

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Umweltinformationssystem (UIS) Saidenbachtalsperre	3
2.1	UIS- Konzeption	3
2.2	UIS- Datengrundlage und Datenqualität	11
3	Untersuchungsgebiet	17
3.1	Lage und Administration	17
3.2	Klima	18
3.3	Geologie	18
3.4	Hydrogeologie	19
3.5	Boden	20
3.6	Hydrologie	22
3.7	Morphologie	22
3.8	Landnutzung	23
3.9	Gesetzlicher Rahmen zum Trinkwasserschutz	24
4	Felderkundungen zur Hydrogeologie	28
4.1	Methoden und Ziele	28
4.2	Ergebnisse aus refraktionsseismischen Untersuchungen	29
4.3	Schlussfolgerungen und Hypothesen	31
4.3.1	Regelfall	31
4.3.2	Ausnahmefall	32
5	GIS-Methoden zur Gefährdungsabschätzung	34
5.1	Analysen zum Naturraum	34
5.1.1	Generierung des Digitalen Geländemodells	35
5.1.2	DGM-abgeleitete Reliefparameter	39
5.1.2.1	Einzugsgebiete	41
5.1.2.2	Höhenschichtung und Schummerung	42
5.1.2.3	Hangneigung	44
5.1.2.4	Hanglänge	45
5.1.2.5	Exposition	45
5.1.2.6	Vertikal- und Horizontalwölbung	46
5.1.2.7	Potentielle Erosionsdisposition	46
5.2	Analysen zum Landschaftswasser- und Stoffhaushalt	48
5.2.1	Methodik und Programmablauf	48
5.2.2	Niederschlags- Abfluss- Bilanzierung	52
5.2.2.1	Modelleingangsdaten Niederschlag, Temperatur und Luftfeuchte	53
5.2.2.2	Verdunstungsmodell	54

5.2.2.3	Direktabflussmodell	57
5.2.2.4	Scheitelabfluss- und Translationsmodell	61
5.2.2.5	Bodenwasserhaushaltsmodell	62
5.2.2.6	Validierung der Modelle	66
5.3	Schlussfolgerung	69
6	Regionale Belastungssituation	70
6.1	Belastungsquellen	70
6.1.1	Grundlagen zum Stoffeintrag über die Bodenzone	72
6.2	Hydrochemische Charakterisierung anthropogen unbeeinflussten Grundwassers	74
6.3	Hydrochemische Charakterisierung des Brunnenwassers	75
6.3.1	Analysenmethoden	75
6.3.2	Qualität der Brunnenwasseranalysen	76
6.3.3	Physikochemische Brunnenwasserbeschaffenheit	76
6.3.4	Chemische Brunnenwasserbeschaffenheit	78
6.3.5	Hygienische Brunnenwasserbeschaffenheit	84
6.4	Versauerung der Brunnenwässer	85
6.4.1	Ursachen der Versauerung	85
6.5	Gesundheitsgefährdung	88
7	Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Entwicklung der Brunnenwasserqualität an Referenzbrunnen	90
7.1	Geofaktoren	90
7.2	Niederschlags-Abfluss-Analyse im Beprobungszeitraum	91
7.3	Isotopenstudien zum Nitrateintrag	95
7.3.1	Ergebnisse aus den Isotopenstudien	97
7.4	Fallstudien zum Schadstoffeintrag	100
7.4.1	Schadstoffeinträge aus diffusen Belastungsquellen	101
7.4.2	Schadstoffeinträge aus lokalen Belastungsquellen	108
8	Diskussion und Schlussfolgerungen zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Brunnenwasserqualität	111
8.1	Regelfaktor Morphologie	111
8.2	Regelfaktor Landnutzung	113
8.2.1	Nitratbelastung	115
8.2.1.1	Räumliche Abhängigkeit von den Hauptnutzungstypen	115
8.2.1.2	Räumlich - zeitliche Abhängigkeit von Fruchtart und Flächenbewirtschaftung	116
8.2.1.3	Validierung der Untersuchungsergebnisse	118
8.2.1.4	Zusammenfassung	120
8.3	Regelfaktor Sickerwasser – Zwischenabfluss	122
8.3.1	Nitrat als Tracer	123

