

Bei Unterstellung von  $5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  im Basisabfluss (Abschn. 6.2) ergibt sich aus der Proportion der durchschnittlichen N-Auswaschung zur Infiltration<sup>8/6</sup> ein mittlerer Anteil des Basisabflusses von etwa  $33 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , bei  $6 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  sind es  $25 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ . Somit liegen die berechneten prozentualen Anteile am Gesamtabfluss (Tab. 5-12) zwischen 6,5 und 8,6 %. Die gemessenen Abflussspendenminima erweisen durchschnittlich 8 % Basisabflussanteile.

Also ergeben Abflussspendenmessungen sowie Berechnungen aus Hydrochemie und Wasserhaushalt nahezu identische Ergebnisse. Beide Methoden lassen den Schluss zu, dass der Basisabfluss in den Flachbrunneneinzugsgebieten durchschnittlich  $< 1/10$  der unterirdischen Abflusskomponenten ausmacht. Das Vorhandensein dieser Abflusskomponente führt zu einem durchschnittlich gegenüber Zwischenabfluss um etwa  $10 \text{ mg/l}$  reduzierten Nitratbelastungsniveau. Dennoch ist die Qualität des Brunnenwassers entscheidend von der Beschaffenheit des hypodermischen Abflusses abhängig.

## 9. Schlussfolgerungen zu den angewandten Methoden

Aus den Untersuchungsergebnissen können verallgemeinerte Aussagen zur im Rahmen dieser Arbeit angewandten und entwickelten Methodik abgeleitet werden. Eine komplexe Diskussion zu den Felduntersuchungsmethoden erfolgt in WOLF, GLÄSER & THÜRKOW (2001).

### 9.1 Handlungsempfehlungen zur Brunnenwasserbeprobung

Um die Beschaffenheit von Hausbrunnenwässern im Lockergesteinsbereich des Mittleren Erzgebirges zu kennzeichnen, sollten generell Bestimmungen der Milieuparameter, der Hauptkationen und -anionengehalte sowie hygienischer Parameter (Abschn. 6.3.1) erfolgen. Isotopenuntersuchungen ermöglichen Zusatzinformationen zur Herkunft des Nitrats und sind insbesondere dann sinnvoll, wenn Grundwasserneubildung zeitnah zu organischer und mineralischer Düngung erfolgt (Abschn. 7.3). Analysen zu Schwermetall- und Spurenelementgehalten sind angezeigt, wenn die Witterungsbedingungen mit Versauerungsschüben im Brunnenanstrom einhergehen (Abschn. 6.4.1).

Das Sicherheitsniveau zur Erfassung der tatsächlichen Belastungssituation in den Hausbrunnen ist entscheidend von der Beprobungsdichte und der Auswahl der Beprobungsstandorte abhängig (vgl. Abschn. 6.3.4). Deshalb sollten möglichst viele Brunnen mit hinsichtlich des Naturraums und der anthropogenen Beeinflussung repräsentativen Lagen eines Untersuchungsraums untersucht werden. Die Einzugsgebiete dieser Brunnen müssen folglich die mittleren Verteilungen der Landnutzung und Flächenbewirtschaftung sowie der geologischen, pedologischen und morphologischen Kennwerte widerspiegeln.

---

<sup>8/6</sup>  $A_G [\text{mm}] = (N [\text{kg/ha}] (\text{Michalski, 2000}) - N [\text{kg/ha}] (\text{Basisabfluss})) \cdot A_S [\text{mm}] (A_E \text{ Brunnen}) / N [\text{kg/ha}] (\text{Brunnen})$

Der Wasser- und Stoffhaushalt und die Flächenbewirtschaftung durch die Landwirtschaft sind an die klimatischen Verhältnisse gebunden. Abweichende Witterungsbedingungen vom langjährigen Mittel bewirken teilweise zeitliche Verschiebungen dieser Prozesse. Folglich ist eine kalendarische Planung von Beprobungsterminen wenig sinnvoll. Vielmehr sollten diese auf die potentiellen Zeiträume des Schadstoffeintrags in die Brunnen ausgerichtet sein. In Tab. 8-6 sind Vorschläge zum Beprobungsumfang und zu Beprobungszeitpunkten an Hausbrunnen mit dominanten Zwischenabflüssen zusammengestellt.

