sommermonaten zu beobachten.

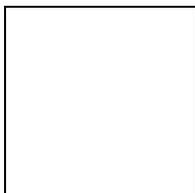
Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.118)

Kalium hat einen sehr ungleichen Verlauf, zumindest in den vergleichbaren Monaten der beiden Jahre. Im Sommer 1999 liegen höhere Werte vor, als im Sommer 2000. Die Magnesiumwerte verlaufen relativ gleichbleibend.

Phosphor ist in beiden Jahren im Sommer/Herbst und im Wintermonat Januar stark angestiegen.

Abb. 5.114: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.115: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

Chlorid, Sulfat (GW)

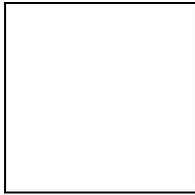


Abb. 5.116: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)

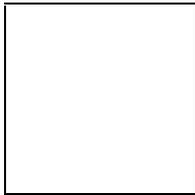
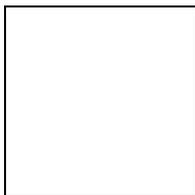


Abb. 5.117: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

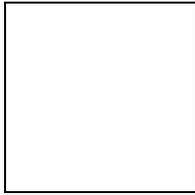
Ortho-Phosphat, DOC (GW)

Abb. 5.118: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5. Darstellung der Ergebnisse



5.2.4.4 Betrieb 1, Fläche C28

Die Erfassung des Niederschlages erfolgte auf Fläche C5 S' Teil.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.119)

Die Daten der Saugkerze 9 zeigen einen Anstieg des pH-Wertes während des Hochwassers auf über 8,5. Die elektrische Leitfähigkeit unterliegt kaum Schwankungen, sofern die Daten für eine Aussage ausreichend sind.

Im Grundwasser steigt der pH-Wert mit ansteigendem Grundwasser im Frühjahr 2000 um ca. 1,5 pH-Einheiten an. Danach fällt er um die gleiche Größe bis zum Juni 2000 und steigt dann wieder um den gleichen Wert. Die hohen pH-Werte sind jahreszeitlich normal.

Die elektrische Leitfähigkeit im Grundwasser steigt ab März 2000 bis September 2000 kontinuierlich an.

Chlorid und Sulfat zeigen im Bodenwasser über den Betrachtungszeitraum sowohl einen fast gleichen Verlauf, als auch fast gleiche Konzentrationen auf. Die Sommerwerte liegen dabei niedriger als die Herbstwerte.

Beide Parameter nehmen zunächst mit ansteigendem Grundwasser ab und steigen danach mit langsam fallendem Grundwasserspiegel auch langsam wieder an.

Im Bodenwasser liegen die Nitratwerte im Winter höher als in den Frühjahrsmonaten. Die Ammoniumwerte zeigen einen ähnlichen Verlauf. Insgesamt sind die Konzentrationen sehr gering.

Im Grundwasser liegen ca. 45 % aller Nitratwerte über dem Grenzwert nach TVO. Diese Überschreitungen findet man im Sommerhalbjahr 2000. Ein kurzzeitiges Absinken ist während des erhöhten Grundwasserstandes festzustellen. Erst im August 2000 liegt der Nitratwert wieder unterhalb des Grenzwertes.

Die Ammoniumwerte steigen erstmals im Juli 2000 an und erreichen das Maximum im September 2000. Zu diesem Zeitpunkt sind die Nitratwerte auf dem Tiefststand.

Die Nitritwerte sind im gesamten Zeitraum nicht nachweisbar. Einzige Ausnahme ist der Juliwert, der um das 80-fache über dem Grenzwert (0,1 mg/l nach TVO) liegt.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.122)

Die Phosphorwerte liegen in den Wintermonaten deutlich geringer als in den Frühjahrs- und Sommermonaten.

o-Phosphat ist im Grundwasser nicht nachweisbar.

Die DOC-Werte nehmen zunächst bis zum März 2000 ab, steigen dann aber kontinuierlich an. Der gleiche Verlauf ist für DOC im Grundwasser zu verzeichnen.

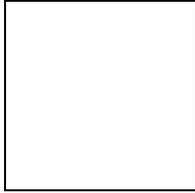
Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.123)

Sowohl im Bodenwasser als auch im Grundwasser ist ein ähnlicher Verlauf der Konzentrationen von Kalium und Calcium zu sehen. Die Konzentrationen sind im Bodenwasser und im Grundwasser ähnlich.

Bei beiden Parametern nehmen die Werte zunächst ab und steigen im Verlauf des Jahres 2000 kontinuierlich an. Im Herbst fallen die Werte wieder.

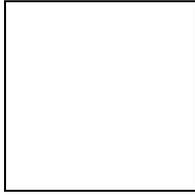
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.119: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



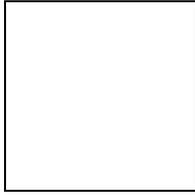
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.120: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11;
Chlorid, Sulfat (BW, GW)**



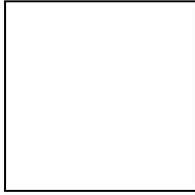
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.121: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



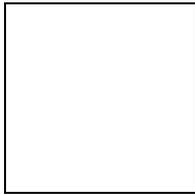
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.122: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.123: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.5 Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a

Die Erfassung der Niederschläge erfolgte auf Fläche R7.

Die Niederschlagskurve, die für alle Flächen des Betriebes 4 gilt, zeigt Schwankungen im Herbst 1999. Starke Niederschläge, die auch dem Hochwasserereignis entsprechen sind über die Wintermonate 99/00 und im Sommer 2000 zu verzeichnen.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.124)

Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen Chlorid und Sulfat (Abb. 5.125) getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.126) getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.127)

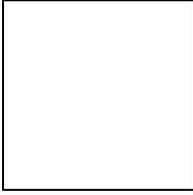
Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.128)

Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

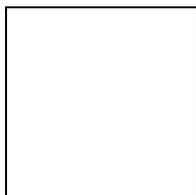
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.124: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW)**



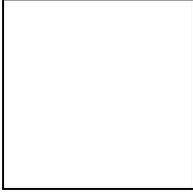
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.125: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4;
Chlorid, Sulfat (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.126: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4;
Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.127: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4;
Ortho-Phosphat, DOC (GW)**

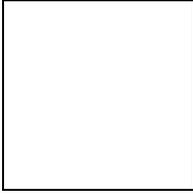
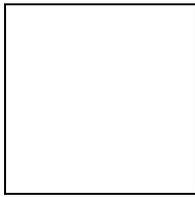


Abb. 5.128: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4; Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.6 Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil

Die Erfassung der Niederschläge erfolgte auf Fläche R7.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.129)

Bei dieser Fläche ist der pH-Wert im Bodenwasser im Winterhalbjahr höher als im Sommerhalbjahr, bzw. die Werte sinken im Laufe des Jahres ab.

Die elektrische Leitfähigkeit ist im Herbst 99 niedrig. Ab Dezember 99 steigt die Leitfähigkeit bis Ende 2000 kontinuierlich an.

Die Parameter im Grundwasser zeigen ein kurzes Absinken während des ansteigenden Grundwassers im Frühjahr.

Beide Parameter zeigen ab den Wintermonaten einen stetigen Anstieg über die Sommermonate bis zum Juni 2000. Danach sinken die Konzentrationen zum Winter hin.

Im Grundwasser ist während des ansteigenden Grundwassers ein kurzzeitiges Absinken der Werte zu verzeichnen.

Diese Fläche zeigt eine sehr starke Belastung mit Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.131) Nitrat im Bodenwasser. Der Grenzwert nach TVO wird über den gesamten Betrachtungszeitraum permanent überschritten. In 2000 ist ab

Jahresbeginn eine ständig steigende Konzentration zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu ist kaum Ammonium im Bodenwasser zu verzeichnen.

Im Grundwasser sind erhöhte Nitritwerte im Oktober 2000 zu finden. Nitrat und Ammonium verlaufen in den üblichen Bahnen (Stoffwechsel und Mineralisation).

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.132)

Phosphor und DOC ist im Bodenwasser entsprechend den üblichen Verläufen.

Im Grundwasser ist im Frühjahr 2000 ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

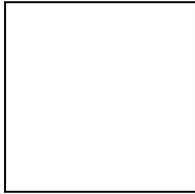
Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.133)

Das Bodenwasser der Fläche zeigt sehr geringe Kaliumwerte. Diese verlaufen über das Winterhalbjahr sehr niedrig und steigen über das Sommerhalbjahr leicht an. Calcium steigt im gesamten Jahr 2000 stetig an und sinkt erst zum Herbst 2000 ab

Das Grundwasser zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die anderen Parameter.

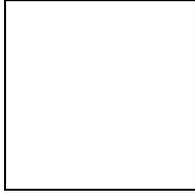
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.129: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13;
Brunnen 7;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



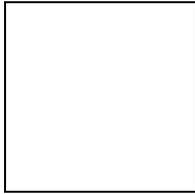
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.130: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13;
Brunnen 7;
Chlorid, Sulfat (BW, GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.131: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13;
Brunnen 7;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.132: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13;
Brunnen 7;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**

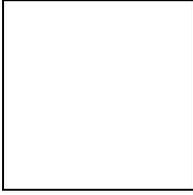
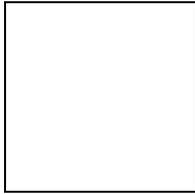


Abb. 5.133: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13; Brunnen 7; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.7 Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d

Die Erfassung der Niederschläge erfolgte auf Fläche R7.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.134)

Der pH-Wert im Bodenwasser fällt in den Sommermonaten Juli/ August 1999 ab. Die ersten Daten der Analytik in Juni 2000 zeigen einen pH-Wert von 7,7. Die Werte fallen danach sehr schnell auf 6,3 im August ab und steigen mit Beginn der Wintermonate erneut an. Das Absinken des pH-Wertes ist möglicher Weise auf Protoneneinträge durch starke Niederschläge im Winterhalbjahr zurückzuführen.

Die elektrische Leitfähigkeit im Bodenwasser schwankt in 2000 zwischen 200 und 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Mit ansteigendem Grundwasser sinkt der pH-Wert. Weitere Aussagen sind aufgrund der wenigen Messdaten nicht möglich. Gleiches gilt für die elektrische Leitfähigkeit.

Im Bodenwasser sind im Herbst 1999 relativ geringe Chlorid und Sulfat (Abb. 5.135) Chloridkonzentrationen zu verzeichnen. Die Werte steigen im Sommer 2000 kurz an und verlaufen dann wieder im Bereich um 10 – 15 mg/l.

Die Sulfat-Werte steigen im Sommer 1999 stark an und erreichen fast den Grenzwert nach TVO. Nach dem Hochwasserereignis im Frühjahr 2000 sind die Werte zunächst niedrig, steigen dann aber bis zum Herbst wieder an. Während des Hochwassers überschreiten sie den Grenzwert nach TVO.

Das Grundwasser zeigt für die beiden Parameter einen ähnliches Konzentrationsverhältnis wie das Bodenwasser.

Die Fläche zeigt im Bodenwasser geringe Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.136) Nitratgehalte. Der Maximalwert liegt bei ca. 22 mg/l. Erwartungsgemäß steigen die Nitratwerte im Sommerhalbjahr 2000 an und sinken zum Herbst

wieder. Die Ammoniumwerte liegen auch unterhalb des Grenzwertes. Die Datenmenge reicht für weitere Aussagen nicht aus.

Im Grundwasser ist nur ein Spitzenwert von 0,6 mg/l Nitrit zu erwähnen. Dieser Wert tritt während des Hochwassers kurzfristig auf. Für Ammonium liegen zu wenig Daten vor.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.137)

Die vorhandenen Daten für Phosphor im Bodenwasser sind nicht ausreichend.

Die DOC-Werte verlaufen ohne wesentliche Schwankungen in sehr geringen Konzentrationen.

Die Werte von DOC im Grundwasser sinken während des Hochwassers kurz ab. Weitere Daten liegen nicht vor.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.138)

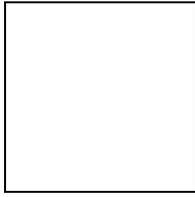
5. Darstellung der Ergebnisse

Im Bodenwasser sinken die Kaliumwerte im Sommer 2000 ab und steigen zum Herbst wieder leicht an. Die Calciumwerte steigen im Sommer 99 stark an. Die weiteren Daten im Sommer 2000 verlaufen ähnlich.

Im Grundwasser ist lediglich Phosphor nennenswert. Die Werte sinken sehr schnell mit steigendem Grundwasser.

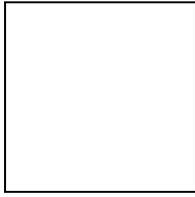
5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.134: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)



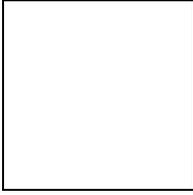
5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.135: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Chlorid, Sulfat (BW, GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.136: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.137: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)

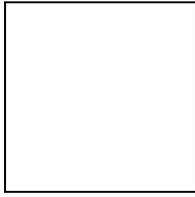
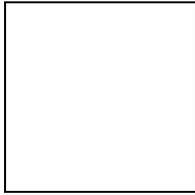


Abb. 5.138: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.8 Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7

Die Erfassung der Niederschläge erfolgte auf Fläche R7.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.139)

Der pH-Wert im Bodenwasser sinkt über die Wintermonate 1999/2000 stark ab. Gleichzeitig sind sehr starke Niederschläge zu verzeichnen. Demgegenüber ist die elektrische Leitfähigkeit ist sehr gering.

Die Grundwasserwerte für beide Parameter sinken während des ansteigenden Grundwasser ab und steigen mit abnehmendem Grundwasser wieder an.

Diese Fläche hat auch geringe Chloridwerte im Chlorid und Sulfat (Abb. 5.140) Bodenwasser. Im Vergleich zur Niederschlagskurve sinken die Werte bei steigender Niederschlagsmenge.

Die Sulfatkonzentrationen liegen höher als die des Chlorids, aber unterhalb des Grenzwertes. Die Werte steigen im Winterhalbjahr an und beginnen dann wieder zu sinken.

Im Grundwasser kann man ein Absinken der beiden Parameter während des ansteigenden Grundwassers verzeichnen.

Im Bodenwasser steigen die Nitratwerte im Winter leicht an und sinken wieder im Frühjahr. Die Ammoniumwerte sind sehr gering und zeigen kaum Schwankungen.

Im Grundwasser sind weder Nitrat noch Nitritwerte zu verzeichnen.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.142)

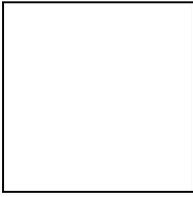
Im Bodenwasser sinken die Parameter während des aufsteigenden Grundwassers. Im steigenden Grundwasser ist ein starker Anstieg von DOC zu verzeichnen.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.143)

Die Ergebnisse der drei Saugkerzen sind so different, das eine Aussage nicht möglich ist. Im Grundwasser verlaufen die Parameterwerte erwartungsgemäß.

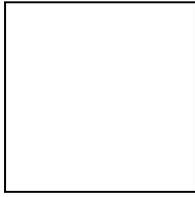
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.139: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



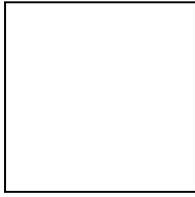
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.140: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5;
Chlorid, Sulfat (BW, GW)**



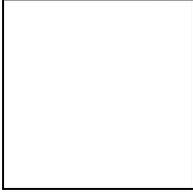
5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.141: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)



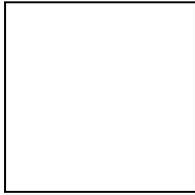
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.142: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.143: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.9 Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32

Die Erfassung der Niederschlagsgänge erfolgte auf Fläche R7

Diese Fläche wurde nur mit Saugkerzen beprobt, es gibt hierzu keine Grundwassermessungen.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.144)

Der pH-Wert steigt zum Beginn 2000 stetig an. Die elektrische Leitfähigkeit sinkt in diesem Zeitraum um 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Beide Parameter zeigen den gleichen Verlauf und liegen Chlorid und Sulfat (Abb. 5.145) auch beide im gleichen Konzentrationsbereich. Die Konzentrationen sind sehr gering.

Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.146) Die Nitratwerte sind sehr hoch, sie erreichen zeitweise den Grenzwert. Sie steigen im Winterhalbjahr an und sinken zum Sommer hin ab.

Ammonium ist kaum nachweisbar.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.147)

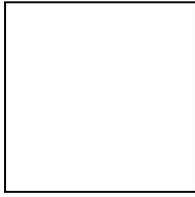
Die Phosphorwerte sinken über das Winterhalbjahr bis zum Sommer 2000. DOC hat einen ähnlichen Verlauf wie die Niederschlagsmengen.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.148)

Beide Parameter sinken vom Jahresbeginn 2000 bis zum Sommer. Weitere Daten liegen nicht vor.

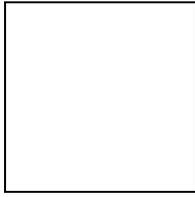
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.144: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW)**



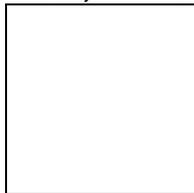
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.145: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
Chlorid, Sulfat (BW)**



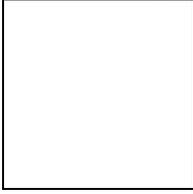
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.146: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
Nitrat, Ammonium (BW)**

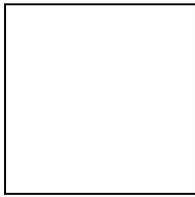


5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.147: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
DOC, Phosphor (BW)**



**Abb. 5.148: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
Kalium, Calcium (BW)**



5.2.4.10 Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111

Die Erfassung der Niederschlagsgänge erfolgte auf Fläche Z175.

Die Daten der Niederschlagsmessungen reichen von Dezember 1999 bis Juli 2000. Innerhalb dieses Betrachtungszeitraumes schwanken die Werte regelmäßig. Die höchsten Niederschläge sind im Januar und März zu verzeichnen. Das Grundwasser erreicht seinen Höchststand im März 2000 bei einer Tiefe von ca. 98 cm unter GOK. Die Fläche wird nicht überflutet.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.149)

Der pH-Wert im Bodenwasser schwankt nur gering und liegt im Bereich um 8,0.

Die elektrische Leitfähigkeit liegt im Bereich zwischen 200 und 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Der pH-Wert im Grundwasser liegt etwas niedriger als im Bodenwasser im Bereich um 7,5.

Die elektrische Leitfähigkeit liegt zu Beginn des Messzeitraumes bei ca. 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und sinkt zu Beginn des Jahres 2000 mit ansteigendem Grundwasser auf einen Wert von ca. 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nach Absinken des Grundwassers erreicht der Parameter seinen Ausgangswert.

Die Chloridwerte im Bodenwasser sinken deutlich bis Chlorid und Sulfat (Abb. 5.150) zum Mai 2000 auf Werte, die um 2 mg Cl/l schwanken, ab. Die Sulfatwerte steigen in den Wintermonaten an und sinken erst wieder zum Frühjahr 2000. Dieser Kurvenverlauf ist mit den geringen Stoffumsätzen in der Jahreszeit zu erklären. Die Konzentrationen liegen deutlich höher als die Chloridwerte.

Im Grundwasser sinken die Werte beider Parameter relativ gleichmäßig und steigen wieder mit abnehmendem Grundwasserspiegel. Die Konzentrationen sind dabei relativ gleich.

Die Nitratwerte im Bodenwasser zeigen einen Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.151) ähnlichen Verlauf wie die Chloridwerte. Die Werte sind zu Beginn der Datenerfassung recht hoch, sinken dann aber bis zum Mai 2000 auf nahezu 0 mg/l.

Die Ammoniumwerte sind zu vernachlässigen.

Im Grundwasser sind die Nitratwerte etwas niedriger als im Bodenwasser. Die Werte verlaufen reziprok der Grundwasserkurve.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.152)

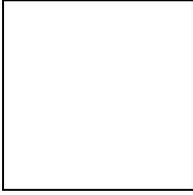
Im Bodenwasser sind die Phosphorwerte niedrig und sinken im weiteren Beobachtungszeitraum ab.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.153)

Die Kaliumwerte sind zu vernachlässigen. Die Calciumwerte sinken innerhalb der vorliegenden Daten. Kalium und Magnesium zeigen einen leichten steigenden Trend. Phosphor zeigt den über die Wintermonate zu erwartenden ansteigenden Verlauf (Kap. 3.8).

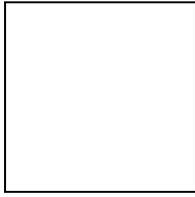
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.149: Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



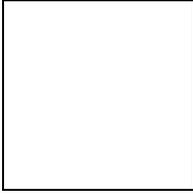
5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.150: Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8; Chlorid, Sulfat (BW, GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.151: Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.152: Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**

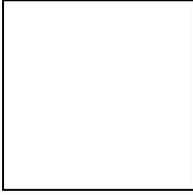
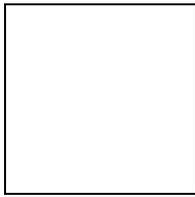


Abb. 5.153: Betrieb 2; Probe 21; Fläche Z111; Saugkerzen 23,24,25; Brunnen 8; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.5.11 Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464

Die Erfassung der Niederschlagsgänge erfolgte auf Fläche Z175.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.154)

Die Daten für das Bodenwasser sind nicht aussagefähig.

