

TEXTE

14/2011

# Bewertung und Optimierung von Grundwasserschutz-Maßnahmenprogrammen nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie

Kurzfassung



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3707 28 200  
UBA-FB 001412

## **Bewertung und Optimierung von Grundwasserschutz-Maßnahmen- programmen nach der EU-Wasser- rahmenrichtlinie**

### **Kurzfassung**

von

**Petra Kuhr, Dr. Ralf Kunkel, Dr. Frank Wendland**  
Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich

**Ute Baron, Prof. Dr. Hans-Jürgen Voigt**  
Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4087.html> verfügbar. Hier finden Sie auch den vollständigen Band und eine englische Kurzfassung

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>  
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten  
Gewässergüte und Wasserwirtschaft, Grundwasserschutz  
Rüdiger Wolter

Dessau-Roßlau, März 2011

## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des UFO-Plan-Vorhabens wurde eine *Methodik zur Bewertung und Optimierung von Grundwasserschutzprogrammen nach EU-Wasserrahmenrichtlinie für diffuse und punktförmige Belastungen* entwickelt. Diese Methodik umfasst drei aufeinander aufbauende Teile:

1. Im ersten Teil werden mit Hilfe eines konzeptionellen Modells die Zusammenhänge zwischen Stoffeinträgen (Belastungen), gemessenen Stoffkonzentrationen im Grundwasser und dem hydrogeologischen System ermittelt. Auf Basis dieses konzeptionellen Modells wird der aktuelle Zustand eines Grundwasserkörpers erklärt (vgl. Abbildung 1). Bereits in dieser Stufe kann beurteilt werden, ob die geplanten Maßnahmen an den Orten ansetzen, von denen die Hauptbelastung/-gefährdung des Grundwassers ausgeht.
2. Hierauf aufbauend wird eine konsistente Bewertung von Maßnahmenprogrammen zur Erreichung des guten Grundwasserzustandes durchgeführt. Hierzu wird der erforderliche Umfang von Reduktionsmaßnahmen zur Erreichung von Qualitätszielen für das Grundwasser abgeschätzt sowie eine Bewertung der Effizienz von (möglichen bzw. bereits eingeleiteten) Maßnahmen im Hinblick auf die Zielerreichung vorgenommen.
3. Im dritten Teil erfolgt eine Bewertung des Wirkungszeitraums zwischen Einleitung einer Maßnahme und deren Auswirkung im Hinblick auf den Zustand des Grundwassers. Hiermit kann abgeschätzt werden, ab wann sich eine Maßnahme (frühestens) im Grundwasser auswirkt und damit zu einer messbaren Verbesserung des Grundwasserzustands an den Monitoringmessstellen führen kann.

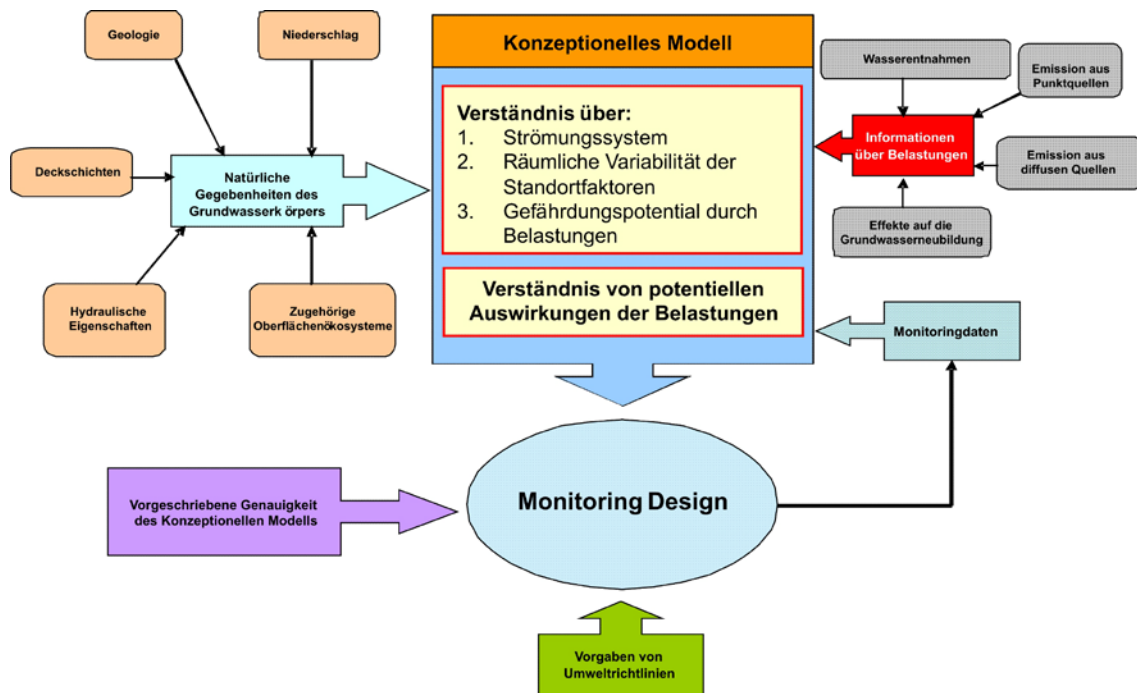


Abbildung 1: Konzeptionelle Modelle nach Littlejohn et al. (2002)

Über Anwendungsbeispiele in hydro-(geo-)logisch und von ihrem Belastungspotential her unterschiedlichen Grundwasserkörpern wurde die grundlegende Methodik entwickelt und praktisch erprobt. Angepasst an die Belastungsquellen des Grundwassers (Belastungen aus diffusen Quellen vs. Belastungen aus punktförmigen Quellen) wurden dabei im Rahmen des Projektes zwei Vorgehensweisen entwickelt.