Tab. 9-1: Handlungsempfehlungen zum Beprobungsumfang und zu Beprobungszeitpunkten an Trinkwasserbrunnen des gering bedeckten Lockergesteinsbereichs des Mittleren Erzgebirges

Zeit	Ereignis	Analysen <sup>9/1</sup>
Vegetationszeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetationsbeginn</li> <li>• Fruchtbildung/Samenreife der Kulturpflanzen</li> </ul>	A, B, C
	zusätzliche bzw. erweiterte Beprobung, wenn: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niederschlagsintensitäten &gt; 50 mm/d</li> <li>• Versickerung zeitnah zu organischer und anorganischer Düngung</li> </ul>	A, B, C, D
Vegetationslose Zeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetationsende/Beginn vegetationslose Periode</li> <li>• andauernde Frostperiode</li> <li>• Schneeschmelze bzw. Feuchteperioden nach Schneeschmelze</li> </ul>	A, B, C
	zusätzliche bzw. erweiterte Beprobung, wenn: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundwasserneubildung zeitnah zu organischer Düngung im Spätherbst</li> <li>• Grundwasserneubildung zeitnah zu Einarbeitung der Zwischenfrüchte (Gründüngung)</li> </ul>	A, B, C, D
<b>Zusätzliche Anmerkungen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bei lokalen Belastungsquellen im Brunnenanstrom, wie Güllelagern, Silos, Abwasser- und Kläranlagen generell nach hohen Niederschlagsintensitäten mit Versickerung</li> <li>• bei Erreichen des Aluminium (Al-) und Aluminium/Eisen (Al/Fe)- Pufferbereichs mit den Niederschlägen</li> <li>• wenn möglich tägliche Beprobung bei erhöhten Abflussspenden nach extremen Witterungsbedingungen (Starkniederschläge, Schneeschmelze)</li> </ul>		A, B, C, D  A, B, C, D, E

**Fazit:** In der Vegetationszeit sollten wenigstens zwei und in der vegetationslosen Zeit für gewöhnlich wenigstens drei Beprobungen an den Brunnen erfolgen, um die zeitliche Entwicklung der Belastungssituation hinreichend genau zu erfassen. Um sämtliche Schadstoffeinträge zu dokumentieren, muss die Beprobungsdichte jedoch während bzw. nach extremen Witterungsbedingungen mit einher gehender Versickerung erheblich ausgeweitet werden. Dazu ist das rechtzeitige Erkennen der Zeiträume mit Grundwasserneubildung notwendig. Neben der aufmerksamen zur Kenntnisnahme der Wetterprognose ist der Einsatz von einzugsgebietsbezogenen N-A-Modellen notwendig. Die in „WRAP“ integrierten GIS-Methoden und Modelle können dafür eine effiziente Grundlage bilden. Dazu müssen die Klimadaten der nächsten

<sup>9/1</sup> A – Milieuparameter; B - Hauptkationen und -anionengehalte; C - hygienische Parameter; D - Isotopenuntersuchungen; E - Schwermetall- und Spurenelementgehalte (vgl. Abschn. 6.3.1)

Klimastation möglichst umgehend zur Verfügung stehen. Bei schlechter Wetterprognose können aber auch N-A-Szenarien berechnet werden.