8.4	Regelfaktor Basisabfluss	127
9	Schlussfolgerungen zu den angewandten Methoden	128
9.1	Handlungsempfehlungen zur Brunnenwasserbeprobung	128
9.2	Stickstoffflächenbilanzen und Stickstoffbodenuntersuchungen	130
9.3	Entlastungsmaßnahmen zur Verbesserung der Brunnenwasserqualität	130
9.4	GIS-Methoden	133
10	Zusammenfassung	135
11	Literatur	a
12	Anhang	m

Abbildungsverzeichnis

1-1	Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre – aus dem Digitalen Geländemodell abgeleitetes Schummerungsmodell mit Höhenschichtung	1
2-1	Desktop-Oberfläche des UIS Saidenbachtalsperre – ArcView-Extensionen „GIS Hydrogeologie“ (WIESER, 2000) und „DGMHDG“ (THÜRKOW, 2000a)	4
2-2	Pfadhierarchie zur Speicherung dateigebundener Saidenbachprojektdaten nach WIESER (2000)	5
2-3	ArcView-Eingabemasken zur Registrierung und Sichtung projektbezogener Daten (WIESER, 2000)	5
2-4	AML-Applikation „GIS Hydrogeologie“ (WIESER, 2000) – Regionalisierung von Punktmessdaten zum pH-Wert durch IDW-Interpolation	6
2-5	ACCESS-Applikation „AMETADAT“ (HERRMANN & THÜRKOW, 2000) zur Speicherung flächenbezogener Bewirtschaftungsdaten aus der Sächsischen Schlagkarte	7
2-6	Analysenauftrag in der Datenbank „HYGEO“	8
2-7	MAP OBJECTS / DELPHI- Applikation „GISHDG“ (Wieser, 2000) für den Datenbankzugriff auf das Informationssystem „HYGEO“	9
2-8	Schema zur Strukturierung des UIS Saidenbachtalsperre	10
2-9	Fehlerhafte Darstellung von Bodeninformationen auf Grund unterschiedlicher Maßstabsebenen der Eingangsdaten MMK und FSK	12
3-1	Lage des Untersuchungsraums	17
4-1	Messprinzip der Refraktionsseismik	29
4-2	Refraktionsseismisches Profil im Anstrom des Brunnens SB/H24 in Hahselbach	30

4-3	Refraktionsseismisches Profil im Anstrom des Brunnens SB/F38 in Forchheim	30
4-4	Schematische Darstellung der Abflussprozesse in Brunneneinzugsgebieten mit hydrogeologisch unterschiedlich zu bewertenden Gesteinskomplexen und typischen Schüttungskurven der Brunnen	32
4-5	Lage des Seismikprofils zu Störungen auf der Grundlage der Tektonischen Karte der Saydaer Struktur (KEMNITZ, 1988)	33
5-1	Weg zum DGM	36
5-2	Aufwändige und generalisierte Höherfassung morphologischer Strukturen am Beispiel des Staumauerfußes der Saidenbachtalsperre	38
5-3	ARVIEW-AVENUE-Applikation „DGMHDG“ (THÜRKOW, 2000a) zur effektiven digitalen Reliefanalyse im Untersuchungsraum	41
5-4	2,5 D-Visualisierung von DGM, Vorflutereinzugsgebieten, Gewässernetz und Brunnenstandorten	42
5-5	Süd-Nord-Querschnitt durch das Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre auf Grundlage des DGM	43
5-6	Höhenschichtenverteilung im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre abgeleitet aus dem DGM	43
5-7	Prozentuale Verteilung der Hangneigungsklassen nach KA4 und ausgewählten Nutzungsarten (1993) im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre	44
5-8	Expositionsverteilung der Geländeoberfläche des Einzugsgebietes Saidenbachtalsperre	45
5-9	Prozentuale Verteilung des LS-Faktors und ausgewählter Nutzungsarten (1993) im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre	47
5-10	Datenebenen und Programmablauf von „WRAP“ zur einzugsgebietsbezogenen Bilanzierung des Landschaftswasserhaushalts und Bewertung des Stoffeintrags und Stoffaustrags	50
5-11	Hauptmenü der GIS-Applikation „WRAP“ einschließlich des Untermenüs zur Selektion der Klimadaten und einem Beispiel für ein dBase-Exportdatenfile nach Abschluss der N-A-Berechnungen	52
5-12	Modell eines Einzugsgebietes	53
5-13	Mittlerer zeitlicher Verlauf der Wasserhaushaltskomponenten für das Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre berechnet mit den N-A-Modellen in „WRAP“ (Zeitreihe 1975-1999)	68
6-1	Stickstoffaufnahme von Mais, Winterfutterraps und Weidelgrasuntersaat sowie Stickstoffquellen und mineralisierte Restmengen im Boden (nach Michalski, 2000 verändert)	73
6-2	Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Ionenbilanzfehler für 623 Vollanalysen von Hausbrunnenwässern	76
6-3	Häufigkeitsverteilung sowie Maximum, Minimum und Medianwerte ausgewählter Feldparameter zur Analyse der Brunnenwasserbeschaffenheit aus der gesamten Beprobungskampagne (6/96 bis 12/2000)	77