Die Daten für das Grundwasser zeigen keine besonderen Schwankungen. Der pH-Wert liegt im Bereich von 6,0. Die elektrische Leitfähigkeit schwankt zwischen 300 und 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Die Chloridwerte sind relativ niedrig, es treten kaum Chlorid und Sulfat (Abb. 5.155) Schwankungen auf. Die Sulfatwerte verlaufen ähnlich den Chloridwerten.

Die Nitratwerte im Bodenwasser sind sehr hoch. Der maximal gemessene Wert liegt bei 224 mg/l. Diese hohen Werte treten im Dezember 1999 auf.

Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.156) Sie sinken danach aber schnell unter 50 mg/l.

Ammonium ist nur unwesentlich im Bodenwasser messbar.

Im Grundwasser übersteigt Nitrit zweimal weit den Grenzwert. Einmal im Mai 2000 und einmal im Juli 2000. Ammonium ist auch hier kaum messbar.

Die Nitratwerte im Grundwasser liegen ebenfalls deutlich über dem Grenzwert. Die Schwankungen sind wesentlich geringer. Im Sommer liegen sie zwischen 120 und 150 mg/l.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.157)

Im Bodenwasser verlaufen die Phosphorwerte jahresgangbezogen (vgl. Kap. 3.8).

Die Datenlage der DOC-Werte reicht für eine Aussage nicht aus.

Im Grundwasser ist o-Phosphat nicht messbar. Die DOC-Werte schwanken im Zusammenhang mit dem Grundwasserstand.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.158)

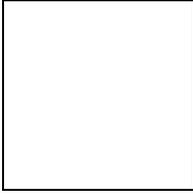
Im Bodenwasser verlaufen die Kalium- und Calciumwerte ähnlich. Sie sinken von höheren Herbstwerten über das Winterhalbjahr ab. Die Konzentrationsänderung ist bei Calcium stärker als bei Kalium.

Im Grundwasser verläuft Kalium ähnlich wie im Bodenwasser, allerdings mit wesentlich geringeren Schwankungen.

Magnesium unterliegt nur geringen Schwankungen. Auch Phosphor kommt nur in geringen Konzentrationen im Grundwasser vor. Die Schwankungen sind unerheblich.

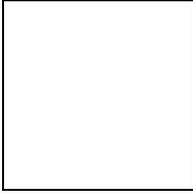
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.154: Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



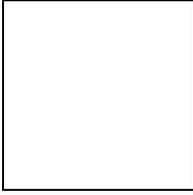
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.155: Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9;
Chlorid, Sulfat (BW, GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.156: Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.157: Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**

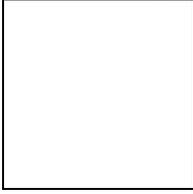
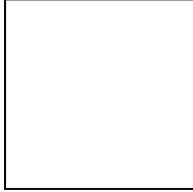


Abb. 5.158: Betrieb 2; Probe 22; Fläche Z464; Saugkerzen 26,27,28; Brunnen 9; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.12 Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175

Die Erfassung der Niederschlagsgänge erfolgte auf Fläche Z175.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.159)

Im Bodenwasser schwanken der pH-Wert um 7,8. Die elektrische Leitfähigkeit ist sehr hoch. Sie steigt vom Frühjahr bis Herbst 2000 um 500 Einheiten an. Der Maximumwert ist mit 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im August 2000 erreicht .

Im Grundwasser liegt der pH-Wert im Bereich um 7,6.

Im Grundwasser steigt die elektrische Leitfähigkeit mit absinkendem Grundwasser von ca. 200 auf 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ stark an und schwankt dann im Bereich um 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Beide Parameter steigen im Bodenwasser kontinuierlich ab Chlorid und Sulfat (Abb. 5.160) November 2000 an. Chlorid erreicht dabei Werte um 450 mg/l und überschreitet den Grenzwert ab März 2000. Sulfat steigt noch stärker an und erreicht sogar 740 mg/l.

Im Grundwasser schwanken die Werte beider Parameter, liegen aber unterhalb der Grenzwerte.

Nitrat sinkt ab November 2000 kontinuierlich im Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.161) Bodenwasser. Die Ammoniumwerte sind sehr niedrig und schwanken kaum. Im Grundwasser steigt der Nitratgehalt mit dem ansteigenden Grundwasser (Kap. 3.8). Mit abnehmenden Nitratwerten steigt der Ammoniumgehalt zum Herbst 2000 hin.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.162)

Die Phosphorgehalte verlaufen entsprechend den Niederschlagswerten. DOC sinkt über das Sommerhalbjahr.

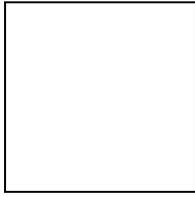
Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.163)

Im Bodenwasser steigen die Kaliumwerte zum Sommer 2000 kontinuierlich an. Die Calciumwerte verlaufen relativ gleichmäßig.

Im Grundwasser verläuft Kalium entsprechend der Grundwasserganglinie. Magnesium steigt im Sommer an.

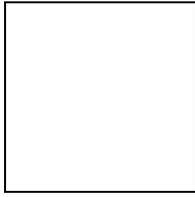
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.159: Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



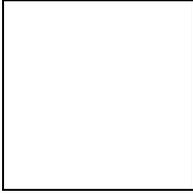
5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.160: Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; Chlorid, Sulfat (BW, GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.161: Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.162: Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)

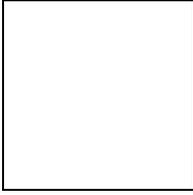
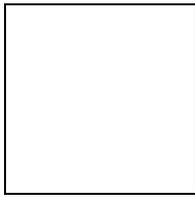


Abb. 5.163: Betrieb 2; Probe 23; Fläche Z175; Saugkerzen 29,30,31; Brunnen 10; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.13 Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4

Die Erfassung der Niederschlagsgänge erfolgte auf Fläche F8/3. Die Niederschlagskurve der Flächen dieses Betriebes zeigen erhöhte Niederschlagsmengen zwischen November 1999 und April 2000. Alle Flächen dieses Betriebes wurden nur mit Brunnen beprobt.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.164)

Im Bodenwasser schwanken die pH-Werte zwischen 7,0 und 7,5. Bei ansteigendem Grundwasser sinkt der pH-Wert auf 6,2. Mit fallendem Grundwasserspiegel steigt der pH-Wert dann wieder auf Werte um 7,0.

Die elektrische Leitfähigkeit steigt mit abnehmendem und sinkt mit steigendem Grundwasserstand. Die Werte schwanken zwischen 200 und 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Die Chloridwerte liegen im Bereich zwischen 10 und 50 mg/l. Die Sulfatwerte schwanken zwischen 60 und 340 mg/l. Im Winterhalbjahr verläuft die Kurve entgegengesetzt der Grundwasserkurve, im Sommerhalbjahr verläuft sie mit der Grundwasserkurve.

Die Ammoniumwerte sind im Herbst 1999 stark erhöht. Sie liegen um das 7-fache über dem Grenzwert nach TVO. Das Maximum ist im September 1999 erreicht. Danach sinkt die Konzentration sehr schnell und verläuft unterhalb des Grenzwertes. Die hohen Werte sind in 2000 nicht zu verzeichnen.

Nitrat ist kaum vorhanden. Im Winter 1999 steigen die Werte an und sinken wieder zum Frühjahr 2000.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.167)

o-Phosphat ist im Grundwasser nicht messbar. DOC verläuft entsprechend dem Verlauf der Grundwasserkurve. Steigendes Grundwasser bedeutet steigende DOC-Werte.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.168)

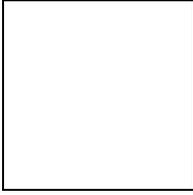
Natrium, Magnesium und Calcium steigen über das Winterhalbjahr an und sinken zum Beginn der Vegetationsperiode und mit steigendem Hochwasser. Nach der Überflutung liegen ähnliche Werte wie zu Beginn des Hochwassers vor.

Kalium sinkt über den Betrachtungszeitraum immer weiter ab.

Phosphor tritt im Winterhalbjahr mit höheren Konzentrationen als im Sommerhalbjahr auf.

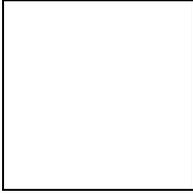
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.164: Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW)**



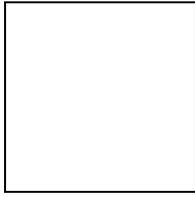
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.165: Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3;
Chlorid, Sulfat (GW)**



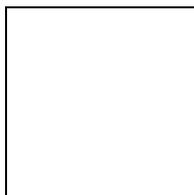
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.166: Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3;
Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



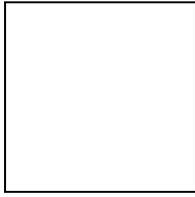
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.167: Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3;
Ortho-Phosphat, DOC (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.168: Betrieb 6; Probe 29; Fläche F8/4; Brunnen 3;
Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

5.2.4.14 Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1

Die Erfassung der Niederschlagsgänge erfolgte auf Fläche F8/3.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.169)

Der pH-Wert schwankt zwischen 6,3 und 7,5. Die Tendenz ist leicht fallend während des Betrachtungszeitraumes.

Die elektrische Leitfähigkeit schwankt zwischen 700 und 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Der Verlauf ist dem des pH-Wertes ähnlich.

Die Chloridkonzentrationen sind gering. Es gibt nur zum Hochwasser einen kurzen Anstieg.

Die Sulfatkurve verläuft synchron mit den Niederschlagsmengen. Bei größeren Niederschlagsmengen steigen die Sulfatwerte.

Nitrit ist nicht nachweisbar. Ammonium ist in sehr hohen Konzentrationen im August 1999 im Grundwasser vorhanden. Dieser Wert liegt um mehr als das 100-fache über dem Grenzwert nach

TVO (0,5 mg/l). Die Konzentration sinkt zwar wieder deutlich ab, allerdings wird der Grenzwert ständig überschritten.

Nitrat ist nur in geringen Mengen im Grundwasser zu finden.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.172)

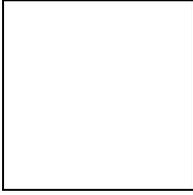
Auf dieser Fläche verläuft die DOC und die Phosphor kurve relativ einheitlich. Spitzenwerte werden in Herbst 1999 erreicht. Ab den Wintermonaten 1999 gibt es nur noch relativ kleine Schwankungen.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.173)

Auf dieser Fläche zeigen die Parameter Kalium, Natrium, Magnesium und Calcium einen ähnlichen Verlauf. Auffallend sind die Spitzenwerte aller Parameter im August 1999. Dieses Phänomen ist auch bei der Fläche F8-4 bei Phosphor zu verzeichnen.

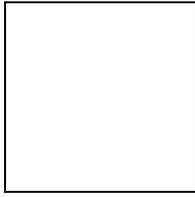
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.169: Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW)**



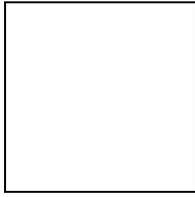
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.170: Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1;
Chlorid, Sulfat (GW)**



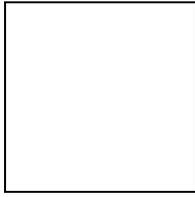
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.171: Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1;
Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**

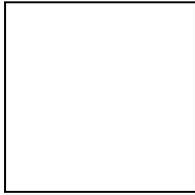


5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.172: Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1;
Ortho-Phosphat, DOC (GW)**



**Abb. 5.173: Betrieb 6; Probe 32; Fläche F8/1; Brunnen 1;
Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)**



5.2.4.15 Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3

Die Erfassung der Niederschlagsgänge erfolgte auf Fläche F8/3.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.174)

Der pH-Wert des Grundwassers schwankt zwischen 7,0 und 7,7. Die elektrische Leitfähigkeit liegt zwischen 1000 und 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Chlorid und Sulfat (Abb. 5.175) Die Chlorid-Konzentrationen liegen im Bereich um 50 mg/l und schwanken nur gering.
Die Sulfat-Konzentrationen variieren sehr stark und liegen im Winterhalbjahr über dem Grenzwert nach TVO.

Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.176) Ammonium zeigt über die Herbstmonate 1999 eine Aufkonzentrierung, die zum Ende des Jahres wieder abnimmt. Im gleichen Zeitraum sinkt und steigt das Grundwasser. Die Werte liegen über dem Grenzwert. Im Sommer/Herbst 2000 steigen die Werte stark an.

Nitrat ist nur in geringen Konzentrationen vorhanden und verläuft erwartungsgemäß, aufgrund höherer Nitrifikationsraten.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.177)

o-Phosphat ist nicht messbar.

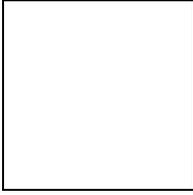
DOC zeigt einen geringen Anstieg über die Wintermonate 99/00. Danach steigt der Wert an. Die Messungen beginnen erst wieder nach dem Hochwasser. Es ist zu vermuten, dass das ansteigende Grundwasser zu einem Anstieg des DOC-Wertes führt. Zu Beginn der Messung nach dem Hochwasser ist der DOC sehr hoch, fällt aber mit absinkendem Grundwasser.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.178)

Calcium und Magnesium haben einen identischen Verlauf, unterscheiden sich aber in den Konzentrationen. Die übrigen Parameter verlaufen ähnlich der Fläche F8-4.

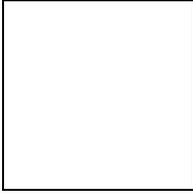
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.174: Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW)**



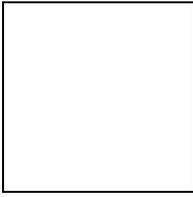
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.175: Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2;
Chlorid, Sulfat (GW)**



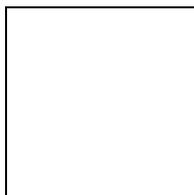
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.176: Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2;
Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



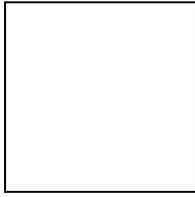
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.177: Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2;
Ortho-Phosphat, DOC (GW)**



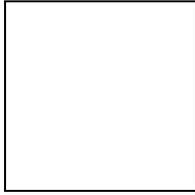
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.178: Betrieb 6; Probe 33; Fläche F8/3; Brunnen 2;
Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)**



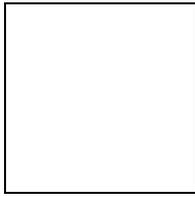
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.104: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



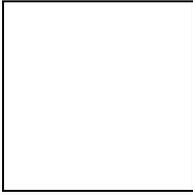
5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.105: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12; Chlorid, Sulfat (BW, GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.106: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



**Abb. 5.107: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**

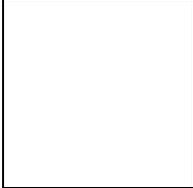
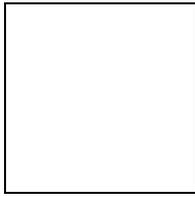


Abb. 5.108: Betrieb 1; Probe 3; Fläche C5 S' Teil; Saugkerzen 1,2,3; Brunnen 12; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.2 Fläche C5 N' Teil

Betrieb 1;

Die Erfassung des Niederschlages erfolgte auf Fläche C5 S' Teil.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.109)

Im Bodenwasser sinkt der pH-Wert in den Herbstmonaten aufgrund abnehmender mikrobieller Aktivität ab, allerdings ist kein deutlicher Anstieg in den Sommermonaten 2000 zu verzeichnen. Die elektrische Leitfähigkeit zeigt mit erhöhten Niederschlagswerten im Sommer 2000 einen Anstieg.

Der pH-Wert im Grundwasser nimmt ebenfalls im Jahr 1999 über die Herbst- und Wintermonate hinweg ab und steigt im Sommer 2000 von 7,3 bis auf ein Maximum von 8,2 im August an. Die elektrische Leitfähigkeit sinkt mit steigendem Grundwasser. Nach der Überflutung und der Wiederaufnahme der Beprobung sind die Anfangswerte des vorangegangenen Winters wieder erreicht und unterliegen danach nur geringen Schwankungen.

Chlorid und Sulfat (Abb. 5.110)

Im Bodenwasser zeigen beide Parameter einen parallelen Verlauf zur Niederschlagskurve. Sie sinken zu Beginn des Hochwassers und steigen mit Absinken des Grundwassers. Dieser Verlauf ist auch im Grundwasser zu sehen.

Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.111)

Im Bodenwasser sind keine besonderen Schwankungen zu sehen. Die erhöhten Werte der Saugkerze 6 für Ammonium können im Vergleich zu den beiden anderen Kerzen Fehlmessungen sein.

Im Grundwasser ist zu Beginn des ansteigenden Grundwassers erneut ein erhöhter Nitritwert oberhalb des Grenzwertes zu beobachten. Die Nitrat- und Ammoniumwerte zeigen in den Sommermonaten einen ähnlichen Verlauf. Nach einem Anstieg im Juli sinken die Konzentrationen im August und steigen im Oktober wieder deutlich an. Die Ammoniumwerte übersteigen dabei den Grenzwert von 0,5 mg/l nach TVO.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.112)

Die DOC-Werte steigen im Bodenwasser gemäß der Erwartung in den Sommermonaten an, im Winterhalbjahr sinken sie. Die DOC-Werte im Grundwasser sind in den Wintermonaten geringer im Vergleich zu den vorliegenden Daten in den Sommermonaten.

Die Phosphorwerte im Bodenwasser zeigen einen Trend. In den Wintermonaten sind sie erhöht und sinken bis zu den Herbstmonaten.

Im Grundwasser sind keine nennenswerten o-Phosphatwerte zu registrieren.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.113)

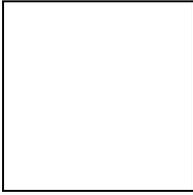
Die Kaliumwerte steigen lediglich in den Herbstmonaten kurz an. Der weitere Verlauf ist nicht bekannt aufgrund mangelnder Daten.

5. Darstellung der Ergebnisse

Im Grundwasser verlaufen die Kaliumwerte relativ gleich. Lediglich in den Sommermonaten kommt es zu einer leichten Erhöhung. Die Magnesiumwerte sinken mit steigendem Grundwasser und zeigen nach der Überflutung einen relativ konstanten Wert. Phosphor ist in den Wintermonaten stark angestiegen, die Kurve verläuft im Sommerhalbjahr 2000 relativ konstant.

5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.109: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.110: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Chlorid, Sulfat (BW, GW)

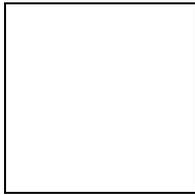


Abb. 5.111: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)

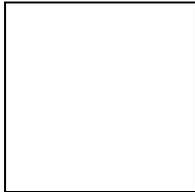


Abb. 5.112: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)

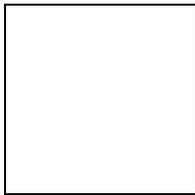
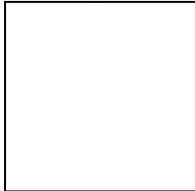


Abb. 5.113: Betrieb 1; Probe 4; Fläche C5 N' Teil; Saugkerzen 4,5,6; Brunnen 13; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.3 Betrieb 1, Fläche C7

Die Erfassung des Niederschlages erfolgte auf Fläche C5 S' Teil.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.114)

Der pH-Wert im Grundwasser bleibt über den gesamten Betrachtungszeitraum relativ konstant mit Werten zwischen 6,5 bis 7,5.

Die elektrische Leitfähigkeit schwankt im Jahrgang relativ gleichmäßig zwischen 200 und 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Die Chlorid- und Sulfatwerte im Grundwasser verlaufen exakt mit dem jeweiligen Grundwasserstand, d.h sie steigen mit erhöhtem Grundwasserspiegel und sinken bei abnehmendem Grundwasserstand. Sulfat zeigt dabei einen stärkeren Anstieg bei einsetzendem Hochwasser als Chlorid.

In den Herbstmonaten beider Jahre gibt es einen kurzfristigen starken Anstieg der Ammonium- und Nitritkonzentrationen. Nitrat ist nicht nachweisbar.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.117)

Im Winterhalbjahr sind erhöhte DOC und o-Phosphat-Werte zu sehen. Ein Anstieg ist aber auch in den Sommermonaten zu beobachten.

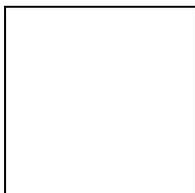
Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.118)

Kalium hat einen sehr ungleichen Verlauf, zumindest in den vergleichbaren Monaten der beiden Jahre. Im Sommer 1999 liegen höhere Werte vor, als im Sommer 2000. Die Magnesiumwerte verlaufen relativ gleichbleibend.

Phosphor ist in beiden Jahren im Sommer/Herbst und im Wintermonat Januar stark angestiegen.