## **9.2 N-Flächenbilanzen und $N_{\min}$ -Bodenuntersuchungen**

Die schlagbezogenen Stickstoffflächenbilanzen und  $N_{\min}$ -Bodenuntersuchungen auf Grundlage der Sächsischen Schlagkarte stellen sinnvolle Zusatzinformationen zur Brunnenwasserbeprobung dar, um die Belastungssituation mit Nitrat hinreichend interpretieren zu können (vgl. u.a. BECKER, 1996). Die Referenzbrunnenuntersuchungen erweisen aber auch, dass diese Methoden bei der Beurteilung des Gefahrenpotentials zum Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser häufig zu erheblichen Fehleinschätzungen führen können, da nur vereinzelt Zusammenhänge zwischen gemessenen bzw. berechneten Werten und ausgewaschenen N-Mengen festzustellen sind (vgl. Abschn. 7.4.1). Die zeitliche und räumliche Dynamik der Prozesse des Stickstoffhaushalts ist durch diese Methoden allein somit nur unzureichend zu erfassen. MICHALSKI (2000) gelangt bei detaillierten Ursachenanalysen zu gleichen Schlussfolgerungen. Darüber hinaus erweisen von ihm durchgeführte erste Untersuchungen im Rahmen teilflächenspezifischer Bewirtschaftungen auf Ackerflächen (PRECISION FARMING), dass 20 bis 30 Prozent der N-Verluste im Untersuchungsraum auf die unterschiedliche Ausprägung pedologischer und morphologischer Kennwerte zurückzuführen sind.

Aus diesem Umstand resultieren erhebliche Probleme in der landwirtschaftlichen Praxis, da die Düngeempfehlungen durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft für die geplante Bewirtschaftung der Ackerflächen auf der Grundlage schlagbezogener  $N_{\min}$ -Beprobungen erfolgen. Diese Form der Düngeberatung ist somit anzuzweifeln und kann sowohl zu Nährstoffdefiziten als auch zu Überlastungen mit einhergehender Auswaschung in das Grundwasser führen. Räumlich und zeitlich höher aufgelöste  $N_{\min}$ -Bodenuntersuchungen nach den Handlungsempfehlungen aus Tab. 8-6 lassen eine verbesserte Einschätzung des Stickstoffhaushalts im Boden auf Grundlage dieser Untersuchungsmethode erwarten. Die große Heterogenität des N-Bedarfs und der N-Auswaschung auf den Ackerflächen ist aber auch auf diesem Wege nicht zu erfassen.

## **9.3 Entlastungsmaßnahmen zur Verbesserung der Brunnenwasserqualität**

Im Untersuchungsraum sind über den gesetzlichen Rahmen hinaus große Bemühungen vorhanden, die Wasserqualität der Grund- und Oberflächenwässer regional, nachhaltig und möglichst kurzfristig zu verbessern. Eine Interessengemeinschaft „Gewässerschonende Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Trinkwassertalsperre Saidenbach“ vereint Vertreter unterschiedlicher Institutionen (u.a. Landestalsperrenverwaltung, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Technische Universität Freiberg, Regierungspräsidium Chemnitz) in Arbeitskreisen, um wasserschutzkonforme landwirtschaftliche Produktionsverfahren unter Einbeziehung der bestehenden Gesetze und Verordnungen im Freistaat Sachsen

aufzuzeigen (vgl. Abschn. 3.9) und gegebenenfalls in die Praxis umzusetzen. In diesem Kreis sind auch die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Arbeit gefragt.

Die Analyse zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Belastungssituation in den Brunnen erweist periodische und dauerhafte Wasserqualitätsprobleme bei etwa einem Drittel der untersuchten Brunnen. Die Untersuchungsergebnisse in Abschn. 8.2. belegen, dass auch eine gewässerschonende, konventionell betriebene Landwirtschaft keine dauerhafte Entlastung in diesen Brunnen herbeiführt. Somit bleibt eine potentielle Gesundheitsgefährdung für viele Brunnenwasserkonsumenten bestehen (Abschn. 6.5).