6-4	Histogrammdarstellungen und Statistik (Maximum, Minimum, arithmetisches Mittel) zur Häufigkeitsverteilung von ausgewählten Kationen, Anionen und Metallkonzentrationen aus der gesamten Beprobungskampagne (6/1996 bis 12/2000)	79
6-5	Prozentuale Verteilung unterschiedlicher Klassifizierungen der Nitratkonzentration in den Gemarkungen der Brunnendörfer aus der Übersichtsbeprobung (Referenzbrunnenzeitreihen als Medianwerte)	80
6-6	PIPER-Diagramme für a) dem Regelfall entsprechende und b) durch Salzeintrag beeinflusste Brunnenwasserproben	84
6-7	Prozentuale Verteilung unterschiedlicher pH-Wert-Klassifizierungen in den Gemarkungen der Brunnendörfer	85
6-8	Monatliche Niederschläge und pH-Wert-Verlauf ausgewählter Referenzbrunnen	88
7-1	Mit „WRAP“ für Flachbrunneneinzugsgebiete des Untersuchungszeitraums berechnete mittlere Raten des Direktabflusses (N_D) sowie der Versickerung (A_S) in der Vegetations- (VZ) und vegetationslosen (VIZ) Zeit	93
7-2	Mit der Rationalmethode berechnete Durchflussganglinien zur Beschreibung des mittleren Translationsverhaltens der Referenzbrunneinzugsgebiete	94
7-3	N-A-Verhalten einer Drainage etwa 200 Meter westlich zum Referenzbrunnen SB/H06 während einer Feuchteperiode im Herbst 1998 (Quelle der Rohdaten: MICHALSKI, 2001 mdl. Mitt.)	95
7-4	$\delta^{15}\text{N}/\delta^{18}\text{O}$ -Relation im Nitrat von Trinkwasserbrunnen der Brunnendörfer Haselbach, Forchheim und Lippersdorf und vom Vorfluter Saidenbach (Quelle: STRAUCH, KOWSKI, SCHRECK & THÜRKOW, 1999)	98
7-5	Nitratgehalte und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ausgewählter Referenzbrunnen im Zeitraum zwischen Juni97 bis Mai99	99
7-6	Box-Whisker-Diagramm zur Darstellung der Variabilität der $\delta^{15}\text{N}$ -Gehalte im Brunnenwassernitrat ausgewählter Referenzbrunnen und im Vorfluter Saidenbach	99
7-7	Analyse zur Entwicklung der Nitratbelastung des Referenzbrunnens SB/F01 in Abhängigkeit von Nutzung, Bewirtschaftung (Betriebsmitteleinsatz) und N-A-Prozessen im Brunnenanstrom	102
7-8	Analyse zur Entwicklung der Nitratbelastung des Referenzbrunnens SB/F09 in Abhängigkeit von Nutzung, Bewirtschaftung (Betriebsmitteleinsatz) und N-A-Prozessen im Brunnenanstrom	105
7-9	Analyse zur Entwicklung der Nitratbelastung des Referenzbrunnens SB/F62 in Abhängigkeit von Nutzung, Bewirtschaftung (Betriebsmitteleinsatz) und N-A-Prozessen im Brunnenanstrom	107
7-10	Analyse zur Entwicklung der Brunnenwasserbeschaffenheit ausgewählter Parameter des Referenzbrunnens SB/F68	108