Abb. 5.114: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.115: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

Chlorid, Sulfat (GW)

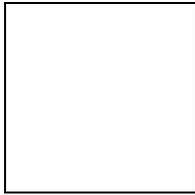


Abb. 5.116: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)

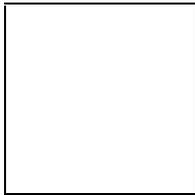
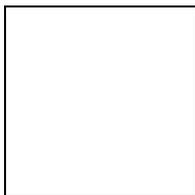


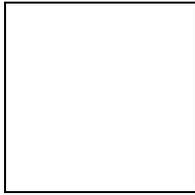
Abb. 5.117: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

Ortho-Phosphat, DOC (GW)

Abb. 5.118: Betrieb 1; Probe 7; Fläche C7; Brunnen 14;

Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)





5.2.4.4 Betrieb 1, Fläche C28

Die Erfassung des Niederschlages erfolgte auf Fläche C5 S' Teil.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.119)

Die Daten der Saugkerze 9 zeigen einen Anstieg des pH-Wertes während des Hochwassers auf über 8,5. Die elektrische Leitfähigkeit unterliegt kaum Schwankungen, sofern die Daten für eine Aussage ausreichend sind.

Im Grundwasser steigt der pH-Wert mit ansteigendem Grundwasser im Frühjahr 2000 um ca. 1,5 pH-Einheiten an. Danach fällt er um die gleiche Größe bis zum Juni 2000 und steigt dann wieder um den gleichen Wert. Die hohen pH-Werte sind jahreszeitlich normal.

Die elektrische Leitfähigkeit im Grundwasser steigt ab März 2000 bis September 2000 kontinuierlich an.

Chlorid und Sulfat zeigen im Bodenwasser über den Betrachtungszeitraum sowohl einen fast gleichen Verlauf, als auch fast gleiche Konzentrationen auf. Die Sommerwerte liegen dabei niedriger als die Herbstwerte.

Beide Parameter nehmen zunächst mit ansteigendem Grundwasser ab und steigen danach mit langsam fallendem Grundwasserspiegel auch langsam wieder an.

Im Bodenwasser liegen die Nitratwerte im Winter höher als in den Frühjahrsmonaten. Die Ammoniumwerte zeigen einen ähnlichen Verlauf. Insgesamt sind die Konzentrationen sehr gering.

Im Grundwasser liegen ca. 45 % aller Nitratwerte über dem Grenzwert nach TVO. Diese Überschreitungen findet man im Sommerhalbjahr 2000. Ein kurzzeitiges Absinken ist während des erhöhten Grundwasserstandes festzustellen. Erst im August 2000 liegt der Nitratwert wieder unterhalb des Grenzwertes.

Die Ammoniumwerte steigen erstmals im Juli 2000 an und erreichen das Maximum im September 2000. Zu diesem Zeitpunkt sind die Nitratwerte auf dem Tiefststand.

Die Nitritwerte sind im gesamten Zeitraum nicht nachweisbar. Einzige Ausnahme ist der Juliwert, der um das 80-fache über dem Grenzwert (0,1 mg/l nach TVO) liegt.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.122)

Die Phosphorwerte liegen in den Wintermonaten deutlich geringer als in den Frühjahrs- und Sommermonaten.

o-Phosphat ist im Grundwasser nicht nachweisbar.

Die DOC-Werte nehmen zunächst bis zum März 2000 ab, steigen dann aber kontinuierlich an. Der gleiche Verlauf ist für DOC im Grundwasser zu verzeichnen.

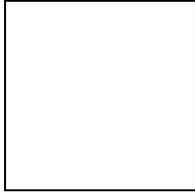
Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.123)

Sowohl im Bodenwasser als auch im Grundwasser ist ein ähnlicher Verlauf der Konzentrationen von Kalium und Calcium zu sehen. Die Konzentrationen sind im Bodenwasser und im Grundwasser ähnlich.

Bei beiden Parametern nehmen die Werte zunächst ab und steigen im Verlauf des Jahres 2000 kontinuierlich an. Im Herbst fallen die Werte wieder.

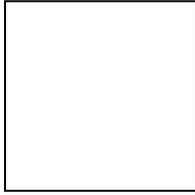
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.119: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



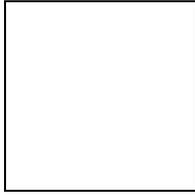
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.120: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11;
Chlorid, Sulfat (BW, GW)**



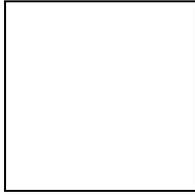
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.121: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



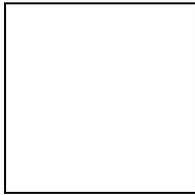
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.122: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.123: Betrieb 1; Probe 10; Fläche C28; Saugkerzen 8,9,10; Brunnen 11; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.5 Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a

Die Erfassung der Niederschläge erfolgte auf Fläche R7.

Die Niederschlagskurve, die für alle Flächen des Betriebes 4 gilt, zeigt Schwankungen im Herbst 1999. Starke Niederschläge, die auch dem Hochwasserereignis entsprechen sind über die Wintermonate 99/00 und im Sommer 2000 zu verzeichnen.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.124)

Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen Chlorid und Sulfat (Abb. 5.125) getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.126) getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.127)

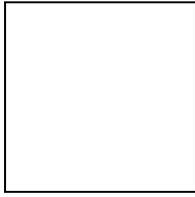
Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.128)

Zu den Daten im Grundwasser können keine Aussagen getroffen werden, da die Datenmenge nicht ausreichend ist.

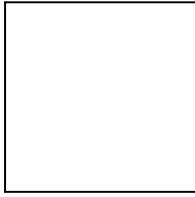
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.124: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (GW)**



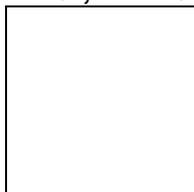
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.125: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4;
Chlorid, Sulfat (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.126: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4;
Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.127: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4;
Ortho-Phosphat, DOC (GW)**

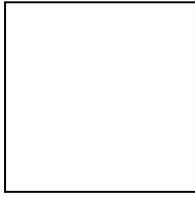
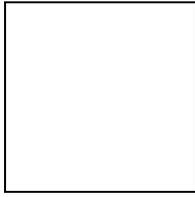


Abb. 5.128: Betrieb 4; Probe 14; Fläche R2a; Brunnen 4; Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.6 Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil

Die Erfassung der Niederschläge erfolgte auf Fläche R7.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.129)

Bei dieser Fläche ist der pH-Wert im Bodenwasser im Winterhalbjahr höher als im Sommerhalbjahr, bzw. die Werte sinken im Laufe des Jahres ab.

Die elektrische Leitfähigkeit ist im Herbst 99 niedrig. Ab Dezember 99 steigt die Leitfähigkeit bis Ende 2000 kontinuierlich an.

Die Parameter im Grundwasser zeigen ein kurzes Absinken während des ansteigenden Grundwassers im Frühjahr.

Beide Parameter zeigen ab den Wintermonaten einen stetigen Anstieg über die Sommermonate bis zum Juni 2000. Danach sinken die Konzentrationen zum Winter hin.

Im Grundwasser ist während des ansteigenden Grundwassers ein kurzzeitiges Absinken der Werte zu verzeichnen.

Diese Fläche zeigt eine sehr starke Belastung mit Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.131) Nitrat im Bodenwasser. Der Grenzwert nach TVO wird über den gesamten Betrachtungszeitraum permanent überschritten. In 2000 ist ab

Jahresbeginn eine ständig steigende Konzentration zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu ist kaum Ammonium im Bodenwasser zu verzeichnen.

Im Grundwasser sind erhöhte Nitritwerte im Oktober 2000 zu finden. Nitrat und Ammonium verlaufen in den üblichen Bahnen (Stoffwechsel und Mineralisation).

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.132)

Phosphor und DOC ist im Bodenwasser entsprechend den üblichen Verläufen.

Im Grundwasser ist im Frühjahr 2000 ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

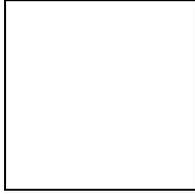
Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.133)

Das Bodenwasser der Fläche zeigt sehr geringe Kaliumwerte. Diese verlaufen über das Winterhalbjahr sehr niedrig und steigen über das Sommerhalbjahr leicht an. Calcium steigt im gesamten Jahr 2000 stetig an und sinkt erst zum Herbst 2000 ab

Das Grundwasser zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die anderen Parameter.

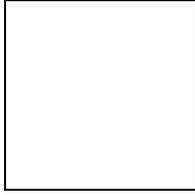
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.129: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13;
Brunnen 7;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



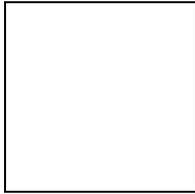
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.130: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13;
Brunnen 7;
Chlorid, Sulfat (BW, GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.131: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13;
Brunnen 7;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.132: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13;
Brunnen 7;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**

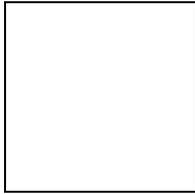
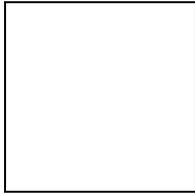


Abb. 5.133: Betrieb 4; Probe 17; Fläche R16a SW'-Teil.; Saugkerzen 11,12,13; Brunnen 7; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.7 Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d

Die Erfassung der Niederschläge erfolgte auf Fläche R7.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.134)

Der pH-Wert im Bodenwasser fällt in den Sommermonaten Juli/ August 1999 ab. Die ersten Daten der Analytik in Juni 2000 zeigen einen pH-Wert von 7,7. Die Werte fallen danach sehr schnell auf 6,3 im August ab und steigen mit Beginn der Wintermonate erneut an. Das Absinken des pH-Wertes ist möglicher Weise auf Protoneneinträge durch starke Niederschläge im Winterhalbjahr zurückzuführen.

Die elektrische Leitfähigkeit im Bodenwasser schwankt in 2000 zwischen 200 und 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Mit ansteigendem Grundwasser sinkt der pH-Wert. Weitere Aussagen sind aufgrund der wenigen Messdaten nicht möglich. Gleiches gilt für die elektrische Leitfähigkeit.

Im Bodenwasser sind im Herbst 1999 relativ geringe Chlorid und Sulfat (Abb. 5.135) Chloridkonzentrationen zu verzeichnen. Die Werte steigen im Sommer 2000 kurz an und verlaufen dann wieder im Bereich um 10 – 15 mg/l.

Die Sulfat-Werte steigen im Sommer 1999 stark an und erreichen fast den Grenzwert nach TVO. Nach dem Hochwasserereignis im Frühjahr 2000 sind die Werte zunächst niedrig, steigen dann aber bis zum Herbst wieder an. Während des Hochwassers überschreiten sie den Grenzwert nach TVO.

Das Grundwasser zeigt für die beiden Parameter einen ähnliches Konzentrationsverhältnis wie das Bodenwasser.

Die Fläche zeigt im Bodenwasser geringe Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.136) Nitratgehalte. Der Maximalwert liegt bei ca. 22 mg/l. Erwartungsgemäß steigen die Nitratwerte im Sommerhalbjahr 2000 an und sinken zum Herbst

wieder. Die Ammoniumwerte liegen auch unterhalb des Grenzwertes. Die Datenmenge reicht für weitere Aussagen nicht aus.

Im Grundwasser ist nur ein Spitzenwert von 0,6 mg/l Nitrit zu erwähnen. Dieser Wert tritt während des Hochwassers kurzfristig auf. Für Ammonium liegen zu wenig Daten vor.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.137)

Die vorhandenen Daten für Phosphor im Bodenwasser sind nicht ausreichend.

Die DOC-Werte verlaufen ohne wesentliche Schwankungen in sehr geringen Konzentrationen.

Die Werte von DOC im Grundwasser sinken während des Hochwassers kurz ab. Weitere Daten liegen nicht vor.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.138)

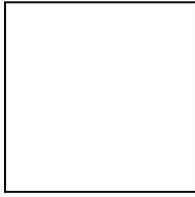
5. Darstellung der Ergebnisse

Im Bodenwasser sinken die Kaliumwerte im Sommer 2000 ab und steigen zum Herbst wieder leicht an. Die Calciumwerte steigen im Sommer 99 stark an. Die weiteren Daten im Sommer 2000 verlaufen ähnlich.

Im Grundwasser ist lediglich Phosphor nennenswert. Die Werte sinken sehr schnell mit steigendem Grundwasser.

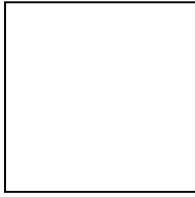
5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.134: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)



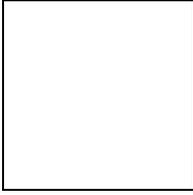
5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.135: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Chlorid, Sulfat (BW, GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.136: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.137: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)

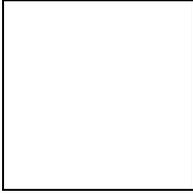
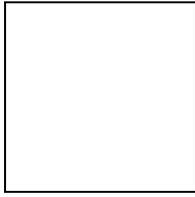


Abb. 5.138: Betrieb 4; Probe 18; Fläche R2d; Saugkerzen 14,15,16; Brunnen 6; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.8 Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7

Die Erfassung der Niederschläge erfolgte auf Fläche R7.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.139)

Der pH-Wert im Bodenwasser sinkt über die Wintermonate 1999/2000 stark ab. Gleichzeitig sind sehr starke Niederschläge zu verzeichnen. Demgegenüber ist die elektrische Leitfähigkeit ist sehr gering.

Die Grundwasserwerte für beide Parameter sinken während des ansteigenden Grundwasser ab und steigen mit abnehmendem Grundwasser wieder an.

Diese Fläche hat auch geringe Chloridwerte im Chlorid und Sulfat (Abb. 5.140) Bodenwasser. Im Vergleich zur Niederschlagskurve sinken die Werte bei steigender Niederschlagsmenge.

Die Sulfatkonzentrationen liegen höher als die des Chlorids, aber unterhalb des Grenzwertes. Die Werte steigen im Winterhalbjahr an und beginnen dann wieder zu sinken.

Im Grundwasser kann man ein Absinken der beiden Parameter während des ansteigenden Grundwassers verzeichnen.

Im Bodenwasser steigen die Nitratwerte im Winter leicht an und sinken wieder im Frühjahr. Die Ammoniumwerte sind sehr gering und zeigen kaum Schwankungen.

Im Grundwasser sind weder Nitrat noch Nitritwerte zu verzeichnen.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.142)

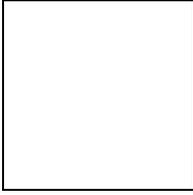
Im Bodenwasser sinken die Parameter während des aufsteigenden Grundwassers. Im steigenden Grundwasser ist ein starker Anstieg von DOC zu verzeichnen.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.143)

Die Ergebnisse der drei Saugkerzen sind so different, das eine Aussage nicht möglich ist. Im Grundwasser verlaufen die Parameterwerte erwartungsgemäß.

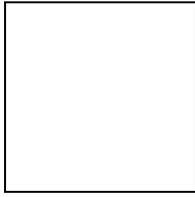
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.139: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW, GW)**



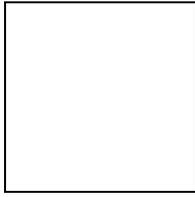
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.140: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5;
Chlorid, Sulfat (BW, GW)**



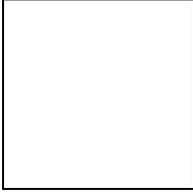
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.141: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5;
Nitrat, Ammonium (BW); Nitrat, Ammonium, Nitrit (GW)**



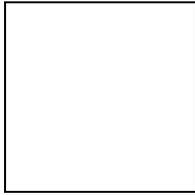
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.142: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5;
DOC, Phosphor (BW); Ortho-Phosphat, DOC (GW)**



5. Darstellung der Ergebnisse

Abb. 5.143: Betrieb 4; Probe 19; Fläche R7; Saugkerzen 17,18,19; Brunnen 5; Kalium, Calcium (BW); Kalium, Magnesium, Phosphor (GW)



5.2.4.9 Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32

Die Erfassung der Niederschlagsgänge erfolgte auf Fläche R7

Diese Fläche wurde nur mit Saugkerzen beprobt, es gibt hierzu keine Grundwassermessungen.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (Abb. 5.144)

Der pH-Wert steigt zum Beginn 2000 stetig an. Die elektrische Leitfähigkeit sinkt in diesem Zeitraum um 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Beide Parameter zeigen den gleichen Verlauf und liegen Chlorid und Sulfat (Abb. 5.145) auch beide im gleichen Konzentrationsbereich. Die Konzentrationen sind sehr gering.

Die Nitratwerte sind sehr hoch, sie erreichen zeitweise den Grenzwert. Sie steigen im Winterhalbjahr an und sinken zum Sommer hin ab.

Nitrit, Nitrat und Ammonium (Abb. 5.146)

Ammonium ist kaum nachweisbar.

Phosphor und DOC (o-Phosphat im Grundwasser) (Abb. 5.147)

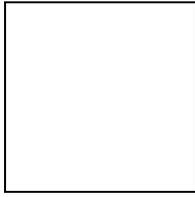
Die Phosphorwerte sinken über das Winterhalbjahr bis zum Sommer 2000. DOC hat einen ähnlichen Verlauf wie die Niederschlagsmengen.

Kalium, Calcium (Kalium, Magnesium und P im Grundwasser) (Abb. 5.148)

Beide Parameter sinken vom Jahresbeginn 2000 bis zu Sommer. Weitere Daten liegen nicht vor.

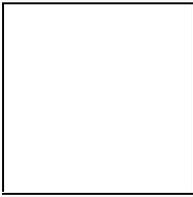
5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.144: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (BW)**

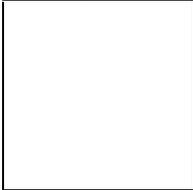


5. Darstellung der Ergebnisse

**Abb. 5.145: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
Chlorid, Sulfat (BW)**



**Abb. 5.146: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
Nitrat, Ammonium (BW)**



**Abb. 5.147: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22;
DOC, Phosphor (BW)**

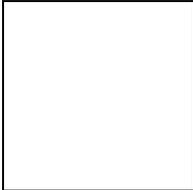
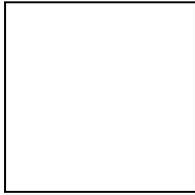


Abb. 5.148: Betrieb 4; Probe 20; Fläche R32; Saugkerzen 20,21,22; Kalium, Calcium (BW)



5.3 Verknüpfung der Boden-, Bodenwasser- und Grundwasserdaten mit Nutzungsarten und Überflutungsereignissen

Die Datengrundlage für die nachstehende zusammenfassende Ergebnisdarstellung ist dem Anhang 2.5 zu entnehmen.

Probe 2: Nachweide (C1f)

Die Fläche wurde mineralisch und organisch gedüngt. Insgesamt ist der Versorgungsstand an den Hauptnährstoffen *hoch* bis *sehr hoch*. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der Untergrund besteht aus einer schluffig-sandigen Abfolge, die ab 1 m Tiefe in einen mächtigen Mittelsand übergeht. Die Wasserdurchlässigkeit ist aufgrund der ermittelten Bodenart *hoch* bis *sehr hoch*, mit einer anfangs *mittleren* und ab 50 cm Tiefe *geringen* FK. Die Feldkapazität im oberen Bodenmeter ist mit rund 256 l/m³ als *gering* einzustufen.

Aufgrund der *sehr geringen* Sickerwassermenge und der als *günstig* eingestuften Denitrifikations-Kapazität ist die Auswaschungsgefährdung insgesamt als *gering* klassifiziert worden.

Probe 3: Schnittwiese (C5, S' Teil)

Die Fläche steht unter Vertragsnaturschutz, d.h. 60 kg N sind zum 2. Schnitt erlaubt. Im Jahr 1999 erfolgte der erste Schnitt Anfang Juli, der zweite Ende September. Phosphor und Kalium sind über den gesamten Beprobungszeitraum im Mangel, während Magnesium im überversorgten Bereich liegt. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Vorherrschend sind ein schluffiger Lehm (bis 50 cm Tiefe) und ein lehmiger Sand, die zwischen 1-1,4 m in einen mächtigen Mittelsand übergehen. Die obersten 50 cm sind durch eine *hohe* FK und eine *mittlere* Wasserdurchlässigkeit geprägt, wohingegen von 50-100 cm Tiefe die FK als *mittel* einzustufen ist und gleichzeitig der kf-Wert zunimmt. Die berechnete Feldkapazität liegt bei 386 l/m³ * 10 dm und ist als *mittel* einzustufen.

Im Hinblick auf die Bodeneigenschaften ist in den obersten 50 cm eine gewisse Rückhaltefähigkeit gegeben. Gelangen Stoffe jedoch durch diese Schicht, können sie schnell in den Untergrund gelangen.

Insgesamt wird die Gefahr der Auswaschungs als *gering* eingestuft.