Lippersdorf sowie Bereiche von Haselbach und Forchheim sind zwar an das zentrale Netz der Trinkwasserversorgung angeschlossen und der Ausbau unterliegt einer stetigen Erweiterung, große Teile der Bevölkerung werden jedoch ihre Wasserversorgung auch in Zukunft aus den Hausbrunnen vornehmen. Gründe sind vor allem:

- Der Anschluss an das Fernwassernetz geht nur langsam voran und berücksichtigt ausschließlich die Kerndörfer. Entlegene Gehöfte können auch in Zukunft nicht versorgt werden.
- Die Hausbrunnen liefern einen Großteil des Brauchwassers (u.a. Waschen, Gartenbewässerung), um die Verbrauchskosten für Wasser niedrig zu halten.
- Die hohen Anschlusskosten an das Fernwassernetz von etwa 400 DM pro Meter können und wollen viele Bewohner nicht tragen.
- Die Brunnenwasserqualität veranlasst bei etwa  $\frac{2}{3}$  der untersuchten Brunnen keinen Anschluss an das Netz (Abschn. 6.3.4).

Somit sind Entlastungsmaßnahmen an den Brunnen möglichst schnell notwendig. Diese können vorsorgender, sanierender und nachsorgender Art sein:

**Vorsorgende Maßnahmen** sollten vor allem eine wasserschutzkonforme Landnutzung und Flächenbewirtschaftung sowie der unverzügliche Ausbau der zentralen Abwasserentsorgung in allen Brunnendörfern sein, um zu einer **regionalen Verbesserung des Grund- und Oberflächenwasserschutzes** zu gelangen.

Gesetzliche Regelungen und Handlungsempfehlungen für eine wasserschonende landwirtschaftliche Nutzung sind in Abschn. 3.9 aufgeführt. Detaillierte Entlastungsmaßnahmen u.a. zur Form, Methode und zum Zeitpunkt der Ausbringung des Düngestickstoffs und zur Fruchtfolge mit Dauerbegrünung durch Untersaat, Haupt- und Zwischenfruchtanbau sowie Zwischensaat wurden für den Untersuchungsraum von REICHELT (1998) und MICHALSKI (2000) erarbeitet.

Solange Sickerwässer aus Klärgruben mit dem Zwischenabfluss in die Hausbrunnen gelangen können, ist mit keiner hygienischen Verbesserung der Wasserqualität zu rechnen. Es ist daher unumgänglich, in allen betroffenen Dörfern die bereits begonnenen Maßnahmen zur Abwasserentsorgung schnellst möglich fortzuführen. Sollte zu einem späteren Zeitpunkt eine flä-

chendeckende Versorgung mit Fernwasser gewährleistet sein, kann auch dann nicht auf eine zeitgemäße Abwasserentsorgung verzichtet werden.

Darüber hinaus sind **lokal wirksame Maßnahmen** zu treffen. Dazu gehört vor allem die kritische Auswahl der Brunnen hinsichtlich ihrer Eignung als Trinkwasserlieferant. Die Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit liefern dabei Entscheidungshilfen, da aus ihnen eine pauschale Einschätzung der Schutzfähigkeit der Flachbrunnen in Abhängigkeit von der Brunnenlage abgeleitet werden kann. Wenn möglich, sollten Brunnen mit lokalen Belastungsquellen (Abschn. 6.1) und intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen im Anstrom nicht zur Trinkwassergewinnung genutzt werden. Ausweichmöglichkeiten auf wenig belastete Versorgungsbrunnen mit wasserschonender Nutzung und Bewirtschaftung im Anstrom (Wald, Dauergrünland – vgl. Abschn. 8.2) oder mit dominanten Basisabflussanteilen sind somit zu prüfen. Diese Alternative der Brunnenselektion ist für viele Brunnenbetreiber jedoch häufig nicht vorhanden. Hier müssen andere Maßnahmen greifen.