7-11	2,5 D-Ansicht auf das reliefbasierte Einzugsgebiet des Brunnens SB/H06 mit Silo im Brunnenanstrom	109
7-12	Analyse zur Entwicklung der Nitratbelastung des Referenzbrunnen SB/H06 in Abhängigkeit einer lokalen Belastungsquelle und N-A-Prozessen im Brunnenanstrom	110
8-1	Box-Whisker-Diagramm zur Darstellung der Nutzungsabhängigkeit der Nitratgehalte in den Trinkwasserbrunnen (Referenzbrunnen als Medianwerte)	115
8-2	Box-Whisker-Diagramm zur Darstellung der Abhängigkeit der Brunnenwassernitratgehalte von der Fruchtart sowie zugehöriger Düngung und Auswaschungszeiträume im Brunnenanstrom	117
8-3	Monatliche Infiltrationsraten und zugehörige Ackerkulturen im Brunnenanstrom während des Untersuchungszeitraums mit mittleren Nitratgehalten der Trinkwasserbrunnen	120
8-4	Box-Whisker-Diagramme zur Darstellung mittlerer Nitratkonzentrationen in Brunnen mit Ackerlandeinzugsgebieten in Abhängigkeit von der „WRAP“-berechneten Infiltrationsrate im Beprobungsmonat sowie 1, 2 und 3 Monate vor der Beprobung	123
8-5	Zeitliche Entwicklung der mittleren Nitratkonzentration und der Standardabweichung	125

Tabellenverzeichnis

2-1	Beispiele für GIS-Techniken zur Geodatenanalyse	6
2-2	Datenquellen und Qualität wesentlicher UIS-Eingangsdaten	13
3-1	Bodentypenanteile im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre	21
3-2	GIS-Statistik zur prozentualen Verteilung der Nutzungs- und Biotoptypen (1993) im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre	24
3-3	Räumliche Verteilung der Trinkwasserschutzzonen im Einzugsgebiet	26
4-1	Kooperationspartner und in Felduntersuchungen verwandte Methoden zur detaillierten Erkundung hydrogeologischer Verhältnisse in Brunneinzugsgebieten des Untersuchungsraums	28
5-1	Ableitung von ausgewählten Reliefparametern aus einem DGM mittels ARC/INFO und ARCVIEW im UIS Saidenbachtalsperre	40
5-2	Niederschlag und potentielle Evapotranspiration nach Monaten und Jahren des Untersuchungszeitraums und im mehrjährigen Mittel	56
5-3	Umrechnungsfaktoren ausgewählter Nutzungsarten zur Berechnung der aktuellen Evapotranspiration	56

5-4	Aktuelle Evapotranspiration für ausgewählte Nutzungsarten im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre bezogen auf die Referenzevapotranspiration von Reifland (Zeitreihe 1975-1999)	57
5-5	Ermittlung der Bodenfeuchteklassen nach dem SCS-Verfahren	58
5-6	Beschreibung und Anteile der SCS-Bodengruppen im Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre	58
5-7	Beispiel flächengewichteter CN-Werte für das gesamte Einzugsgebiet der Saidenbachtalsperre	60
5-8	Bodenarten, nutzbare Feldkapazitäten und maximal nutzbare Wasservorräte unter Waldflächen des Einzugsgebietes der Saidenbachtalsperre	63
5-9	Bodenarten und Mittelwerte des maximal nutzbaren Wasservorrats (MNW) unter landwirtschaftlichen Nutzflächen des Einzugsgebietes der Saidenbachtalsperre	64
5-10	Gesamtabflusssummen und Basisabflussanteile (1996-1999) der Vorfluter Haselbach, Saidenbach, Lippersdorfer Bach und Hölzelbergbach in die Saidenbachtalsperre	67
5-11	Vergleichende Betrachtung der N-A-Komponenten aus unterschiedlichen Untersuchungen	68
6-1	Grenzwertüberschreitungen untersuchter Parameter nach TVO und mittlere Wasserqualität der untersuchten Hausbrunnen	82
6-2	Mittlere pH-Werte in Abhängigkeit von der Exposition der Brunneneinzugsgebiete	87
7-1	Naturräumliche Standortfaktoren in den Einzugsgebieten der Referenzbrunnen	91
7-2	Mittlerer Wasserhaushalt in Flachbrunneneinzugsgebieten des Untersuchungsraums im Beprobungszeitraum (1996-2000)	92
7-3	Variationsbereiche der Isotopenfraktionierung für Nitrat unterschiedlicher Herkunft (Quelle: STRAUCH, KOWSKI, SCHRECK & THÜRKOW, 1999)	96
7-4	Charakterisierung der hydrochemischen Situation in den Referenzbrunnen	100
7-5	Mit der GIS-Applikation „WRAP“ ermittelte Abflusskomponenten, Nutzungs- und Bewirtschaftungsweisen, Nitratbelastungen sowie abgeleitete Bilanzierungen von flächenhaften Stickstoffausträgen im Einzugsgebiet des Brunnens SB/F01	102
7-6	Mit der GIS-Applikation „WRAP“ ermittelte Abflusskomponenten, Nutzungs- und Bewirtschaftungsweisen, Nitratbelastungen sowie abgeleitete Bilanzierungen zur Nitratsickerwasserkonzentration und flächenhaften Stickstoffausträgen im Einzugsgebiet des Brunnens SB/F09	104
7-7	Mit der GIS-Applikation „WRAP“ ermittelte Abflusskomponenten, Nutzungs- und Bewirtschaftungsweisen, Nitratbelastungen sowie abgeleitete Bilanzierungen von flächenhaften Stickstoffausträgen im Einzugsgebiet des Brunnens SB/F62	106