Geringe Phosphor- und Kaliumwerte sind auch im Bodenwasser und Grundwasser zu finden. Eine Versorgung durch das Grundwasser mit diesen Nährstoffen ist nicht zu erwarten. Nitrat ist sowohl im Bodenwasser als auch im Grundwasser nicht in signifikanten Mengen vorhanden. Das Grundwasser ist kurzfristig mit hohen Nitritwerten zum Hochwasserereignis belastet.

Probe 4: Schnittwiese (C5, N' Teil)

Die Fläche steht unter Vertragsnaturschutz, d.h. 60 kg N sind zum 2. Schnitt erlaubt. Im Jahr 1999 erfolgte der erste Schnitt Anfang Juli, der zweite Ende September. Phosphor ist über den gesamten Beprobungszeitraum im Mangel, während Magnesium im überversorgten Bereich liegt. Die Kaliumversorgung ist 1999 als *mittel*, im Jahr 2000 als *optimal* einzustufen. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

5. Darstellung der Ergebnisse

Der tonige Oberboden (Tu2) ist *stark humos* mit einer *hohen* KAK. Insgesamt ist der Untergrund sehr schluffig, wird ab 50 cm Tiefe jedoch sandiger. Bis in 1 m Tiefe liegt die FK im *hohen* Bereich (FK 419 l/m³), die Wasserdurchlässigkeit im *mittleren* Bereich, so daß die Auswaschungsgefahr von Schadstoffen in den Untergrund eher gering ist. Bei der Tiefenbohrung wurden 1 m mächtige Fein- bis Mittelsande ab 1,7 m Tiefe erbohrt.

Der N_{min}-Gehalt von 65 kg/ha (Probe 4: Frühjahr 1999) ist als sehr hoch einzustufen und hängt wahrscheinlich mit der Probenahme zusammen. Im Herbst sind die Gehalte mit 5-7 kg N_{min}/ha auf beiden untersuchten Teilflächen vergleichbar gering.

Im Bodenwasser der Proben 3/4 zeichnet sich ein leichter Anstieg von Chlorid, im Grundwasser ein Anstieg der Magnesium-, Sulfat-, Chlorid- und Natriumgehalte nach der Überflutung (März/April 2000) ab. Kalium und Ammonium liegen in extrem hohen Konzentrationen (Probe 3) nach der Überflutung vor, werden aber bis zum Julitermin abgebaut. Ein geringfügiger Austrag von Nitrat, Chlorid, Sulfat, Calcium, Phosphor mit dem Bodenwasser ist vor allem im Januar 2000 festzustellen.

Probe 5/6: Schnittwiese (C6)

Die Fläche steht unter Vertragsnaturschutz, d.h. 60 kg N sind zum 2. Schnitt erlaubt. Im Jahr 1999 erfolgte der erste Schnitt Anfang Juli, der zweite Ende September. Für Phosphor liegt eine deutliche Unterversorgung über den gesamten Zeitraum vor. Die Kaliumgehalte liegen zumindest im Jahr 2000 im *optimalen* Bereich, die Magnesiumgehalte jedoch deutlich über den anzustrebenden Werten. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der Untergrund ist bis in 50 cm Tiefe schluffig-tonig ausgebildet. Im Grabenbereich sind die Ablagerungen ab 50 cm sandiger, am Feldrand erst ab 65 cm Tiefe. Darunter folgt ein mächtiger Mittelsand mit z. T. tonigen Einschaltungen. Die KAK im Oberboden wird als *sehr hoch* eingestuft.

Der N_{min}-Gehalt liegt mit Ausnahme bei der ersten Probe unter 13 kg/ha.

Probe 7: Schnittwiese (C7)

Die Fläche steht unter Vertragsnaturschutz, d.h. 60 kg N sind zum 2. Schnitt erlaubt. Phosphor und Kalium liegen im leicht unterversorgten Bereich, Magnesium ist mehr als ausreichend vorhanden. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Die KAK des tonig-lehmigen Oberbodens ist *hoch*. Bereits ab 55 cm Tiefe ist die Wasserdurchlässigkeit *sehr hoch* und der Boden sandig mit einer *geringen* FK. Für den oberen Bodenmeter wurde eine FK von 375 l/m³ berechnet. Ab 2 m Tiefe liegt ein mindestens 1 m mächtiger Tonhorizont vor. Der Grundwasserspiegel liegt jedoch oberhalb der dichtenden Tonschicht, so daß eine Nitratauswaschung grundsätzlich möglich ist. Die Gefährdung des Grundwassers durch die Auswaschung von Stickstoffverbindungen wird mit *gering* eingestuft.

Die Analysen des Grundwassers zeigen keinerlei Nitratbelastung. Allerdings kann ein Zusammenhang zwischen der erlaubten N-Düngung, der Wasserdurchlässigkeit und den sehr hohen Ammoniumwerten im Grundwasser hergestellt werden. Die kurzfristigen Spitzenwerte von über 50 mg/l (Grenzwert nach TVO: 0,5 mg/l) treten im September 1999 und Juli 2000 auf. Die Werte sinken sehr schnell wieder ab. Im Juli 2000 tritt auch ein stark erhöhter o-Phosphatwert im Grundwasser auf. Die Phosphormessungen ergeben zu beiden oben genannten Terminen auch deutlich überhöhte P-Werte.

Probe 8/9/10: Acker/Brache C28

Die Ackerfläche wurde 1999 mehrfach mit Stickstoff gedüngt; im Jahr 2000 wurde die Fläche als Brache genutzt. Die Fläche wird nicht überflutet, liegt aber im Einflußbereich von Qualmwasser.

Der Untergrund besteht bis in 1 m Tiefe aus Sand, der z.T. lehmig ausgebildet ist. Darunter tritt ab 1,2 bis 2,8 m Tiefe eine mächtige tonige Lage (> 1 m) mit hohem Rückhaltevermögen auf. Im oberen Bodenmeter liegt mit 290 bzw. 327 l/m³ eine *mittlere* FK vor, die KAK ist als

5. Darstellung der Ergebnisse

gering bis *mittel* einzustufen. Die Wasserdurchlässigkeit ist durchweg *hoch*. Der Oberboden weist einen *geringen* Anteil an organischer Substanz auf. Demzufolge ist die Auswaschungsgefährdung der Probe 9 mit *mittel* und die der Probe 10 mit *gering* eingestuft worden.

Die pflanzenverfügbaren Mineralstoffmengen liegen auf dem Acker in unterschiedlicher Verteilung vor (K und P im NE am höchsten, Mg im SW am höchsten), wobei die Gehalte eher zu hoch liegen.

Nach der Düngung im Frühjahr 1999 wurden auf dem nordöstlichen Teil der Fläche 40 kg N_{\min} /ha, ansonsten um die 50 kg N_{\min} /ha gemessen. Der Restnitratgehalt im Herbst 1999 liegt bei 10 kg/ha liegen.

Das Bodenwasser zeigt leicht erhöhte Nitratkonzentrationen (50 mg/l) im Juni/Juli 1999. Von Dezember bis Juli 2000 liegen nur sehr geringe Konzentrationen (< 10 mg/l) vor. Mit Beginn der Grundwasser-Messungen im Februar 2000 liegen sehr hohe Konzentrationen vor (Nitrat 100 mg/l). Direkt nach dem Hochwasser im Februar liegen mit den Märzwerten deutlich geringere Konzentrationen vor (Nitrat 40 mg/l), die jedoch im April wieder ansteigen (Nitrat bei 90 mg/l). Die im Bodenwasser gemessenen hohen Nitratkonzentrationen im Sommer 1999 sind ein Effekt der Nitrat-Düngung im Frühjahr 1999. Da im Herbst nur noch geringe Restmengen an N_{\min} vorliegen, lassen sich die hohen Nitratkonzentrationen im Grundwasser während des Winters 1999/2000 nicht durch Einträge aus dem Oberboden der untersuchten Fläche erklären.

- Bodenwasser: Juli 1999 Nitrat, Chlorid, Sulfat mit vergleichsweise hohen Gehalten
- Grundwasser: Nitrat von Februar bis Juli 2000 um 100 mg/l, Ausnahme März (direkt nach Hochwasser)
- Grundwasser im März 2000 bei 35 cm unter Flur

Von Februar bis Juli 2000 liegen sehr hohe Nitratgehalte im Grundwasser vor, während im Bodenwasser in diesem Zeitraum nur minimale Gehalte gemessen wurden. Höhere Gehalte im Bodenwasser (Juni-Juli 1999) lassen sich aufgrund fehlender Messwerte bei trocken gefallen Grundwasserbrunnen nicht im Grundwasser verfolgen.

Probe 11: Hofweide R9

Die Fläche wurde gegüllt und mineralisch gedüngt. Im Frühjahr wird der Boden durch Staunässe geprägt. Die Kaliumgehalte schwanken zwischen *mittel* und *optimal*, Magnesium ist als *besonders hoch* einzustufen, Phosphor als *niedrig*.

Die KAK im sandig-tonigen Lehm des Oberbodens ist *sehr hoch*. Mit der Tiefe nimmt der Sandgehalt zu; ab 40 cm Tiefe liegt bereits reiner Sand mit einer *äußerst hohen* Wasserdurchlässigkeit sowie einer *mittleren* FK vor. Die Feldkapazität im oberen Bodenmeter liegt bei 405 l/m³ und ist insgesamt als *hoch* einzustufen. Die N-Auswaschungsgefahr ist insgesamt als *gering* eingestuft worden.

Probe 12/13: Allmendweide R1

Die Fläche wird nicht gedüngt, aber als Weide genutzt. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst. Die Phosphor- und Magnesiumgehalte liegen *besonders hoch*, die Kaliumversorgung ist *mittel*. Die Nährstoffversorgung bleibt über das ganze Jahr hinweg relativ konstant.

Der lehmige Oberboden hat eine *sehr hohe* bis *äußerst hohe* KAK sowie einen *sehr hohen* Humusgehalt, so daß dort Rückhaltefunktionen möglich sind. Bereits ab 23 cm Tiefe tritt ein schwach lehmiger Sand mit einer *sehr hohen* Wasserdurchlässigkeit auf, der ab 50 cm Tiefe in einen Mittelsand mit *äußerst hoher* Wasserdurchlässigkeit übergeht. Die FK geht von *hoch* auf *sehr gering* zurück. Die gesamte Feldkapazität für den oberen Bodenmeter liegt bei 260 l/m³ und ist somit genau im Grenzbereich zwischen *gering* und *mittel* anzusiedeln. Die Tiefenbohrung zeigt, daß der Mittelsand bis in eine Tiefe von mindestens 2 m auftritt.

5. Darstellung der Ergebnisse

Unterhalb des lehmigen Oberbodens bieten die Ablagerungen kein Rückhaltepotential für Schadstoffe. Die Gefahr der Nitratauswaschung wurde mit *gering-mittel* berechnet.

N_{\min} liegt im Frühjahr 1999 bei 40 bzw. 52 kg/ha und geht zum Herbst auf 14 kg/ha zurück. Die Nitratgehalte liegen höher als auf den Wiesen, wobei die Gehalte im Frühjahr am höchsten sind (mit 1,8 bzw. 0,8 mg/100 g).

Probe 14: Schnittwiese, Nachweide R2a

Während der Nationalparkzeit wurde keine Düngung durchgeführt. Im Jahr 1999 lagen die Mahdtermine Anfang Juni und Ende August. Der Mg-Vorrat ist *besonders hoch*, die Kalium- und Phosphorvorräte sind als *mittel* einzustufen. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der schluffig-tonige Oberboden hat eine *hohe* KAK und ist *stark humos*. Darunter folgt bis in eine Tiefe von 50 cm eine sandige Abfolge, die eine *hohe* FK und einen *mittleren* kf-Wert hat. Ab 50 cm Tiefe wird die Abfolge toniger. Der Horizont weist *hohe* bis *sehr hohe* Lagerungsdichten und *geringe* Wasserdurchlässigkeiten auf. Darunter folgt ein Mittelsand, der bis in 285 cm Tiefe reicht. Hier ist die FK *gering* und der kf-Wert *äußerst hoch* einzustufen. Die Feldkapazität beträgt $395 \text{ l/m}^3 \cdot 10 \text{ dm}$ und ist als *hoch* einzustufen. Das Auswaschungsrisiko oberhalb des Sandhorizontes ist eher gering, im Sandhorizont dagegen sehr hoch einzustufen. Insgesamt liegt eine als *gering-mittel* eingestufte Auswaschungsgefahr vor.

Die N_{\min} -Gehalte sind im April 1999 sowie im Juli 2000 leicht erhöht, liegen ansonsten unter 11 kg/ha. Im Winter wurde keine N-Auswaschung beobachtet.

Mit dem Absinken des Grundwasserspiegels nach dem Hochwasser im Frühjahr 2000 liegen im Mai 2000 erhöhte Gehalte für Chlorid, Sulfat und Natrium vor. Alle anderen Parameter sind unauffällig.

Probe 15: Schnittwiese, Nachweide R2c

Während der Nationalparkzeit wurde keine Düngung durchgeführt. Im Jahr 1999 lagen die Mahdtermine Anfang Juni und Ende August. Die Versorgung mit Kalium liegt im *mittleren* Bereich, die mit Magnesium im *besonders hohen* Bereich. Die gemessenen Phosphorgehalte schwanken sehr stark und sind im Jahr 1999 als *mittel*, im Jahr 2000 als *besonders hoch* einzustufen. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen beziehungsweise hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der schluffige Boden hat bis in 1 m Tiefe ein gutes Rückhaltevermögen (FK4) und mittlere Filtereigenschaften (kf3). Darunter liegt ein unterschiedlich mächtig ausgeprägter Ton (Tu4), der zuerst stark schluffig und dann schwach sandig wird. Ab ca. 2 m Tiefe wird ein Mittel- bis Grobsand angetroffen. Die Auswaschungsgefahr wurde mit *gering* klassifiziert.

Die N_{\min} -Gehalte sind im April 1999 leicht erhöht, liegen ansonsten unter 12 kg/ha.

Probe 16/17: Acker R16a

1999 wurde Mais angebaut, im Jahr 2000 Sommergerste. Die Fläche wurde gegüllet und mineralisch mit N und P gedüngt. Bei Phosphor liegt eine Unterversorgung vor, Kalium ist im Jahr 2000 optimal enthalten, Magnesium ist überversorgt. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der Oberboden der Fläche R16a führt einen geringen Humusanteil und ist *stark sauer*. Der Oberboden der Probe 16 ist ein sandiger Lehm mit *mittlerer* KAK. Darunter bis knapp 2 m Tiefe ist ein Schluff mit *mittlerer* Wasserdurchlässigkeit und *mittlerer* Feldkapazität ausgebildet; bis 3 m Tiefe folgt Lehm (Slu). Die Auswaschungsgefährdung ist als *sehr gering* anzusehen.

Der Oberboden der Probe 17 ist dagegen ein lehmiger Sand mit *sehr geringer* KAK. Darunter folgt bis 2 m Tiefe Sand mit Schluffeinschlusung, der von einem schluffig-sandigen Ton unterlagert wird.

5. Darstellung der Ergebnisse

Die P- und K-Gehalte im Boden bleiben relativ konstant, trotz Begüllung und mineralischer Phosphor-Düngung. Der N_{\min} -Gehalt liegt nach der Feldbestellung/Düngung 1999 bei 50 kg/ha, nach der Ernte bei 70 kg/ha; der Nitratgehalt liegt bei 1,1 mg/100g bzw. bei 1,7 mg/100g nach der Ernte. In der vegetationslosen Zeit kommt es demzufolge zu einer hohen Nitrat Auswaschung. Im Frühjahr 00 wurde nach der Düngung beprobt und ein N_{\min} -Wert von rund 90 kg/ha gemessen. Der N_{\min} -Vorrat vor der Frühjahrsdüngung wurde nicht gemessen, so daß keine Angaben über eine tatsächliche Auswaschung erfolgen können. Im Jahr 2000 wurden deutlich höhere Nitratgehalte gemessen; im Mai 2000 wurde der N_{\min} -Vorrat mit 90 kg/ha ermittelt.

Im Bodenwasser sind im Juni bis August 2000 die höchsten Werte für Chlorid, Sulfat, Calcium (140 mg/l) erreicht den höchsten Wert im September 2000. Ein weiterer Peak liegt im April 2000, dort werden Nitratgehalte von 160 mg/l erreicht. Ab Juni 2000 liegen die Nitratwerte konstant um das fünffache über dem Grenzwert nach TVO. Im Grundwasser konnten erst ab Februar 2000 Proben genommen werden. Der Verlauf aller gemessenen Parameter ist für Nitrat, Chlorid, Sulfat, Calcium, Natrium, elektrische Leitfähigkeit, Phosphor und Magnesium identisch. So werden die geringsten Gehalte im März 2000 direkt nach dem Grundwasserhöchststand gemessen. Im April 2000 steigen die Gehalte jedoch wieder geringfügig an. Die Konzentrationen im Bodenwasser steigen dagegen während der Überflutung geringfügig an. Die Düngung im Frühjahr 1999 schlägt sich in Form erhöhter Konzentrationen im Juli/August 1999 im Bodenwasser nieder. Die Nitratgehalte im Bodenwasser liegen von Dezember 1999 bis März 2000 konstant bei 100 mg/l und steigen erst im April auf 160 mg/l an, wohingegen im Grundwasser deutlich höhere Gehalte von Nitrat (160 mg/l) im Februar gemessen wurden. Daraus ist zu schließen, dass über die Wintermonate ein Austrag stattgefunden hat.

- Bodenwasser: deutlicher Anstieg der Gehalte im Juni/Juli 1999 sowie ab März 2000; elektrische Leitfähigkeit relativ hoch (Maximum $1000 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$), Nitrat sehr hoch, besonders von Juni bis August 1999 sowie März bis April 2000 (100-200 mg/l) und Juni bis Oktober 2000, Calcium konstant bei 80 mg/l, Chlorid von Juni bis August 99 sowie ab Juni 00 bei 50 mg/l
- Grundwasser: Nitrat im Feb. 2000 bei 155 mg/l (vorher keine Werte), anschließend sehr geringe Gehalte bis Oktober 2000 wieder stark erhöht, Chlorid und Calcium stark schwankend
- Überschwemmung: nach der Überschwemmung im Februar 2000 sinken die Konzentrationen von Nitrat, Chlorid, Calcium und Sulfat im Grundwasser, während sie im Bodenwasser weiter ansteigen

Durch die hohe N-Düngung liegen die Nitratkonzentrationen im Bodenwasser über dem gesamten Untersuchungszeitraum im Mittel deutlich über 100 mg/l. Im Grundwasser liegt dagegen nur ein hoher Wert im Februar 2000 (direkt nach erneutem Einbringen des Brunnens) mit 150 mg/l und im Oktober 2000 vor, ansonsten sind die Gehalte unter 50 mg/l. Die Bodeneigenschaften im Untergrund bewirken eine Fixierung von Nitrat.

Probe 18: Schnittwiese, Nachweide R2d

Während der Nationalparkzeit wurde keine Düngung durchgeführt. Im Jahr 1999 lagen die Mahdtermine Anfang Juni und Ende August. Bei den Nährstoffen liegt eine *sehr hohe* Versorgung mit Mg, eine *optimale* Versorgung mit P und eine *niedrige* bis *mittlere* Versorgung mit K vor. Die Phosphorgehalte sind im Vergleich zu den Nachbarflächen erhöht. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der sandig-lehmige Oberboden mit *mittlerer* KAK wird unterlagert von schluffig-lehmigen Sanden, einer unterschiedlich mächtigen Tonlage (ab 165 cm) sowie Mittelsand (ab 180 cm Tiefe). Aufgrund der gemessenen Feldkapazitäten von $266 \text{ l/m}^3 \cdot 10 \text{ dm}$ und der bestimmten Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f3) ist mit einer *geringen* Auswaschungsgefährdung zu rechnen. Die N_{\min} -Gehalte liegen unter 13 kg/ha.

5. Darstellung der Ergebnisse

Im Bodenwasser findet man geringe Nitratkonzentrationen, die besonders im September/Oktober 2000 ansteigen, aber den Grenzwert nicht überschreiten.

Der Brunnen war überwiegend verschlammte. Die Chlorid- und Sulfatkonzentrationen liegen im Feb. 2000 am höchsten.

Probe 19: Schnittwiese, Nachweide R7

Während der Nationalparkzeit wurde keine Düngung durchgeführt. Im Jahr 1999 lagen die Mahdtermine Anfang Juni und Ende August. Die Phosphor- und Kaliumgehalte liegen um 5 mg/100g und sind als *mittel* einzustufen. Die Magnesiumgehalte liegen über 20 mg/100g, es liegt eine *besonders hohe* Versorgung vor. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Den Oberboden bildet ein *stark humoser*, schwach toniger Lehm mit einer *hohen* KAK. Bis in 2 m Tiefe ist eine überwiegend schluffige Abfolge ausgebildet, in die lehmige Sandlagen eingeschaltet sind. Insgesamt wurde eine *hohe* FK und eine *mittlere* Wasserdurchlässigkeit ermittelt. Ab 2 m Tiefe folgt eine Mittel- bis Grobsandschicht. Eine Filterung und Pufferung von Schadstoffen kann nur in den oberen Bodenschichten erfolgen. Die Auswaschungsgefahr wurde mit *gering* klassifiziert.