Eine wesentliche lokale Entlastung würde von der Ausweisung der gesamten Brunneneinzugsgebiete als Schutzzone II ausgehen (vgl. Abschn. 3.9). Dies ist jedoch in der Praxis nicht zu realisieren. Eine Reihe von zeit- und kostenaufwändigen Bemessungsgrundlagen müssten erhoben werden (vgl. SLFUG, 1997a; SMUL, 1992; SMUL, 1996; DVWG, 1995). Zudem sind bei den meisten Flachwasserfassungen mit Wasserqualitätsproblemen die Kriterien an Schutzwürdigkeit und Schutzfähigkeit nicht erfüllt (vgl. SMUL, 1996). Gleichwohl müssten zivilrechtliche Festlegungen zu Ausgleichs- und Ersatzleistungen durch die Brunnenbetreiber an die Landwirte erfolgen, wenn sich im Anstrom Ackerland befindet. Denkbar ist auch die Ausweitung des bestehenden Schutzgürtels von 50 auf 100 Meter mit zusätzlichen Nutzungsrestriktionen hin zur extensiven Grünlandbewirtschaftung. Zumindest sollte die Ausbringung von organischen und mineralischen Düngemitteln sowie Pflanzenschutzmitteln in diesem Radius untersagt und bei Nichteinhaltung konsequent bestraft werden. Auch diese Maßnahmen müssten mindestens zivilrechtlichen Festlegungen zu Ausgleichs- und Ersatzleistungen an die Landwirte unterliegen. Mithin wäre die konsequente Einhaltung der Düngebeschränkung im bestehenden Schutzgürtel von 50 Metern häufig schon ein Erfolg. Eine entscheidende Verbesserung der Wasserqualität durch den Schutz von Teilen eines Brunneneinzugsgebietes ist jedoch anzuzweifeln.

Nicht zuletzt sollte die Errichtung von Dunglagern, Silos, Stallungen und Hausklärgruben im Einzugsgebiet der Brunnen gänzlich untersagt werden. Befinden sich im Anstrom der Brunnen schon lokale Schadstoffquellen, muss ein einwandfreier baulicher Zustand gewährleistet sein.

Detaillierte Bewertungen und Beurteilungen hinsichtlich Wirksamkeit und verursachten Kosten bei **sanierenden und nachsorgenden Maßnahmen** sind in der Diplomarbeit von BERDING (1997) und dem Abschlussbericht des DBU-geförderten Forschungsprojektes: „Entlastung privater Trinkwasserbrunnen. Konzepterstellung und Bewertungsstrategie.“

(BERLEKAMP, FUEST, GLÄBER, MATTHIES, SCHRECK & THÜRKOW, 2000) aufgeführt. Im Folgenden wird eine knappe Zusammenfassung gegeben.

Eine wirksame technische Veränderung ist bei in Frage kommen die Brunnenvertiefung. In tieferen Brunnen dominiert Wasser aus den Kluftgrundwasserleitern (Basisabfluss), wodurch sich die Wasserqualität nachhaltig verbessern kann (vgl. Abschn. 8.4). Eine Brunnenvertiefung muss mit technischen Veränderungen des Brunnenausbaues einher gehen, um die Zumischung belasteter, oberflächennaher Wässer zu verhindern. Teilweise ist dabei schon die Verbesserung der Brunneneinfassung ausreichend.

Zudem können andere technische Maßnahmen, wie u.a. die Neuanlage von Brunnen in gering belasteten Bereichen, der Austausch verrotteter Zuleitungsrohre und Hauswasserleitungen gegen Kunststoffe und die Beseitigung bautechnischer Mängel an lokalen Belastungsquellen zu einer Verbesserung der Brunnenwasserqualität führen.

**Nachsorgende Maßnahmen** sind alle Formen der Trinkwasserreinigung, sowohl regionaler als auch lokaler Art. Ein großer Teil der aufgeführten vorsorgenden und sanierenden Maßnahmen bewirken eine mittel- bis langfristige Verbesserung der Brunnenwasserqualität. Für einige Brunnenbetreiber stellen sie überhaupt keine Alternative dar. In solchen Fällen ist der Einbau von dezentralen Wasseraufbereitungsanlagen am Brunnenstandort zu empfehlen. Je nach Belastungssituation können Module zur Nitrateliminierung (Ionenaustauscherharz), zur Regulierung des pH-Wertes (Dosierung von NaOH) und zur Desinfektion (Feinstfilter, Hypochlorid) miteinander kombiniert werden. Die Größe der Anlage und damit ihr Preis ergibt sich aus dem Trinkwasserbedarf der Brunnenwasserkonsumenten.