8-1	Nitratbelastung und pH-Wert in Abhängigkeit von Exposition und Landnutzung	112
8-2	Charakterisierung der Brunnenwässer durch ausgewählte Parameter in Abhängigkeit von der Landnutzung im Brunnenanstrom (Referenzbrunnen als Medianwerte)	114
8-3	Mittlere Nitratgehalte (Median) von Trinkwasserbrunnen in Abhängigkeit von Fruchtarten, Fruchtartengruppen, Düngung und Auswaschungszeiträumen im Brunnenanstrom	118
8-4	Vergleichende Betrachtung zur Nitratkonzentration in Drainagewässern (REICHEL (1998) und MICHALSKI (2000)) und in Brunnenwässern des Untersuchungsraums	119
8-5	Jahreszeitliche Entwicklung der mittleren Nitratkonzentration in den Hausbrunnen und Hypothesen zu den Hauptursachen	126
9-1	Handlungsempfehlungen zum Beprobungsumfang und zu Beprobungszeitpunkten an Trinkwasserbrunnen des gering bedeckten Lockergesteinsbereichs des Mittleren Erzgebirges	129

Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen und Symbole

A_E	Einzugsgebiet
$AET; ET_{akt}$	Aktuelle Evapotranspiration
A_G	Grundwasserabfluss
A_I	Zwischenabfluss
ANW	Aktuell nutzbarer Wasservorrat
A_O	Oberflächenabfluss
A_{UA}	Unterirdischer Abfluss
DGM	Digitales Geländemodell
DHM	Digitales Höhenmodell
GIS	Geoinformationssystem
MNW	Maximal nutzbarer Wasservorrat
N	Stickstoff
$N(h_N)$	Gebietsniederschlag
N-A	Niederschlag-Abfluss
N_D	Direktabfluss
PET	Potentielle Evapotranspiration
PSM	Pflanzenschutzmittel
RDBMS	Relationales-Datenbank-Management-System
TWSG	Trinkwasserschutzgebiet
TVO	Trinkwasserverordnung
UIS	Umweltinformationssystem
UL	Sächsisches Förderprogramm „Umweltgerechte Landwirtschaft“ nach Säch-SchAVO (1994)

AG BODEN	Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Dienste in der BRD
BITÖK	Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
DVWK	Deutscher Verband für Wasser und Kulturbau
EURES/LBB	Institut für regionale Studien in Europa/ Landwirtschaftliches Beratungsbüro
LFL	Landesanstalt für Landwirtschaft
SLFUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
STUFA	Staatliches Umweltfachamt
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung
USDA	United States Department of Agriculture
UTAB	Umwelttechnik Altenburg
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

BRA	Brache	KG	Kleegras	WEG	Weidelgras
DGL	Dauergrünland	LN	Landnutzung	WG	Wintergetreide
G	Getreide	OEL	Öllein	WGF	Wintergerste/Futter
H	Hafer	SGF	Sommergerste/Futter	ZF	Zwischenfrucht
HF	Hackfrucht	SG	Sommergetreide		
K	Kartoffel	T	Triticale		