Der N_{\min} -Vorrat im April 1999 liegt bei 24 kg/ha und geht auf 9 kg/ha im Herbst 1999 zurück. Die N_{\min} -Gehalte liegen mit Ausnahme des ersten Wertes unter 12 kg/ha.

Im Bodenwasser ist der typische Anstieg der Nitratgehalte über den Winter angedeutet, das Maximum liegt im Dezember/Januar 2000. Sulfat und Calcium steigen ebenfalls zu diesem Zeitpunkt bis März 2000 an. Das Grundwasser zeigt erhöhte Konzentrationen von Chlorid, Sulfat, Calcium, Magnesium, Natrium nach dem Hochwasser.

Alle untersuchten Grünland-Schläge in Betrieb 4 weisen im April 1999 deutlich höhere N_{\min} -Gehalte auf und im Juli 2000 leicht erhöhte N_{\min} -Gehalte. Ein Einfluss der Überschwemmung ist auszuschließen, da die Werte im Mai 2000 (Probenahme direkt nach Rückgang des Wassers) nicht erhöht sind. Die Mineralisation setzte 1999 wahrscheinlich früher ein als 2000.

Probe 20: Acker R32

1999 wurde Mais, im Jahr 2000 Winterroggen angebaut. Die Fläche wird gegüllt und mineralisch mit N und P gedüngt. Die Nährstoffgehalte schwanken innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Die Fläche ist teilweise mit Magnesium und Kalium unterversorgt, während die Phosphorversorgung *hoch* bis *sehr hoch* ist. Der pH-Wert liegt 1999 im *sehr stark sauren* Bereich. Die Fläche wird nicht durch Qualmwasser, Überschwemmung und hohe Grundwasserspiegel beeinflusst.

Der sandige Oberboden hat eine *geringe* KAK, wird als *basenreich* eingestuft und ist *mittel* bis *schwach humos* ausgeprägt. Bis in 65 cm Tiefe bestehen die Ablagerungen aus schluffig-lehmigen Sanden, deren FK *gering* und kf-Wert *mittel* ist. Darunter folgen lehmig-tonige Sande, die ab 180 cm in einen Sand übergehen. Die Feldkapazität im gesamten oberen Bodenmeter liegt bei 256 l/m³ und wird als *gering* eingestuft.

Anhand der Bodeneigenschaften ist die Auswaschungsgefahr als *gering* berechnet worden. Nach der Ernte im Herbst 1999 liegt eine hohe Mineralisationsrate von 65 kg/ha vor (große Ernterestmengen und herbstliche N-Mineralisation), die typisch für Mais ist. Im Herbst 2000 liegen nach der Roggenernte N_{\min} -Gehalte von 20 kg/ha vor.

Ein deutlicher Anstieg von Nitrat und Chlorid ist Ende Juni 1999 im Bodenwasser zu verzeichnen (Nitrat von 60 auf 300 mg/l, Chlorid von 15 auf 35 mg/l). Die weiteren Werte liegen unterhalb des Grenzwertes nach TVO und beschreiben den üblichen Verlauf während des Winters. Für Kalium konnte im Juli 1999 bei einer Saugkerze eine sehr hohe Konzentration gemessen werden (statt <10 mg/l bei 35 mg/l). Phosphor ist im Juni 1999 doppelt so hoch (bei 9 mg/l) wie bei den anderen Messungen. Als Ursache ist die mineralische und organische Düngung im Frühjahr 1999 anzusehen. Chlorid, Sulfat, Nitrat

5. Darstellung der Ergebnisse

und Calcium steigen erneut ab Januar 2000 an; Nitrat auf 100 mg/l. Für Phosphor und Kalium liegen nur geringfügig höhere Gehalte vor. Die Gehalte gehen ab März 2000 kontinuierlich zurück; Nitrat < 50 mg/l. Die erhöhten Konzentrationen im Bodenwasser während der Wintermonate ist auf eine Auswaschung dieser Stoffe nach der Ernte zurückzuführen.

- Bodenwasser: Peak im Juni/Juli 1999 bzw. Januar/Februar 2000: Chlorid, Nitrat, Sulfat, Calcium; Phosphor und Kalium zu dieser Zeit nur leicht erhöht
- Grundwasser: nicht gemessen

Probe 21: Acker Z111

Kulturen: 1999 Raps, 2000 Winterweizen. Die Fläche wurde gegüllt und mineralisch gedüngt. Die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium liegen in den Gehaltsklassen D und E, d.h. sie sind im Überschuß vorhanden. Die Fläche wird zeitweise von einem hohen Grundwasserspiegel beeinflusst.

Der sandig-lehmige Oberboden ist *schwach sauer* und weist eine *hohe* KAK auf. Der Untergrund besteht aus einem stark sandigen Lehm, in den zwischen 30-90 cm Tiefe stark schluffige Tonlagen eingeschaltet sind. Bis 280 cm Tiefe liegt ein Mittelsand vor. Die Feldkapazitäten liegen im sandigen Lehm im *mittleren* Bereich, im tonigen Lehm dagegen im *hohen* Bereich. Die Wasserdurchlässigkeit wird als *gering* eingestuft. Die Rückhaltefähigkeit in den oberen Bodenhorizonten ist aufgrund der Eigenschaften als gut einzustufen. Das Risiko der Grundwassergefährdung durch die Auswaschung von Stickstoffverbindungen wurde mit *gering-mittel* eingestuft.

Mit 145 kg N_{min}/ha liegen sehr hohe N_{min}-Gehalte nach der Düngung im Frühjahr 1999 vor, die bis auf 55 kg/ha im November zurückgehen. Aufgrund dieser Restnitratmenge ist eine hohe Auswaschungsgefährdung im Winter gegeben. Phosphor und Kalium werden durch das Aufbringen von Gülle nachgeliefert und liegen in ausreichender Konzentration vor.

Im Juli/August 1999 werden im Grundwasser Nitratgehalte von 150 mg/l, Chlorid- bzw. Sulfatgehalte von 100 Mg/l sowie 260 mg Ca/l und 35 mg Mg/l gemessen, die durch die Begüllung und Düngung im Frühjahr 1999 zu erklären sind. Die weiteren Nitratwerte liegen weit niedriger. Im Januar 2000 ist Nitrat noch über dem Grenzwert (ca. 90 mg/l), sinkt im weiteren Verlauf des Jahres ab. Im Bodenwasser ist ein ähnlicher Verlauf des Nitrats zu beobachten. Die hohen Werte entsprechen der theoretischen Auswaschungsgefährdung der Restnitratmenge. Phosphor und Kalium im Grundwasser sind zu diesem Zeitpunkt dagegen nicht erhöht. Im Dezember 1999 ist im Bodenwasser ein Anstieg von Chlorid, Sulfat, Nitrat, Phosphor und Calcium zu verzeichnen, der bis April 2000 stark zurückgeht. Die Grundwasser-Analytik zeigt im Januar 2000, direkt nach dem erneuten Einbringen des Brunnens stark erhöhte Nitrat, P-, Mg-, Ca-, Chlorid- und Sulfatgehalte, die im Februar und März 2000 deutlich zurückgehen. Im April 2000 ist ein leichter Anstieg von Sulfat, Calcium, Nitrat, P, Mg und Na zu beobachten. Dieser Effekt ist auf die Auswaschung dieser Stoffe im Winter zurückzuführen.

- Bodenwasser: erste Messungen im Dezember 1999; hohe Konzentrationen ab Dezember bis Februar, anschließend kontinuierlicher Abfall der Gehalte; Nitrat von Dezember 1999 bis Februar 2000 > 50 mg/l (Maximum 140 mg/l) (vor Dezember keine Werte), Calcium konstant zw. 30-130 mg/l
- Grundwasser: Nitrat im Juli/August 1999 bei 150 mg/l sowie im Januar 2000 bei 80 mg/l (dazwischen keine Werte), Calcium im Juli/August bei 260 bzw. 125 mg/l sowie im Januar bei 100 mg/l (dazwischen keine Werte)
- keine Überflutung, Grundwasserspiegel tiefer 90 cm unter Flur

Die N-Düngung im Frühjahr schlägt sich sofort in hohen Grundwasser-Werten um 150 mg/l im Juli/August 1999 wider. Die hohen Nitratgehalte im Bodenwasser (Dez. 1999) können in tieferen Bodenhorizonten zum Teil abgepuffert werden, so dass zwischen Februar und Juli 2000 die Nitratgehalte im Gw unter 35 mg/l liegen.

Probe 22: Acker Z464d

Kultur: 1999 Mais, 2000 Sommerraps. Die Fläche wurde gegüllt und mineralisch gedüngt. Die Hauptnährstoffe sind mehr als ausreichend vorhanden, die Versorgung ist als *besonders hoch* einzustufen. Während Kalium und Magnesium 1999 stark angereichert wurden, blieb der Phosphorgehalt relativ konstant. Im Frühjahr 2000 liegen leicht erhöhte P-Gehalte vor, während die K-Gehalte konstant geblieben und die Mg-Gehalte gesunken sind. Die Fläche wird nicht durch das Grundwasser beeinflusst.

Der *schwach humose*, sandige Oberboden weist eine *sehr geringe* KAK auf. Im Profil folgen bis 30 cm Tiefe Sande, bis 45 cm Tiefe Mittelsand und bis 1 m Tiefe Grobsand. Die Feldkapazität im oberen Bodenmeter liegt bei 142 l/m^3 und ist als *gering* einzustufen. Der Mittel- und der Grobsandhorizont haben eine *sehr geringe* Feldkapazität, die Wasserdurchlässigkeit ist *äußerst hoch*. Die sandigen Ablagerungen reichen mindestens bis in eine Tiefe von 280 cm, so daß ein Austrag von Schadstoffen ins Grundwasser sehr leicht möglich ist. Die Sande haben kein Rückhaltepotential, die Auswaschungsgefahr wurde mit *groß* klassifiziert.

Nach der Düngung im April 1999 liegen $62 \text{ kg N}_{\text{min}}/\text{ha}$ vor, im Herbst verbleiben noch $55 \text{ kg N}_{\text{min}}/\text{ha}$ im Boden. Diese hohen Reststickstoffgehalte nach der Ernte sind typisch für Mais. Der N_{min} -Vorrat liegt vor der Güllung im Jahr 2000 bei 25 kg/ha , so daß von einer Auswaschung des Nitrats auszugehen ist.

Im Juli und Dezember 1999 sind hohe Nitratgehalte (180 mg/l) im Bodenwasser zu verzeichnen. Calcium (120 mg/l), Kalium (60 mg/l) und Chlorid liegen zu diesen Zeitpunkten ebenfalls in vergleichsweise hohen Konzentrationen vor. März/April 2000 ist ein Anstieg von Nitrat, Calcium und Sulfat im Grundwasser gemessen worden. Erhöhte Gehalte im Juli 1999 haben ihre Ursache in der Düngung und Begüllung im Frühjahr 1999, während die hohen Konzentrationen im Winter 1999/2000 auf einen Austrag nach der Ernte hindeuten. Das organisch gedüngte Kalium wird zu großen Teilen nicht im Boden gehalten und gelangt so schnell ins Grundwasser.

- Bodenwasser: alkalisch, stark alkalisch ab März 2000, Nitrat von Juli 1999 bis Februar 2000 $> 50 \text{ mg/l}$ (Maximum 220 mg/l im Dez. 1999), Kalium durchgehend sehr hoch ($30\text{-}75 \text{ mg/l}$), DOC zw. $20\text{-}90 \text{ mg/l}$
- Grundwasser: sauer, Nitrat ab Februar 2000 (vorher keine Werte) deutlich über 120 mg/l (Maximum 220 mg/l im März 2000), Kalium konstant hoch bei ca. 20 mg/l (Maximum jeweils im Juli mit 27 mg/l), DOC ab Feb. 2000 $> 10 \text{ mg/l}$
- keine Überschwemmung, Grundwasserspiegel tiefer 125 cm unter Flur.

Alle gemessenen Nitratgehalte im Grundwasser liegen über 50 mg/l . Die höchsten Konzentrationen wurden zwischen Februar und Juli 2000, mit einem Maximum von 220 mg/l im März gemessen. Aufgrund der Bodeneigenschaften besteht keinerlei Rückhaltevermögen, so daß das gedüngte Nitrat und Kalium hohen Auswaschungsverlusten unterliegt.

Probe 23: Acker Z175

Der Acker wurde mit Weizen bestellt, gegüllt und mineralisch gedüngt. Kalium und Magnesium sind ausreichend vorhanden (Überschuss), Phosphor ist im Mangel. Die Phosphor-Gehalte sind 1999 als *mittel*, 2000 als *niedrig* einzustufen. Die Werte bleiben relativ konstant, sodass die Zufuhr durch Düngung und Begüllung dem Entzug durch die Pflanze entspricht. Kalium liegt konstant im *sehr hohen* und Magnesium im *besonders hohen* Versorgungsbereich. Die Fläche wird zeitweise von einem hohen Grundwasserspiegel beeinflusst.

Der Untergrund besteht aus einer tonig-lehmigen Abfolge. Die KAK im Oberboden ist als *sehr hoch* einzustufen, die Feldkapazität von $497 \text{ l/m}^3 \cdot 10 \text{ dm}$ wird als *hoch* eingestuft. Bis in 1 m Tiefe liegen *geringe* kf-Werte vor. Im Tiefenprofil tritt ab ca. 70 cm Tiefe eine mindestens 1 m mächtige tonige Lage auf. Ein Grobsandhorizont wurde erst ab $2,2 \text{ m}$ Tiefe vorgefunden.

5. Darstellung der Ergebnisse

Die Auswaschungsgefährdung ist als *sehr gering* eingestuft worden, da ein hohes Rückhaltevermögen in den Tonen gegeben ist.

Die N_{\min} -Gehalte sind im Frühjahr jeweils nach der Düngung gemessen worden. Im Herbst 1999 liegen 70 kg/ha N_{\min} vor, die zu einer potentiell vermehrten N-Auswaschung führen können. Der N_{\min} -Vorrat im Frühjahr sowie der Entzug im Winter ist anhand der Messungen nicht abschätzbar.

Im Juli/August 1999 werden erhöhte Nitrat- (75 mg/l), Calcium- und Kaliumgehalte im Bodenwasser gemessen, die die Begüllung und Düngung im Frühjahr 1999 widerspiegeln. Die Nitratwerte liegen im Dezember 1999 ähnlich hoch vor und fallen dann bis Mai 2000 kontinuierlich. Während Nitrat bereits sehr frühzeitig (ab November) auf den Maximalwert 60 mg/l ansteigt, steigen die Chlorid, Sulfat- und Calciumkonzentrationen bis März 2000 an und erreichen im Mai 2000 ihren jeweiligen Maximalwert (Chlorid 400 mg/l, Sulfat 600 mg/l und Calcium 40-120 mg/l). Im Grundwasser ist im April 2000 ein Nitratanstieg von 3 auf 50 mg/l sowie ein Natrium-, Chlorid- und Sulfatanstieg von ca. 20 auf 250 mg/l zu verzeichnen. Der Grundwasserspiegel lag im März 2000 mit 5 cm nur knapp unter der Geländeoberkante, sodass eine Auswaschung der Stoffe aus dem Boden mit dem Grundwasser erfolgte. Zusätzlich ist ein Austrag von Nitrat und Salzen direkt nach der Ernte in das Bodenwasser zu verzeichnen.

- Bw: sehr hohe elektrische Leitfähigkeit (Maximum $2500 \cdot 10^{-6}$ S/cm), hohe Chloridgehalte ab Januar 2000 (400 mg/l), ab März hohe Sulfatgehalte (700 mg/l), Juli 1999 bis Februar 2000 Nitrat zwischen 50-80 mg/l, Calcium ganzjährig zw. 30-150 mg/l
- Grundwasser: sehr geringe Gehalte während Grundwasserhöchststand im März 2000; ab Mai 2000 elektrische Leitfähigkeit $>1000 \cdot 10^{-6}$ S/cm), hohe Chloridgehalte ab April 2000 (130-240 mg/l), April Sulfatgehalt von 250 mg/l, April-Juni 2000 Nitrat leicht unter 50 mg/l, Calcium im Juli/August 1999 sowie April/Mai 2000 bei 50 mg/l
- Grundwasser im März 2000 nur 5 cm unter Flur

Trotz hoher N_{\min} -Werte nach der Düngung und hoher Restnitratgehalte im Herbst, ist die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser aufgrund der Bodeneigenschaften nur sehr gering. Ein Austrag ins Grundwasser findet allerdings bei Hochwasser statt.

Probe 24: Schnittwiese, Umtriebsweide Z300

Die Fläche wurde nicht gedüngt. Der erste Schnitt fand 1999 Mitte Mai statt. Die Phosphorversorgung war 1999 *optimal*, im Jahr 2000 lagen *besonders hohe* Gehalte vor. Die Versorgung mit Kalium ist nicht ausreichend, die Magnesiumversorgung ist dagegen *besonders hoch*. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen beziehungsweise hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der lehmige Oberboden ist *stark humos* und führt eine *hohe* KAK. Bis in 1 m Tiefe liegt ein lehmiger Sand vor, dessen Feldkapazität und Wasserdurchlässigkeit als *mittel* eingestuft werden. Die Auswaschungsgefährdung wurde mit *sehr gering* berechnet, da das Grundwasser überwiegend sehr hoch liegt, ist eine gewisse Auswaschungsgefahr gegeben. Nach dem Schnitt im Mai 1999 steigen die N_{\min} -Gehalte von 27 auf 40 kg/ha.

Probe 26: Umtriebsweide Z323

Die Fläche wurde mineralisch mit N gedüngt. Im Jahr 1999 wurden Ende April die Rinder auf die Weide getrieben. Die Phosphorversorgung schwankt zwischen *mittel* und *optimal*. Kalium und Magnesium liegen im Überschuss vor. Im Herbst liegen jeweils die höchsten P- und K-Gehalte vor. Die Fläche wird durch Qualmwasser beeinflusst.

Im tonigen Oberboden sind eine *sehr hohe* KAK und ein hoher Humusgehalt ausgebildet. Darunter liegen bis in 50 cm Tiefe sandig-lehmige Abfolgen mit einer *mittleren* FK und einem *hohen* bis *mittleren* kf-Wert. Bis in mindestens 1 m Tiefe ist eine schwach schluffige Tonschicht mit *hoher* FK und *geringem* kf-Wert ausgebildet. Aufgrund der Bodeneigenschaften ist die Fläche nur als *gering* austragsgefährdet eingestuft worden. Allerdings zeigen die an verschiedenen Stellen erbohrten Profile sehr inhomogene Abfolgen.

5. Darstellung der Ergebnisse

Die N_{\min} -Gehalte sind im Frühjahr und Herbst 1999 am höchsten. Im Jahr 2000 liegen die N_{\min} -Gehalte unter 15 kg/ha.

Probe 27: Umtriebsweide Z322

Die Fläche wurde mineralisch mit N gedüngt. 1999 wurden Ende April die Rinder auf die Weide getrieben. Die Versorgung mit Phosphor und Kalium steigt innerhalb des untersuchten Zeitraumes. Die Phosphorgehalte liegen 1999 im *niedrigen* Bereich, 2000 werden *optimale* Gehalte bereits im Juli erreicht. Die Versorgung mit Kalium liegt 1999 im *optimalen* Bereich, während 2000 eine Überversorgung vorliegt. Die Magnesiumgehalte sind ständig zu hoch. Die Fläche wird durch Qualmwasser beeinflusst.

Der lehmige Oberboden besitzt eine *hohe* KAK und einen mittleren Humusgehalt. Der Lehm geht ab 50 cm Tiefe in einen Ton über (der jedoch nicht auf dem gesamten Schlag anzutreffen ist), wobei das Rückhaltevermögen zunimmt. Die Durchlässigkeit ist im oberen Meter durchgehend als *gering* einzustufen, die FK liegt mit 442 l/m³ im *hohen* Bereich. Ab 2 m Tiefe tritt eine Mittel- bis Grobsandschicht auf. Generell ist die Auswaschungsgefahr als *sehr gering* eingestuft worden.

Der N_{\min} -Gehalt im Herbst 2000 ist mit 120 kg/ha aussergewöhnlich hoch. Die übrigen Werte liegen zwischen 13 und 30 kg N_{\min} /ha.