## 9.4 GIS- Methoden

Bei allen positiven Bemühungen zur Entwicklung und Umsetzung eines regionalen Grundwasserschutzkonzeptes durch die beteiligten Interessengruppen und Institutionen (vgl. Abschn. 1) im Untersuchungsraum ist ein bis heute fehlendes Informationssystem Saidenbachtalsperre ein großes Manko. In Ermangelung eines solchen Systems treten beispielsweise erhebliche Daten- und Informationsverluste sowie Probleme bei der Datenkompatibilität und bei der Beurteilung des Fehlerpotentials von Fremddaten auf (vgl. Abschn. 2.2). Häufig ist aber auch im Rahmen der verschiedenen Forschungsprojekte die mehrfache und uneinheitliche Erhebung von Geodaten zu verzeichnen. Dies führt zu unnötigen Kosten. Zudem ist eine Mehrfachnutzung durch die Fachbehörden vor Ort kaum möglich.

Somit sollte schnellst möglich mit dem Aufbau eines Informationssystems Saidenbachtalsperre begonnen werden, in welchem sowohl die Speicherung einer einheitlichen Datenbasis zu den Geofaktoren des Untersuchungsraums erfolgt, als auch sämtliche dateibasierte Daten mit Raumbezug aus allen durchgeführten Untersuchungen im Talsperreneinzugsgebiet archiviert werden.

Mit dem UIS Saidenbachtalsperre der Sektion Hydrogeologie werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie sich GIS-Datenbestände in einem heterogenen Netz projektorientiert archivieren, verwalten und mit Sachdaten, die in RDBMS gespeichert sind, koppeln lassen (vgl. WIESER &

THÜRKOW, 1999; Abschn. 2.2). Die dabei entwickelten Lösungsansätze sind durchaus auf ein als Plattform für alle Untersuchungen dienendes Informationssystem Saidenbachtalsperre übertragbar und nicht an die verwendete Softwarekonfiguration gebunden.

Durch die Anwendung der im UIS entwickelten GIS-Techniken werden projektorientierte Gefährdungsabschätzungen für den oberen Grundwasserleiter wesentlich vereinfacht. Die im Rahmen dieser Arbeit erstellten GIS-Applikationen „DGMHDG“ und „WRAP“ stellen dabei effiziente Hilfsmittel zur einzugsgebietsbezogenen Analyse der naturräumlichen Verhältnisse und des Landschaftswasser- und Stoffhaushalts dar. Detaillierte und hoch aufgelöste Geodaten zur Erfassung der zeitlichen und räumlichen Ausprägung der Umweltsituation lassen sich direkt und in kürzester Zeit im UIS berechnen, archivieren, verschneiden, analysieren, bewerten und ausgeben. Durch die dynamische Anbindung von schlagbezogenen Informationen zur Ackerbewirtschaftung, zu Stoffeinträgen, Stoffausträgen,  $N_{\min}$ -Restmengen im Boden, Stickstoffflächenbilanzen sowie hydrochemischen Daten zur Brunnenwasserqualität über die RDBMS (vgl. Abschn. 2 ff; Abschn. 5.2.1) sind effektive Konfliktanalysen und Bewertungen zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Trinkwasserqualität in den Hausbrunnen möglich. Die Applikationen können bei Vorhandensein der benötigten Software sofort einer Mehrfachnutzung durch im Untersuchungsraum und darüber hinaus ansässige Institutionen unterliegen (u.a. Talsperrenverwaltung Saidenbachtalsperre der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Ökologisches Laboratorium Neunzehnhain der TU Dresden).