Probe 28-33: Schnittwiese F8

Die Fläche wurde nicht gedüngt. Der erste Schnitt fand im Jahr 1999 Ende Juni, der zweite Anfang September statt. Die Phosphorgehalte sind in allen Proben als *niedrig* einzustufen. Die Kaliumgehalte schwanken zwischen *mittel* und *optimal* und die Magnesiumgehalte liegen überall im *besonders hohen* Bereich. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen beziehungsweise hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Alle Standorte weisen eine *sehr hohe* KAK und einen *hohen* bis *sehr hohen* organischen Substanzgehalt im Oberboden auf. Im gesamten Bereich der Fläche F8 wurde auf dem ersten Meter ein schluffiger Ton erbohrt, der eine *geringe* bis *mittlere* Durchlässigkeit sowie eine *hohe* FK aufweist. In den Senken (F8/3) tritt bis zu 1 m mächtiger lehmiger Ton bis reiner Ton ab ca. 170 cm Tiefe auf. Die höheren Bereiche von F8/1 weisen dagegen eine geringer mächtige Tonschicht zwischen 250 und 270 cm Tiefe auf, darunter folgt Grobsand. Auf den Rücken von F8/4 liegt die Tonschicht in einer Tiefe von 290 cm. Die Austragsgefährdung ist demzufolge als *gering* bis *sehr gering* eingestuft worden.

Die N_{\min} -Vorräte liegen im Frühjahr 1999 zwischen 17 und 25 kg/ha. Im Herbst 1999 liegen die Reststickstoffgehalte unterhalb von 5 kg N_{\min} /ha.

Probe 29 (Fläche 8/4): Im Grundwasser liegen nach der Überflutung im April 2000 erhöhte Gehalte für Chlorid, Sulfat, Calcium, Magnesium und Natrium vor. Im März, als das Grundwasser nur kurz unterhalb der GOK stand, sind dagegen sehr geringe Konzentrationen gemessen worden. Des weiteren ist für diverse Stoffe (Sulfat, Calcium, Natrium, Magnesium, Nitrat) ein Anstieg auf das 2- bis 3-fache von September bis Dezember 1999 zu verzeichnen.

Probe 30 (Fläche 8/3): Grundwasser: Hier ist im Jahr 1999 der herbstliche Anstieg der Konzentrationen durch einen auffällig geringen Oktoberwert unterbrochen. Von August auf September steigen die Gehalte von Sulfat, Calcium, Magnesium und Nitrat. Während des Hochwassers im März/April 2000 sind die Gehalte von Chlorid, Magnesium und Ammonium gestiegen.

Probe 32 (Fläche 8/1): Grundwasser: Mit dem Anstieg des Grundwassers im März 2000 sinken die Gehalte von Chlorid, Sulfat, Calcium, Kalium, Mg, P, Na und Ammonium. Beim weiteren Anstieg bzw. Hochwasser ist ein starker Anstieg der Konzentrationen von Chlorid, Nitrat, Sulfat, Calcium, Kalium, Mg, Na und Ammonium zu verzeichnen.

5.3 Verknüpfung der Boden-, Bodenwasser- und Grundwasserdaten mit Nutzungsarten und Überflutungsereignissen

Die Datengrundlage für die nachstehende zusammenfassende Ergebnisdarstellung ist dem Anhang 2.5 zu entnehmen.

Probe 2: Nachweide (C1f)

Die Fläche wurde mineralisch und organisch gedüngt. Insgesamt ist der Versorgungsstand an den Hauptnährstoffen *hoch* bis *sehr hoch*. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der Untergrund besteht aus einer schluffig-sandigen Abfolge, die ab 1 m Tiefe in einen mächtigen Mittelsand übergeht. Die Wasserdurchlässigkeit ist aufgrund der ermittelten Bodenart *hoch* bis *sehr hoch*, mit einer anfangs *mittleren* und ab 50 cm Tiefe *geringen* FK. Die Feldkapazität im oberen Bodenmeter ist mit rund 256 l/m³ als *gering* einzustufen.

Aufgrund der *sehr geringen* Sickerwassermenge und der als *günstig* eingestuften Denitrifikations-Kapazität ist die Auswaschungsgefährdung insgesamt als *gering* klassifiziert worden.

Probe 3: Schnittwiese (C5, S' Teil)

Die Fläche steht unter Vertragsnaturschutz, d.h. 60 kg N sind zum 2. Schnitt erlaubt. Im Jahr 1999 erfolgte der erste Schnitt Anfang Juli, der zweite Ende September. Phosphor und Kalium sind über den gesamten Beprobungszeitraum im Mangel, während Magnesium im überversorgten Bereich liegt. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Vorherrschend sind ein schluffiger Lehm (bis 50 cm Tiefe) und ein lehmiger Sand, die zwischen 1-1,4 m in einen mächtigen Mittelsand übergehen. Die obersten 50 cm sind durch eine *hohe* FK und eine *mittlere* Wasserdurchlässigkeit geprägt, wohingegen von 50-100 cm Tiefe die FK als *mittel* einzustufen ist und gleichzeitig der kf-Wert zunimmt. Die berechnete Feldkapazität liegt bei 386 l/m³ * 10 dm und ist als *mittel* einzustufen.

Im Hinblick auf die Bodeneigenschaften ist in den obersten 50 cm eine gewisse Rückhaltefähigkeit gegeben. Gelangen Stoffe jedoch durch diese Schicht, können sie schnell in den Untergrund gelangen.

Insgesamt wird die Gefahr der Auswaschungs als *gering* eingestuft.

Geringe Phosphor- und Kaliumwerte sind auch im Bodenwasser und Grundwasser zu finden. Eine Versorgung durch das Grundwasser mit diesen Nährstoffen ist nicht zu erwarten. Nitrat ist sowohl im Bodenwasser als auch im Grundwasser nicht in signifikanten Mengen vorhanden. Das Grundwasser ist kurzfristig mit hohen Nitritwerten zum Hochwasserereignis belastet.

Probe 4: Schnittwiese (C5, N' Teil)

Die Fläche steht unter Vertragsnaturschutz, d.h. 60 kg N sind zum 2. Schnitt erlaubt. Im Jahr 1999 erfolgte der erste Schnitt Anfang Juli, der zweite Ende September. Phosphor ist über den gesamten Beprobungszeitraum im Mangel, während Magnesium im überversorgten Bereich liegt. Die Kaliumversorgung ist 1999 als *mittel*, im Jahr 2000 als *optimal* einzustufen. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der tonige Oberboden (Tu2) ist *stark humos* mit einer *hohen* KAK. Insgesamt ist der Untergrund sehr schluffig, wird ab 50 cm Tiefe jedoch sandiger. Bis in 1 m Tiefe liegt die FK im *hohen* Bereich (FK 419 l/m³), die Wasserdurchlässigkeit im *mittleren* Bereich, so daß die Auswaschungsgefahr von Schadstoffen in den Untergrund eher gering ist. Bei der Tiefenbohrung wurden 1 m mächtige Fein- bis Mittelsande ab 1,7 m Tiefe erbohrt.

Der N_{min}-Gehalt von 65 kg/ha (Probe 4: Frühjahr 1999) ist als sehr hoch einzustufen und hängt wahrscheinlich mit der Probenahme zusammen. Im Herbst sind die Gehalte mit 5-7 kg N_{min}/ha auf beiden untersuchten Teilflächen vergleichbar gering.

5. Darstellung der Ergebnisse

Im Bodenwasser der Proben 3/4 zeichnet sich ein leichter Anstieg von Chlorid, im Grundwasser ein Anstieg der Magnesium-, Sulfat-, Chlorid- und Natriumgehalte nach der Überflutung (März/April 2000) ab. Kalium und Ammonium liegen in extrem hohen Konzentrationen (Probe 3) nach der Überflutung vor, werden aber bis zum Julitermin abgebaut. Ein geringfügiger Austrag von Nitrat, Chlorid, Sulfat, Calcium, Phosphor mit dem Bodenwasser ist vor allem im Januar 2000 festzustellen.

Probe 5/6: Schnittwiese (C6)

Die Fläche steht unter Vertragsnaturschutz, d.h. 60 kg N sind zum 2. Schnitt erlaubt. Im Jahr 1999 erfolgte der erste Schnitt Anfang Juli, der zweite Ende September. Für Phosphor liegt eine deutliche Unterversorgung über den gesamten Zeitraum vor. Die Kaliumgehalte liegen zumindest im Jahr 2000 im *optimalen* Bereich, die Magnesiumgehalte jedoch deutlich über den anzustrebenden Werten. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der Untergrund ist bis in 50 cm Tiefe schluffig-tonig ausgebildet. Im Grabenbereich sind die Ablagerungen ab 50 cm sandiger, am Feldrand erst ab 65 cm Tiefe. Darunter folgt ein mächtiger Mittelsand mit z. T. tonigen Einschaltungen. Die KAK im Oberboden wird als *sehr hoch* eingestuft.

Der N_{\min} -Gehalt liegt mit Ausnahme bei der ersten Probe unter 13 kg/ha.

Probe 7: Schnittwiese (C7)

Die Fläche steht unter Vertragsnaturschutz, d.h. 60 kg N sind zum 2. Schnitt erlaubt. Phosphor und Kalium liegen im leicht unterversorgten Bereich, Magnesium ist mehr als ausreichend vorhanden. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Die KAK des tonig-lehmigen Oberbodens ist *hoch*. Bereits ab 55 cm Tiefe ist die Wasserdurchlässigkeit *sehr hoch* und der Boden sandig mit einer *geringen* FK. Für den oberen Bodenmeter wurde eine FK von 375 l/m³ berechnet. Ab 2 m Tiefe liegt ein mindestens 1 m mächtiger Tonhorizont vor. Der Grundwasserspiegel liegt jedoch oberhalb der dichtenden Tonschicht, so daß eine Nitratauswaschung grundsätzlich möglich ist. Die Gefährdung des Grundwassers durch die Auswaschung von Stickstoffverbindungen wird mit *gering* eingestuft.

Die Analysen des Grundwassers zeigen keinerlei Nitratbelastung. Allerdings kann ein Zusammenhang zwischen der erlaubten N-Düngung, der Wasserdurchlässigkeit und den sehr hohen Ammoniumwerten im Grundwasser hergestellt werden. Die kurzfristigen Spitzenwerte von über 50 mg/l (Grenzwert nach TVO: 0,5 mg/l) treten im September 1999 und Juli 2000 auf. Die Werte sinken sehr schnell wieder ab. Im Juli 2000 tritt auch ein stark erhöhter o-Phosphatwert im Grundwasser auf. Die Phosphormessungen ergeben zu beiden oben genannten Terminen auch deutlich überhöhte P-Werte.

Probe 8/9/10: Acker/Brache C28

Die Ackerfläche wurde 1999 mehrfach mit Stickstoff gedüngt; im Jahr 2000 wurde die Fläche als Brache genutzt. Die Fläche wird nicht überflutet, liegt aber im Einflußbereich von Qualmwasser.

Der Untergrund besteht bis in 1 m Tiefe aus Sand, der z.T. lehmig ausgebildet ist. Darunter tritt ab 1,2 bis 2,8 m Tiefe eine mächtige tonige Lage (> 1 m) mit hohem Rückhaltevermögen auf. Im oberen Bodenmeter liegt mit 290 bzw. 327 l/m³ eine *mittlere* FK vor, die KAK ist als *gering* bis *mittel* einzustufen. Die Wasserdurchlässigkeit ist durchweg *hoch*. Der Oberboden weist einen *geringen* Anteil an organischer Substanz auf. Demzufolge ist die Auswaschungsgefährdung der Probe 9 mit *mittel* und die der Probe 10 mit *gering* eingestuft worden.

Die pflanzenverfügbaren Mineralstoffmengen liegen auf dem Acker in unterschiedlicher Verteilung vor (K und P im NE am höchsten, Mg im SW am höchsten), wobei die Gehalte eher zu hoch liegen.

5. Darstellung der Ergebnisse

Nach der Düngung im Frühjahr 1999 wurden auf dem nordöstlichen Teil der Fläche 40 kg N_{\min} /ha, ansonsten um die 50 kg N_{\min} /ha gemessen. Der Restnitratgehalt im Herbst 1999 liegt bei 10 kg/ha liegen.

Das Bodenwasser zeigt leicht erhöhte Nitratkonzentrationen (50 mg/l) im Juni/Juli 1999. Von Dezember bis Juli 2000 liegen nur sehr geringe Konzentrationen (< 10 mg/l) vor. Mit Beginn der Grundwasser-Messungen im Februar 2000 liegen sehr hohe Konzentrationen vor (Nitrat 100 mg/l). Direkt nach dem Hochwasser im Februar liegen mit den Märzwerten deutlich geringere Konzentrationen vor (Nitrat 40 mg/l), die jedoch im April wieder ansteigen (Nitrat bei 90 mg/l). Die im Bodenwasser gemessenen hohen Nitratkonzentrationen im Sommer 1999 sind ein Effekt der Nitrat-Düngung im Frühjahr 1999. Da im Herbst nur noch geringe Restmengen an N_{\min} vorliegen, lassen sich die hohen Nitratkonzentrationen im Grundwasser während des Winters 1999/2000 nicht durch Einträge aus dem Oberboden der untersuchten Fläche erklären.

- Bodenwasser: Juli 1999 Nitrat, Chlorid, Sulfat mit vergleichsweise hohen Gehalten
- Grundwasser: Nitrat von Februar bis Juli 2000 um 100 mg/l, Ausnahme März (direkt nach Hochwasser)
- Grundwasser im März 2000 bei 35 cm unter Flur

Von Februar bis Juli 2000 liegen sehr hohe Nitratgehalte im Grundwasser vor, während im Bodenwasser in diesem Zeitraum nur minimale Gehalte gemessen wurden. Höhere Gehalte im Bodenwasser (Juni-Juli 1999) lassen sich aufgrund fehlender Messwerte bei trocken gefallen Grundwasserbrunnen nicht im Grundwasser verfolgen.

Probe 11: Hofweide R9

Die Fläche wurde gegüllt und mineralisch gedüngt. Im Frühjahr wird der Boden durch Staunässe geprägt. Die Kaliumgehalte schwanken zwischen *mittel* und *optimal*, Magnesium ist als *besonders hoch* einzustufen, Phosphor als *niedrig*.

Die KAK im sandig-tonigen Lehm des Oberbodens ist *sehr hoch*. Mit der Tiefe nimmt der Sandgehalt zu; ab 40 cm Tiefe liegt bereits reiner Sand mit einer *äußerst hohen* Wasserdurchlässigkeit sowie einer *mittleren* FK vor. Die Feldkapazität im oberen Bodenmeter liegt bei 405 l/m³ und ist insgesamt als *hoch* einzustufen. Die N-Auswaschungsgefahr ist insgesamt als *gering* eingestuft worden.

Probe 12/13: Allmendweide R1

Die Fläche wird nicht gedüngt, aber als Weide genutzt. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst. Die Phosphor- und Magnesiumgehalte liegen *besonders hoch*, die Kaliumversorgung ist *mittel*. Die Nährstoffversorgung bleibt über das ganze Jahr hinweg relativ konstant.

Der lehmige Oberboden hat eine *sehr hohe* bis *äußerst hohe* KAK sowie einen *sehr hohen* Humusgehalt, so daß dort Rückhaltefunktionen möglich sind. Bereits ab 23 cm Tiefe tritt ein schwach lehmiger Sand mit einer *sehr hohen* Wasserdurchlässigkeit auf, der ab 50 cm Tiefe in einen Mittelsand mit *äußerst hoher* Wasserdurchlässigkeit übergeht. Die FK geht von *hoch* auf *sehr gering* zurück. Die gesamte Feldkapazität für den oberen Bodenmeter liegt bei 260 l/m³ und ist somit genau im Grenzbereich zwischen *gering* und *mittel* anzusiedeln. Die Tiefenbohrung zeigt, daß der Mittelsand bis in eine Tiefe von mindestens 2 m auftritt. Unterhalb des lehmigen Oberbodens bieten die Ablagerungen kein Rückhaltepotential für Schadstoffe. Die Gefahr der Nitratauswaschung wurde mit *gering-mittel* berechnet.

N_{\min} liegt im Frühjahr 1999 bei 40 bzw. 52 kg/ha und geht zum Herbst auf 14 kg/ha zurück. Die Nitratgehalte liegen höher als auf den Wiesen, wobei die Gehalte im Frühjahr am höchsten sind (mit 1,8 bzw. 0,8 mg/100 g).

Probe 14: Schnittwiese, Nachweide R2a

Während der Nationalparkzeit wurde keine Düngung durchgeführt. Im Jahr 1999 lagen die Mahdtermine Anfang Juni und Ende August. Der Mg-Vorrat ist *besonders hoch*, die Kalium- und Phosphorvorräte sind als *mittel* einzustufen. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der schluffig-tonige Oberboden hat eine *hohe* KAK und ist *stark humos*. Darunter folgt bis in eine Tiefe von 50 cm eine sandige Abfolge, die eine *hohe* FK und einen *mittleren* kf-Wert hat. Ab 50 cm Tiefe wird die Abfolge toniger. Der Horizont weist *hohe* bis *sehr hohe* Lagerungsdichten und *geringe* Wasserdurchlässigkeiten auf. Darunter folgt ein Mittelsand, der bis in 285 cm Tiefe reicht. Hier ist die FK *gering* und der kf-Wert *äußerst hoch* einzustufen. Die Feldkapazität beträgt $395 \text{ l/m}^3 \cdot 10 \text{ dm}$ und ist als *hoch* einzustufen. Das Auswaschungsrisiko oberhalb des Sandhorizontes ist eher gering, im Sandhorizont dagegen sehr hoch einzustufen. Insgesamt liegt eine als *gering-mittel* eingestufte Auswaschungsgefahr vor.

Die N_{\min} -Gehalte sind im April 1999 sowie im Juli 2000 leicht erhöht, liegen ansonsten unter 11 kg/ha. Im Winter wurde keine N-Auswaschung beobachtet.

Mit dem Absinken des Grundwasserspiegels nach dem Hochwasser im Frühjahr 2000 liegen im Mai 2000 erhöhte Gehalte für Chlorid, Sulfat und Natrium vor. Alle anderen Parameter sind unauffällig.

Probe 15: Schnittwiese, Nachweide R2c

Während der Nationalparkzeit wurde keine Düngung durchgeführt. Im Jahr 1999 lagen die Mahdtermine Anfang Juni und Ende August. Die Versorgung mit Kalium liegt im *mittleren* Bereich, die mit Magnesium im *besonders hohen* Bereich. Die gemessenen Phosphorgehalte schwanken sehr stark und sind im Jahr 1999 als *mittel*, im Jahr 2000 als *besonders hoch* einzustufen. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen beziehungsweise hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der schluffige Boden hat bis in 1 m Tiefe ein gutes Rückhaltevermögen (FK4) und mittlere Filtereigenschaften (kf3). Darunter liegt ein unterschiedlich mächtig ausgeprägter Ton (Tu4), der zuerst stark schluffig und dann schwach sandig wird. Ab ca. 2 m Tiefe wird ein Mittel- bis Grobsand angetroffen. Die Auswaschungsgefahr wurde mit *gering* klassifiziert.

Die N_{\min} -Gehalte sind im April 1999 leicht erhöht, liegen ansonsten unter 12 kg/ha.

Probe 16/17: Acker R16a

1999 wurde Mais angebaut, im Jahr 2000 Sommergerste. Die Fläche wurde gegüllt und mineralisch mit N und P gedüngt. Bei Phosphor liegt eine Unterversorgung vor, Kalium ist im Jahr 2000 optimal enthalten, Magnesium ist überversorgt. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der Oberboden der Fläche R16a führt einen geringen Humusanteil und ist *stark sauer*. Der Oberboden der Probe 16 ist ein sandiger Lehm mit *mittlerer* KAK. Darunter bis knapp 2 m Tiefe ist ein Schluff mit *mittlerer* Wasserdurchlässigkeit und *mittlerer* Feldkapazität ausgebildet; bis 3 m Tiefe folgt Lehm (Slu). Die Auswaschungsgefährdung ist als *sehr gering* anzusehen.

Der Oberboden der Probe 17 ist dagegen ein lehmiger Sand mit *sehr geringer* KAK. Darunter folgt bis 2 m Tiefe Sand mit Schluffeinschaltung, der von einem schluffig-sandigen Ton unterlagert wird.

Die P- und K-Gehalte im Boden bleiben relativ konstant, trotz Begüllung und mineralischer Phosphor-Düngung. Der N_{\min} -Gehalt liegt nach der Feldbestellung/Düngung 1999 bei 50 kg/ha, nach der Ernte bei 70 kg/ha; der Nitratgehalt liegt bei 1,1 mg/100g bzw. bei 1,7 mg/100g nach der Ernte. In der vegetationslosen Zeit kommt es demzufolge zu einer hohen Nitratauswaschung. Im Frühjahr 00 wurde nach der Düngung beprobt und ein N_{\min} -Wert von rund 90 kg/ha gemessen. Der N_{\min} -Vorrat vor der Frühjahrsdüngung wurde nicht gemessen, so daß keine Angaben über eine tatsächliche Auswaschung erfolgen können. Im Jahr 2000

5. Darstellung der Ergebnisse

wurden deutlich höhere Nitratgehalte gemessen; im Mai 2000 wurde der N_{min}-Vorrat mit 90 kg/ha ermittelt.

Im Bodenwasser sind im Juni bis August 2000 die höchsten Werte für Chlorid, Sulfat, Calcium (140 mg/l) erreicht den höchsten Wert im September 2000. Ein weiterer Peak liegt im April 2000, dort werden Nitratgehalte von 160 mg/l erreicht. Ab Juni 2000 liegen die Nitratwerte konstant um das fünffache über dem Grenzwert nach TVO. Im Grundwasser konnten erst ab Februar 2000 Proben genommen werden. Der Verlauf aller gemessenen Parameter ist für Nitrat, Chlorid, Sulfat, Calcium, Natrium, elektrische Leitfähigkeit, Phosphor und Magnesium identisch. So werden die geringsten Gehalte im März 2000 direkt nach dem Grundwasserhöchststand gemessen. Im April 2000 steigen die Gehalte jedoch wieder geringfügig an. Die Konzentrationen im Bodenwasser steigen dagegen während der Überflutung geringfügig an. Die Düngung im Frühjahr 1999 schlägt sich in Form erhöhter Konzentrationen im Juli/August 1999 im Bodenwasser nieder. Die Nitratgehalte im Bodenwasser liegen von Dezember 1999 bis März 2000 konstant bei 100 mg/l und steigen erst im April auf 160 mg/l an, wohingegen im Grundwasser deutlich höhere Gehalte von Nitrat (160 mg/l) im Februar gemessen wurden. Daraus ist zu schließen, dass über die Wintermonate ein Austrag stattgefunden hat.

- Bodenwasser: deutlicher Anstieg der Gehalte im Juni/Juli 1999 sowie ab März 2000; elektrische Leitfähigkeit relativ hoch (Maximum $1000 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$), Nitrat sehr hoch, besonders von Juni bis August 1999 sowie März bis April 2000 (100-200 mg/l) und Juni bis Oktober 2000, Calcium konstant bei 80 mg/l, Chlorid von Juni bis August 99 sowie ab Juni 00 bei 50 mg/l
- Grundwasser: Nitrat im Feb. 2000 bei 155 mg/l (vorher keine Werte), anschließend sehr geringe Gehalte bis Oktober 2000 wieder stark erhöht, Chlorid und Calcium stark schwankend
- Überschwemmung: nach der Überschwemmung im Februar 2000 sinken die Konzentrationen von Nitrat, Chlorid, Calcium und Sulfat im Grundwasser, während sie im Bodenwasser weiter ansteigen

Durch die hohe N-Düngung liegen die Nitratkonzentrationen im Bodenwasser über dem gesamten Untersuchungszeitraum im Mittel deutlich über 100 mg/l. Im Grundwasser liegt dagegen nur ein hoher Wert im Februar 2000 (direkt nach erneutem Einbringen des Brunnens) mit 150 mg/l und im Oktober 2000 vor, ansonsten sind die Gehalte unter 50 mg/l. Die Bodeneigenschaften im Untergrund bewirken eine Fixierung von Nitrat.

Probe 18: Schnittwiese, Nachweide R2d

Während der Nationalparkzeit wurde keine Düngung durchgeführt. Im Jahr 1999 lagen die Mahdtermine Anfang Juni und Ende August. Bei den Nährstoffen liegt eine *sehr hohe* Versorgung mit Mg, eine *optimale* Versorgung mit P und eine *niedrige* bis *mittlere* Versorgung mit K vor. Die Phosphorgehalte sind im Vergleich zu den Nachbarflächen erhöht. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der sandig-lehmige Oberboden mit *mittlerer* KAK wird unterlagert von schluffig-lehmigen Sanden, einer unterschiedlich mächtigen Tonlage (ab 165 cm) sowie Mittelsand (ab 180 cm Tiefe). Aufgrund der gemessenen Feldkapazitäten von $266 \text{ l/m}^3 \cdot 10 \text{ dm}$ und der bestimmten Durchlässigkeitsbeiwerte (kf3) ist mit einer *geringen* Auswaschungsgefährdung zu rechnen. Die N_{min}-Gehalte liegen unter 13 kg/ha.

Im Bodenwasser findet man geringe Nitratkonzentrationen, die besonders im September/Oktober 2000 ansteigen, aber den Grenzwert nicht überschreiten.

Der Brunnen war überwiegend verschlammte. Die Chlorid- und Sulfatkonzentrationen liegen im Feb. 2000 am höchsten.

Probe 19: Schnittwiese, Nachweide R7

Während der Nationalparkzeit wurde keine Düngung durchgeführt. Im Jahr 1999 lagen die Mahdtermine Anfang Juni und Ende August. Die Phosphor- und Kaliumgehalte liegen um 5 mg/100g und sind als *mittel* einzustufen. Die Magnesiumgehalte liegen über 20 mg/100g, es liegt eine *besonders hohe* Versorgung vor. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen bzw. hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Den Oberboden bildet ein *stark humoser*, schwach toniger Lehm mit einer *hohen* KAK. Bis in 2 m Tiefe ist eine überwiegend schluffige Abfolge ausgebildet, in die lehmige Sandlagen eingeschaltet sind. Insgesamt wurde eine *hohe* FK und eine *mittlere* Wasserdurchlässigkeit ermittelt. Ab 2 m Tiefe folgt eine Mittel- bis Grobsandschicht. Eine Filterung und Pufferung von Schadstoffen kann nur in den oberen Bodenschichten erfolgen. Die Auswaschungsgefahr wurde mit *gering* klassifiziert.

Der N_{\min} -Vorrat im April 1999 liegt bei 24 kg/ha und geht auf 9 kg/ha im Herbst 1999 zurück. Die N_{\min} -Gehalte liegen mit Ausnahme des ersten Wertes unter 12 kg/ha.

Im Bodenwasser ist der typische Anstieg der Nitratgehalte über den Winter angedeutet, das Maximum liegt im Dezember/Januar 2000. Sulfat und Calcium steigen ebenfalls zu diesem Zeitpunkt bis März 2000 an. Das Grundwasser zeigt erhöhte Konzentrationen von Chlorid, Sulfat, Calcium, Magnesium, Natrium nach dem Hochwasser.

Alle untersuchten Grünland-Schläge in Betrieb 4 weisen im April 1999 deutlich höhere N_{\min} -Gehalte auf und im Juli 2000 leicht erhöhte N_{\min} -Gehalte. Ein Einfluss der Überschwemmung ist auszuschließen, da die Werte im Mai 2000 (Probenahme direkt nach Rückgang des Wassers) nicht erhöht sind. Die Mineralisation setzte 1999 wahrscheinlich früher ein als 2000.

Probe 20: Acker R32

1999 wurde Mais, im Jahr 2000 Winterroggen angebaut. Die Fläche wird gegüllt und mineralisch mit N und P gedüngt. Die Nährstoffgehalte schwanken innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Die Fläche ist teilweise mit Magnesium und Kalium unterversorgt, während die Phosphorversorgung *hoch* bis *sehr hoch* ist. Der pH-Wert liegt 1999 im *sehr stark sauren* Bereich. Die Fläche wird nicht durch Qualmwasser, Überschwemmung und hohe Grundwasserspiegel beeinflusst.

Der sandige Oberboden hat eine *geringe* KAK, wird als *basenreich* eingestuft und ist *mittel* bis *schwach humos* ausgeprägt. Bis in 65 cm Tiefe bestehen die Ablagerungen aus schluffig-lehmigen Sanden, deren FK *gering* und kf-Wert *mittel* ist. Darunter folgen lehmig-tonige Sande, die ab 180 cm in einen Sand übergehen. Die Feldkapazität im gesamten oberen Bodenmeter liegt bei 256 l/m³ und wird als *gering* eingestuft.

Anhand der Bodeneigenschaften ist die Auswaschungsgefahr als *gering* berechnet worden. Nach der Ernte im Herbst 1999 liegt eine hohe Mineralisationsrate von 65 kg/ha vor (große Ernterestmengen und herbstliche N-Mineralisation), die typisch für Mais ist. Im Herbst 2000 liegen nach der Roggenernte N_{\min} -Gehalte von 20 kg/ha vor.

Ein deutlicher Anstieg von Nitrat und Chlorid ist Ende Juni 1999 im Bodenwasser zu verzeichnen (Nitrat von 60 auf 300 mg/l, Chlorid von 15 auf 35 mg/l). Die weiteren Werte liegen unterhalb des Grenzwertes nach TVO und beschreiben den üblichen Verlauf während des Winters. Für Kalium konnte im Juli 1999 bei einer Saugkerze eine sehr hohe Konzentration gemessen werden (statt <10 mg/l bei 35 mg/l). Phosphor ist im Juni 1999 doppelt so hoch (bei 9 mg/l) wie bei den anderen Messungen. Als Ursache ist die mineralische und organische Düngung im Frühjahr 1999 anzusehen. Chlorid, Sulfat, Nitrat und Calcium steigen erneut ab Januar 2000 an; Nitrat auf 100 mg/l. Für Phosphor und Kalium liegen nur geringfügig höhere Gehalte vor. Die Gehalte gehen ab März 2000 kontinuierlich zurück; Nitrat < 50 mg/l. Die erhöhten Konzentrationen im Bodenwasser während der Wintermonate ist auf eine Auswaschung dieser Stoffe nach der Ernte zurückzuführen.

5. Darstellung der Ergebnisse

- Bodenwasser: Peak im Juni/Juli 1999 bzw. Januar/Februar 2000: Chlorid, Nitrat, Sulfat, Calcium; Phosphor und Kalium zu dieser Zeit nur leicht erhöht
- Grundwasser: nicht gemessen

Probe 21: Acker Z111

Kulturen: 1999 Raps, 2000 Winterweizen. Die Fläche wurde gegüllt und mineralisch gedüngt. Die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium liegen in den Gehaltsklassen D und E, d.h. sie sind im Überschuß vorhanden. Die Fläche wird zeitweise von einem hohen Grundwasserspiegel beeinflusst.

Der sandig-lehmige Oberboden ist *schwach sauer* und weist eine *hohe* KAK auf. Der Untergrund besteht aus einem stark sandigen Lehm, in den zwischen 30-90 cm Tiefe stark schluffige Tonlagen eingeschaltet sind. Bis 280 cm Tiefe liegt ein Mittelsand vor. Die Feldkapazitäten liegen im sandigen Lehm im *mittleren* Bereich, im tonigen Lehm dagegen im *hohen* Bereich. Die Wasserdurchlässigkeit wird als *gering* eingestuft. Die Rückhaltefähigkeit in den oberen Bodenhorizonten ist aufgrund der Eigenschaften als gut einzustufen. Das Risiko der Grundwassergefährdung durch die Auswaschung von Stickstoffverbindungen wurde mit *gering-mittel* eingestuft.

Mit 145 kg N_{min}/ha liegen sehr hohe N_{min}-Gehalte nach der Düngung im Frühjahr 1999 vor, die bis auf 55 kg/ha im November zurückgehen. Aufgrund dieser Restnitratmenge ist eine hohe Auswaschungsgefährdung im Winter gegeben. Phosphor und Kalium werden durch das Aufbringen von Gülle nachgeliefert und liegen in ausreichender Konzentration vor.

Im Juli/August 1999 werden im Grundwasser Nitratgehalte von 150 mg/l, Chlorid- bzw. Sulfatgehalte von 100 Mg/l sowie 260 mg Ca/l und 35 mg Mg/l gemessen, die durch die Begüllung und Düngung im Frühjahr 1999 zu erklären sind. Die weiteren Nitratwerte liegen weit niedriger. Im Januar 2000 ist Nitrat noch über dem Grenzwert (ca. 90 mg/l), sinkt im weiteren Verlauf des Jahres ab. Im Bodenwasser ist ein ähnlicher Verlauf des Nitrats zu beobachten. Die hohen Werte entsprechen der theoretischen Auswaschungsgefährdung der Restnitratmenge. Phosphor und Kalium im Grundwasser sind zu diesem Zeitpunkt dagegen nicht erhöht. Im Dezember 1999 ist im Bodenwasser ein Anstieg von Chlorid, Sulfat, Nitrat, Phosphor und Calcium zu verzeichnen, der bis April 2000 stark zurückgeht. Die Grundwasser-Analytik zeigt im Januar 2000, direkt nach dem erneuten Einbringen des Brunnens stark erhöhte Nitrat, P-, Mg-, Ca-, Chlorid- und Sulfatgehalte, die im Februar und März 2000 deutlich zurückgehen. Im April 2000 ist ein leichter Anstieg von Sulfat, Calcium, Nitrat, P, Mg und Na zu beobachten. Dieser Effekt ist auf die Auswaschung dieser Stoffe im Winter zurückzuführen.

- Bodenwasser: erste Messungen im Dezember 1999; hohe Konzentrationen ab Dezember bis Februar, anschließend kontinuierlicher Abfall der Gehalte; Nitrat von Dezember 1999 bis Februar 2000 > 50 mg/l (Maximum 140 mg/l) (vor Dezember keine Werte), Calcium konstant zw. 30-130 mg/l
- Grundwasser: Nitrat im Juli/August 1999 bei 150 mg/l sowie im Januar 2000 bei 80 mg/l (dazwischen keine Werte), Calcium im Juli/August bei 260 bzw. 125 mg/l sowie im Januar bei 100 mg/l (dazwischen keine Werte)
- keine Überflutung, Grundwasserspiegel tiefer 90 cm unter Flur

Die N-Düngung im Frühjahr schlägt sich sofort in hohen Grundwasser-Werten um 150 mg/l im Juli/August 1999 wider. Die hohen Nitratgehalte im Bodenwasser (Dez. 1999) können in tieferen Bodenhorizonten zum Teil abgepuffert werden, so dass zwischen Februar und Juli 2000 die Nitratgehalte im Gw unter 35 mg/l liegen.

Probe 22: Acker Z464d

Kultur: 1999 Mais, 2000 Sommerraps. Die Fläche wurde gegüllt und mineralisch gedüngt. Die Hauptnährstoffe sind mehr als ausreichend vorhanden, die Versorgung ist als *besonders*

hoch einzustufen. Während Kalium und Magnesium 1999 stark angereichert wurden, blieb der Phosphorgehalt relativ konstant. Im Frühjahr 2000 liegen leicht erhöhte P-Gehalte vor, während die K-Gehalte konstant geblieben und die Mg-Gehalte gesunken sind. Die Fläche wird nicht durch das Grundwasser beeinflusst.

Der *schwach humose*, sandige Oberboden weist eine *sehr geringe* KAK auf. Im Profil folgen bis 30 cm Tiefe Sande, bis 45 cm Tiefe Mittelsand und bis 1 m Tiefe Grobsand. Die Feldkapazität im oberen Bodenmeter liegt bei 142 l/m^3 und ist als *gering* einzustufen. Der Mittel- und der Grobsandhorizont haben eine *sehr geringe* Feldkapazität, die Wasserdurchlässigkeit ist *äußerst hoch*. Die sandigen Ablagerungen reichen mindestens bis in eine Tiefe von 280 cm, so daß ein Austrag von Schadstoffen ins Grundwasser sehr leicht möglich ist. Die Sande haben kein Rückhaltepotential, die Auswaschungsgefahr wurde mit *groß* klassifiziert.

Nach der Düngung im April 1999 liegen $62 \text{ kg N}_{\text{min}}/\text{ha}$ vor, im Herbst verbleiben noch $55 \text{ kg N}_{\text{min}}/\text{ha}$ im Boden. Diese hohen Reststickstoffgehalte nach der Ernte sind typisch für Mais. Der N_{min} -Vorrat liegt vor der Güllung im Jahr 2000 bei 25 kg/ha , so daß von einer Auswaschung des Nitrats auszugehen ist.

Im Juli und Dezember 1999 sind hohe Nitratgehalte (180 mg/l) im Bodenwasser zu verzeichnen. Calcium (120 mg/l), Kalium (60 mg/l) und Chlorid liegen zu diesen Zeitpunkten ebenfalls in vergleichsweise hohen Konzentrationen vor. März/April 2000 ist ein Anstieg von Nitrat, Calcium und Sulfat im Grundwasser gemessen worden. Erhöhte Gehalte im Juli 1999 haben ihre Ursache in der Düngung und Begüllung im Frühjahr 1999, während die hohen Konzentrationen im Winter 1999/2000 auf einen Austrag nach der Ernte hindeuten. Das organisch gedüngte Kalium wird zu großen Teilen nicht im Boden gehalten und gelangt so schnell ins Grundwasser.

- Bodenwasser: alkalisch, stark alkalisch ab März 2000, Nitrat von Juli 1999 bis Februar 2000 $> 50 \text{ mg/l}$ (Maximum 220 mg/l im Dez. 1999), Kalium durchgehend sehr hoch ($30\text{-}75 \text{ mg/l}$), DOC zw. $20\text{-}90 \text{ mg/l}$
- Grundwasser: sauer, Nitrat ab Februar 2000 (vorher keine Werte) deutlich über 120 mg/l (Maximum 220 mg/l im März 2000), Kalium konstant hoch bei ca. 20 mg/l (Maximum jeweils im Juli mit 27 mg/l), DOC ab Feb. 2000 $> 10 \text{ mg/l}$
- keine Überschwemmung, Grundwasserspiegel tiefer 125 cm unter Flur.

Alle gemessenen Nitratgehalte im Grundwasser liegen über 50 mg/l . Die höchsten Konzentrationen wurden zwischen Februar und Juli 2000, mit einem Maximum von 220 mg/l im März gemessen. Aufgrund der Bodeneigenschaften besteht keinerlei Rückhaltevermögen, so daß das gedüngte Nitrat und Kalium hohen Auswaschungsverlusten unterliegt.

Probe 23: Acker Z175

Der Acker wurde mit Weizen bestellt, gegüllt und mineralisch gedüngt. Kalium und Magnesium sind ausreichend vorhanden (Überschuss), Phosphor ist im Mangel. Die Phosphor-Gehalte sind 1999 als *mittel*, 2000 als *niedrig* einzustufen. Die Werte bleiben relativ konstant, sodass die Zufuhr durch Düngung und Begüllung dem Entzug durch die Pflanze entspricht. Kalium liegt konstant im *sehr hohen* und Magnesium im *besonders hohen* Versorgungsbereich. Die Fläche wird zeitweise von einem hohen Grundwasserspiegel beeinflusst.

Der Untergrund besteht aus einer tonig-lehmigen Abfolge. Die KAK im Oberboden ist als *sehr hoch* einzustufen, die Feldkapazität von $497 \text{ l/m}^3 \cdot 10 \text{ dm}$ wird als *hoch* eingestuft. Bis in 1 m Tiefe liegen *geringe* kf-Werte vor. Im Tiefenprofil tritt ab ca. 70 cm Tiefe eine mindestens 1 m mächtige tonige Lage auf. Ein Grobsandhorizont wurde erst ab $2,2 \text{ m}$ Tiefe vorgefunden. Die Auswaschungsgefährdung ist als *sehr gering* eingestuft worden, da ein hohes Rückhaltevermögen in den Tonen gegeben ist.

Die N_{min} -Gehalte sind im Frühjahr jeweils nach der Düngung gemessen worden. Im Herbst 1999 liegen $70 \text{ kg/ha N}_{\text{min}}$ vor, die zu einer potentiell vermehrten N-Auswaschung führen

können. Der N_{\min} -Vorrat im Frühjahr sowie der Entzug im Winter ist anhand der Messungen nicht abschätzbar.

Im Juli/August 1999 werden erhöhte Nitrat- (75 mg/l), Calcium- und Kaliumgehalte im Bodenwasser gemessen, die die Begüllung und Düngung im Frühjahr 1999 widerspiegeln. Die Nitratwerte liegen im Dezember 1999 ähnlich hoch vor und fallen dann bis Mai 2000 kontinuierlich. Während Nitrat bereits sehr frühzeitig (ab November) auf den Maximalwert 60 mg/l ansteigt, steigen die Chlorid, Sulfat- und Calciumkonzentrationen bis März 2000 an und erreichen im Mai 2000 ihren jeweiligen Maximalwert (Chlorid 400 mg/l, Sulfat 600 mg/l und Calcium 40-120 mg/l). Im Grundwasser ist im April 2000 ein Nitratanstieg von 3 auf 50 mg/l sowie ein Natrium-, Chlorid- und Sulfatanstieg von ca. 20 auf 250 mg/l zu verzeichnen. Der Grundwasserspiegel lag im März 2000 mit 5 cm nur knapp unter der Geländeoberkante, sodass eine Auswaschung der Stoffe aus dem Boden mit dem Grundwasser erfolgte. Zusätzlich ist ein Austrag von Nitrat und Salzen direkt nach der Ernte in das Bodenwasser zu verzeichnen.

- Bw: sehr hohe elektrische Leitfähigkeit (Maximum $2500 \cdot 10^{-6}$ S/cm), hohe Chloridgehalte ab Januar 2000 (400 mg/l), ab März hohe Sulfatgehalte (700 mg/l), Juli 1999 bis Februar 2000 Nitrat zwischen 50-80 mg/l, Calcium ganzjährig zw. 30-150 mg/l
- Grundwasser: sehr geringe Gehalte während Grundwasserhöchststand im März 2000; ab Mai 2000 elektrische Leitfähigkeit $>1000 \cdot 10^{-6}$ S/cm), hohe Chloridgehalte ab April 2000 (130-240 mg/l), April Sulfatgehalt von 250 mg/l, April-Juni 2000 Nitrat leicht unter 50 mg/l, Calcium im Juli/August 1999 sowie April/Mai 2000 bei 50 mg/l
- Grundwasser im März 2000 nur 5 cm unter Flur

Trotz hoher N_{\min} -Werte nach der Düngung und hoher Restnitratgehalte im Herbst, ist die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser aufgrund der Bodeneigenschaften nur sehr gering. Ein Austrag ins Grundwasser findet allerdings bei Hochwasser statt.

Probe 24: Schnittwiese, Umtriebsweide Z300

Die Fläche wurde nicht gedüngt. Der erste Schnitt fand 1999 Mitte Mai statt. Die Phosphorversorgung war 1999 *optimal*, im Jahr 2000 lagen *besonders hohe* Gehalte vor. Die Versorgung mit Kalium ist nicht ausreichend, die Magnesiumversorgung ist dagegen *besonders hoch*. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen beziehungsweise hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Der lehmige Oberboden ist *stark humos* und führt eine *hohe* KAK. Bis in 1 m Tiefe liegt ein lehmiger Sand vor, dessen Feldkapazität und Wasserdurchlässigkeit als *mittel* eingestuft werden. Die Auswaschungsgefährdung wurde mit *sehr gering* berechnet, da das Grundwasser überwiegend sehr hoch liegt, ist eine gewisse Auswaschungsgefahr gegeben. Nach dem Schnitt im Mai 1999 steigen die N_{\min} -Gehalte von 27 auf 40 kg/ha.

Probe 26: Umtriebsweide Z323

Die Fläche wurde mineralisch mit N gedüngt. Im Jahr 1999 wurden Ende April die Rinder auf die Weide getrieben. Die Phosphorversorgung schwankt zwischen *mittel* und *optimal*. Kalium und Magnesium liegen im Überschuss vor. Im Herbst liegen jeweils die höchsten P- und K-Gehalte vor. Die Fläche wird durch Qualmwasser beeinflusst.

Im tonigen Oberboden sind eine *sehr hohe* KAK und ein hoher Humusgehalt ausgebildet. Darunter liegen bis in 50 cm Tiefe sandig-lehmige Abfolgen mit einer *mittleren* FK und einem *hohen* bis *mittleren* kf-Wert. Bis in mindestens 1 m Tiefe ist eine schwach schluffige Tonschicht mit *hoher* FK und *geringem* kf-Wert ausgebildet. Aufgrund der Bodeneigenschaften ist die Fläche nur als *gering* austragsgefährdet eingestuft worden. Allerdings zeigen die an verschiedenen Stellen erbohrten Profile sehr inhomogene Abfolgen. Die N_{\min} -Gehalte sind im Frühjahr und Herbst 1999 am höchsten. Im Jahr 2000 liegen die N_{\min} -Gehalte unter 15 kg/ha.

Probe 27: Umtriebsweide Z322

Die Fläche wurde mineralisch mit N gedüngt. 1999 wurden Ende April die Rinder auf die Weide getrieben. Die Versorgung mit Phosphor und Kalium steigt innerhalb des untersuchten Zeitraumes. Die Phosphorgehalte liegen 1999 im *niedrigen* Bereich, 2000 werden *optimale* Gehalte bereits im Juli erreicht. Die Versorgung mit Kalium liegt 1999 im *optimalen* Bereich, während 2000 eine Überversorgung vorliegt. Die Magnesiumgehalte sind ständig zu hoch. Die Fläche wird durch Qualmwasser beeinflusst.

Der lehmige Oberboden besitzt eine *hohe* KAK und einen mittleren Humusgehalt. Der Lehm geht ab 50 cm Tiefe in einen Ton über (der jedoch nicht auf dem gesamten Schlag anzutreffen ist), wobei das Rückhaltevermögen zunimmt. Die Durchlässigkeit ist im oberen Meter durchgehend als *gering* einzustufen, die FK liegt mit 442 l/m³ im *hohen* Bereich. Ab 2 m Tiefe tritt eine Mittel- bis Grobsandschicht auf. Generell ist die Auswaschungsgefahr als *sehr gering* eingestuft worden.

Der N_{min}-Gehalt im Herbst 2000 ist mit 120 kg/ha aussergewöhnlich hoch. Die übrigen Werte liegen zwischen 13 und 30 kg N_{min}/ha.

Probe 28-33: Schnittwiese F8

Die Fläche wurde nicht gedüngt. Der erste Schnitt fand im Jahr 1999 Ende Juni, der zweite Anfang September statt. Die Phosphorgehalte sind in allen Proben als *niedrig* einzustufen. Die Kaliumgehalte schwanken zwischen *mittel* und *optimal* und die Magnesiumgehalte liegen überall im *besonders hohen* Bereich. Die Bodenbildung wird durch Überschwemmungen beziehungsweise hochstehendes Grundwasser beeinflusst.

Alle Standorte weisen eine *sehr hohe* KAK und einen *hohen* bis *sehr hohen* organischen Substanzgehalt im Oberboden auf. Im gesamten Bereich der Fläche F8 wurde auf dem ersten Meter ein schluffiger Ton erbohrt, der eine *geringe* bis *mittlere* Durchlässigkeit sowie eine *hohe* FK aufweist. In den Senken (F8/3) tritt bis zu 1 m mächtiger lehmiger Ton bis reiner Ton ab ca. 170 cm Tiefe auf. Die höheren Bereiche von F8/1 weisen dagegen eine geringer mächtige Tonschicht zwischen 250 und 270 cm Tiefe auf, darunter folgt Grobsand. Auf den Rücken von F8/4 liegt die Tonschicht in einer Tiefe von 290 cm. Die Austragsgefährdung ist demzufolge als *gering* bis *sehr gering* eingestuft worden.

Die N_{min}-Vorräte liegen im Frühjahr 1999 zwischen 17 und 25 kg/ha. Im Herbst 1999 liegen die Reststickstoffgehalte unterhalb von 5 kg N_{min}/ha.

Probe 29 (Fläche 8/4): Im Grundwasser liegen nach der Überflutung im April 2000 erhöhte Gehalte für Chlorid, Sulfat, Calcium, Magnesium und Natrium vor. Im März, als das Grundwasser nur kurz unterhalb der GOK stand, sind dagegen sehr geringe Konzentrationen gemessen worden. Des weiteren ist für diverse Stoffe (Sulfat, Calcium, Natrium, Magnesium, Nitrat) ein Anstieg auf das 2- bis 3-fache von September bis Dezember 1999 zu verzeichnen.

Probe 30 (Fläche 8/3): Grundwasser: Hier ist im Jahr 1999 der herbstliche Anstieg der Konzentrationen durch einen auffällig geringen Oktoberwert unterbrochen. Von August auf September steigen die Gehalte von Sulfat, Calcium, Magnesium und Nitrat. Während des Hochwassers im März/April 2000 sind die Gehalte von Chlorid, Magnesium und Ammonium gestiegen.

Probe 32 (Fläche 8/1): Grundwasser: Mit dem Anstieg des Grundwassers im März 2000 sinken die Gehalte von Chlorid, Sulfat, Calcium, Kalium, Mg, P, Na und Ammonium. Beim weiteren Anstieg bzw. Hochwasser ist ein starker Anstieg der Konzentrationen von Chlorid, Nitrat, Sulfat, Calcium, Kalium, Mg, Na und Ammonium zu verzeichnen.

7. Quellenverzeichnis

ABDELMAGID, H. M, & M. A. TABATABAI (1987): Nitrate reductase activity of soils.- Soil Biol. Biochem., 19 Nr. 4, 421-427

AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZ- UND SCHONGEBIETEN DER DGB (1992): Strategie zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastung des Grundwassers mit Nitrat, Oldenburg.

ALFRED TOEPFER AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ (NNA) (2001): Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft – Ziele, Instrumente und Kosten einer umweltschonenden und nachhaltigen Landnutzung im niedersächsischen Elbetal.- Synthesebericht des Forschungsvorhabens., Schneverdingen.

ANDRESEN, J. (1996): Fehlerquellen beim Einsatz von Saugkerzen, Hamb. Bodenkundl. Arb., 31: 348 S.

ARBEITSGRUPPE BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung.-4. Aufl., 392 S.; Hannover.

ARGE-ELBE (1993-1997): Wassergütedaten der Elbe von Schmilka bis zur See – Zahlentafeln. Hamburg

ARUM (ARBEITSGEMEINSCHAFT UMWELT- UND STADTPLANUNG) (2000): Bestandsanalysen, Ziel- und Maßnahmenentwicklung Boden/Wasser, Leitbildentwicklung „Nachhaltige Landnutzung“- In: Zwischenbericht NNA-Projekt „Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft im niedersächsischen Elbetal“, 70-80.

ARUM LWK HANNOVER, ILN (2000): Ökonomische Aspekte der Umsetzung von Leitbildern des Naturschutzes im niedersächsischen Elbetal.- “- In: Zwischenbericht NNA-Projekt „Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft im niedersächsischen Elbetal“, 103-111.

ARUM (ARBEITSGEMEINSCHAFT UMWELT- UND STADTPLANUNG) (2001): "Leitbilder und Maßnahmen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Boden- und Wasserressourcen im niedersächsischen Elbetal" - Konzepte zur Bewältigung landwirtschaftlich-naturschutzfachlicher Konfliktfelder in Auenökosystemen – Ein Beitrag zum BMBF-Forschungsvorhaben „ Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft“, Hannover.

AURAND, K. & U. HÄSSELBARTH [HRSG.] (1991): Die Trinkwasserverordnung.- 710 S., 3. Auflage, Schmidt, Berlin.

BENZLER, H. (1967): Bodenkarte 1:25.000, Blatt 2630 Boizenburg.

BEYENE, T. (2001): Risk assessment of heavy metals in top soils and fodder plants of flood plains along the Middle Elbe River (Lower Saxony, Germany).- MSc Thesis, Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachhochschule Nordostniedersachsen, Suderburg; unveröffentlicht.

BLUME, H.-P. (HRSG. (1992): Handbuch des Bodenschutzes - Bodenökologie und -belastung Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen.-2. Aufl., 794 S., ecomed Verlagsgesellschaft; Landsberg.

BMU - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1997): Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland.- 90 S., Bonn.

7. Inhaltsverzeichnis

BMU - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1998): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms.- 147 S., Bonn.

BODENKUNDLICHE PFLICHTENHEFTE FÜR NIEDERSACHSEN (HEFT 1) (1994): Leitfaden für die Erstellung bodenkundlicher Stellungnahmen bzw. Gutachten in Grundwassergewinnungs- und Einzugsgebieten in Niedersachsen, 2. Auflage, 33.S. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

BUNDES - BODENSCHUTZGESETZ und BUNDES - BODENSCHUTZ- und ALTLASTENVERORDNUNG (BBODENSCHG, BBODSCHV) (1999).- Bonn

CASPERS, G. (in Vorbereitung): Geologische Karte von Niedersachsen 1:25.000, Blatt 2630 Boizenburg.

CASPERS, G. & SCHWARZ, C. (1996): Bericht zur geologischen Übersichtskartierung von Amt Neuhaus (Niedersachsen).- Ber. NLFb, Archiv-Nr. 114 428: 16 S., 5 Kt.; Hannover (NLFb) [unveröff.].

CASPERS, G. & SCHWARZ, C. (1998): Fluviale und äolische Prozesse im Gebiet der unteren Elbe bei Neuhaus (Niedersachsen) seit dem Weichsel-Spätglazial.-In: Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover, **38**, 49-64; Hannover.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2000) (Station Boizenburg und Neuhaus: Niederschlagshöhen im Mittel der Jahre 1985-2000; Schnackenburg-Kapern: 1985-1996).

DIERKING, H. (1992): Untere Mittelelbe-Niederung zwischen Quitzöbel und Sassendorf - Naturschutzfachliche Rahmenkonzeption.-Gutachten im Auftrag des Niedersächsischen Landesverwaltungsamtes: 1-60 + Kartenanhang.

DVGW (DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V. (1996): Wassergewinnung und Wasserwirtschaft, Band 1: 965 S., München.

DVWK - SCHRIFTEN 111 (1996): Wasserwirtschaftliche Forderung an die Landnutzungsplanung zur Verminderung des Nitrataustrages insbesondere in Wasserschutzgebieten.- Bonn.

FELDMANN, L. (1993): Einführung in die Bodenkunde.- Skriptum, 159 S., unveröff.; Clausthal-Zellerfeld.

FINK, A. (1989): Dünger und Düngung - Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen.- 442 S., Verlag Chemie GmbH; Weinheim.

FRANKE, C. & G. SPATZ (2001): Ertrag, Qualität und floristische Zusammensetzung von Grünlandvegetation an der Unteren Mittelelbe. Auswirkungen von Naturschutzmaßnahmen und Verwertungsoptionen. Ein Beitrag zum BMBF-Forschungsvorhaben „Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft“, Witzenhausen.

Frede, H.-G. (1975): Größe, Ursachen und Bedingungen von Boden- und Dünger-Stickstoff-Verlusten durch Denitrifikation aus dem Ap-Horizont einer Acker-Parabraunerde aus Löss.- Göttinger bodenkundliche Berichte, 34:69-213.

FREDE, H.-G. & DABBERT, S. (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft.- 451 S., ecomed Verlagsgesellschaft; Landsberg.

7. Inhaltsverzeichnis

HINZE, C., HÖFLE, H.-C., JORDAN, H., MENGELING, H. & MEYER, K.-D. (1993): Quartärgeologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1:500.000.

FUTTERMITTELVERORDNUNG (1992); Bundesgesetzblatt Nr. 1992

HERMS U. & G. BRÜMMER (1983): Einflußgrößen der Schwermetalllöslichkeit und –bindung in Böden. J. Plant nutrition soil science. 147. 400-424.

HÖLTING, B. (1992): Hydrogeologie. - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.- 4. Aufl., 415 S., Enke-Verlag; Stuttgart.

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK UND UMWELTMANAGEMENT mbH (2000): Profilschnitt – Bohrprofile nach DIN 4023. Projekt Elbe – Ökologie.

KAHL, L., H. SÄNGER & B. URBAN (1994): Boden Reinigung durch Pflanzen. Landschaftsarchitektur. 24 Jg.: 45-47.

KOENIG V. & O. KRAUSE (1997): Untersuchungen zur Immobilisierung von Cadmium durch die Aufkalkung kontaminierter Böden. VDLUFA-Schriftenreihe 46. 575-578.

KRÜGER, F., PRANGE, A. & E. JANTZEN (1999): Ermittlung geogener Hintergrundwerte an der Mittel- und Unterelbe und deren Anwendung in der Beurteilung von Unterwassersedimenten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten. 44. 39-51.

KUES, J. & F. RAISSI (1995): Leitfaden für die Erstellung bodenkundlicher Stellungnahmen bzw. Gutachten in Grundwassergewinnungs- und Wassereinzugsgebieten in Niedersachsen.- Arbeitshefte Boden 1/1995, 3-32, Hannover.

KUNTZE, H., ROESCHMANN, G. & SCHWERDTFEGER, G. (1994): Bodenkunde.-5. Aufl., 424 S., Ulmer-Verlag; Stuttgart.

VDLUFA [HRSG] (1991): Methodenbuch 1.- Die Untersuchung von Böden.- 4. Aufl.; Darmstadt.

MEIBEYER, W. (1980): Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 58 Lüneburg.-Hrsg. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumforschung; Bonn-Bad Godesberg.

MEYER, K.-D., BRANDES, H. & BREMER F. (1998): Geologische Karte von Niedersachsen 1:25.000, Blatt 2730 Bleckede.

MUNSELL SOIL COLOR CHART, BALTIMORE

NIEDER, R., SCHOLLMAYER, G. & H. ZAKOSEK (1989): Die Rolle der Denitrifikation in landwirtschaftlich genutzten Böden (eine Literaturanalyse).- Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 30, S. 345-355.

NLFB - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1995) Bodenübersichtskarten Niedersachsen 1 : 50 000 (BÜK 50): L 2730 Boizenburg, L 2932 Dannenberg, L 2934 Lenzen; Hannover.

OTTOW, J. C. G. (1992): Denitrifikation, eine kalkulierbare Größe in der Stickstoffbilanz von Böden ? – Wasser und Boden, 9, 578-581.

REDECKER, B. (2001): Schutzwürdigkeit und Schutzperspektiven der Stromtal-Wiesen an der unteren Mittel- und Unterelbe. Ein vegetationskundlicher Beitrag zur Leitbildentwicklung; Lüneburg.

7. Inhaltsverzeichnis

REUTER, G. (1975): Manuskriptkarte TK 2933 Gr. Gusborn zur geologischen Übersichtskarte, GÜK 200.-unveröff. Manuskript; Hannover (NLfB).

SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1989): Lehrbuch der Bodenkunde.-12. Aufl., 491 S., Enke-Verlag; Stuttgart.

SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998): Lehrbuch der Bodenkunde.- Enke-Verlag; Stuttgart. 14. Auflage, 494 S.

SCHINNER, F., ÖHLINGER, R. & KANDELER, E. (1990 und 1993): Bodenbiologische Arbeitsmethoden.- Springer Verlag; Berlin, New York.

SCHWARTZ, R. (1999): Beurteilung der Stoffeinträge über frische Schlämme für die Böden in der rezenten Aue und in zukünftigen Außendeichsflächen der unteren Mittelalbe.-In: Hamb. Bodenkundl. Arb., 44, 84-92; Hamburg.

SCHWARTZ, R., NEBELSIEK, A. & GRÖNGRÖFT, A. (1999): Das Nähr- und Schadstoffdargebot der Elbe im Wasserkörper sowie in den frischen schwebstoffbürtigen Sedimenten am Meßort Schnackenburg in den Jahren 1984-1997.-In: Hamburger Bodenkundl. Arb., 44, 65-83; Hamburg.

SERRUDO IGNACIO, W. E. (2000): Bearbeitung standortkundlicher Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes zur Ermittlung des pflanzenverfügbaren Wasservorrates und der Austragsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen in der Elbtalau.- MSc Thesis, Fachhochschule Nordostniedersachsen, Suderburg; unveröffentlicht.

TUREKIAN, K. & K.-H. WEDEPOHL (1971) zitiert in: RENE SCHWARTZ (1999): Beurteilung der Stoffeinträge über frische Schlämme für Böden in der rezenten Aue und in zukünftigen Außendeichsflächen der unteren Mittelalbe.- Hamb. Bodenkundl. Arb., 44: 84-92.

UBA – UMWELTBUNDESAMT (1997): Nachhaltiges Deutschland. Wege zu einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung.- 355 S., ESV, Berlin

UNCED – UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENTS AND DEVELOPMENT (1992): Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro – Dokumente, Agenda 21.- Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 289 S., Bonn.

URBAN, B. & HILMER C. (1999): Leitfaden zu bodenökologischen Laboruntersuchungen. - FH Nordostniedersachsen. 42 S., unveröff. , Suderburg.

URBAN, B., BRENNER-HERRENBRÜCK, C. & A. HEINS (2001): IN: ALFRED TOEPFER AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ (NNA): Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft – Ziele, Instrumente und Kosten einer umweltschonenden und nachhaltigen Landnutzung im niedersächsischen Elbetal.- Synthesebericht des Forschungsvorhabens., Schneverdingen.

WEISSERMEL, W. (1898): Geologische Karte von Niedersachsen, GK 2935, Schnackenburg; Berlin.

WENDLAND, F. (1992): Die Nitratbelastung in den Grundwasserlandschaften der „alten“ Bundesländer (BRD).-In: Forschungszentrum Jülich GmbH (Hrsg.), Berichte aus der ökologischen Forschung, Band 8.

WENDLAND, F., ALBERT, H., BACH, M. & R. SCHMIDT. (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland.- Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Wiechmann, H. (1999): Semiterrestrische Böden – Anmerkungen zur Systematik der Auenböden

WILD, A. (1995): Umweltorientierte Bodenkunde - Eine Einführung.-328 S., Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg, Berlin, Oxford.

Internet: Quellen

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR DIE REINHALTUNG DER ELBE (ARBE-ELBE).
<http://www.ARGE-elbe.de>

ELBE INFORMATION SYSTEM (ELBIS). <http://www.elbis.de>

LUFÄ AUGUSTENBERG: <http://www.infodienst-mlr.bwl.de/la/lufa/literat.htm>

INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE, <http://www.IKSE.de>

LÜNEBURGER VERÖFFENTLICHUNGEN ÜBER DIE ELBE: <http://vip.fh-lueneburg.de/u1/gym03/expo/jonatur/umwelt/geplante/elbtal/landwirt/landw2.htm>

Ostergaard Hansen B. (1997): Sewage sludge amended soils and heavy metals.
<http://soilslab.cfr.washington.edu>.

TVO, Datenbank der umwelt-online, <http://www.umwelt-online.de>, 2001

WASSERRAHMENRICHTLINIE DER EUROPÄISCHEN UNION, GEMEINSAMER STANDPUNKT,
22.OKTOBER 1999, http://europa.eu.int/eur-lex/de/lif/reg/de_register_15102020.html,
375L0440