### **Vorgehensweise zur Bewertung von Grundwasserbelastungen aus diffusen Quellen:**

Da der Großteil der diffusen Grundwasserbelastungen in Deutschland durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen verursacht wird, wurde beispielhaft ein großräumiges konzeptionelles Modell für die Bewertung von Maßnahmenprogrammen aufgebaut, die eine Kontrolle und Reduktion der Grundwasserbelastung durch Nitrat zum Ziel haben. Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens erfolgte exemplarisch für zwei Untersuchungsregionen in den Bundesländern Hessen und Niedersachsen/Nordrhein-Westfalen. Hierbei fiel die Wahl auf Grundwasserkörper, die von ihrer naturräumlichen und landwirtschaftlichen Struktur her, als stellvertretend für viele Grundwasserkörper in Deutschland gelten können. Zum einen wurden die in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen liegenden Grundwasserkörper ausgewählt, die zum Einzugsgebiet der Großen Aue gehören. Diese können als typisch für die Situation im Norddeutschen Flachland angesehen werden. Zum anderen wurden die zum Einzugsgebiet der Schwalm in Hessen gehörigen Grundwasserkörper ausgewählt, die als typisch für eine landwirtschaftlich genutzte Mittelgebirgsregionen angesehen werden können.

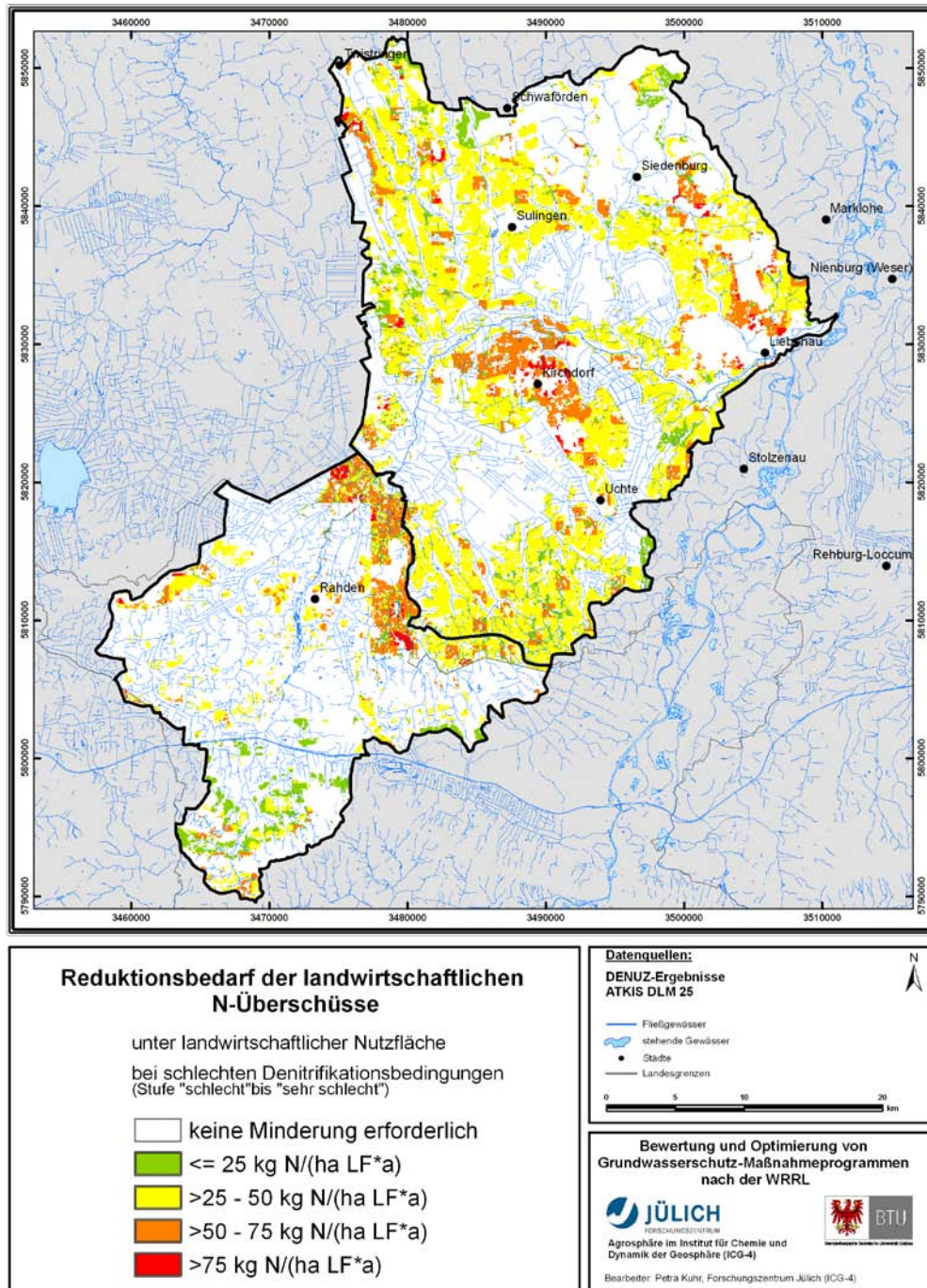
Für beide Untersuchungsregionen konnte gezeigt werden, dass schon wenige, im Allgemeinen digital vorliegende Datengrundlagen (Landnutzung sowie Denitrifikationsvermögen der Böden oder Flurabstand des Grundwassers) bzw. relativ leicht ableitbare Parameter (Fließrichtung des Grundwassers) sowie ggf. vorliegende Modellergebnisse (Nitratkonzentration im Sickerwasser oder Anteil der Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss) ausreichen, um die Flächen mit potenziell hoher Nitratbelastung innerhalb eines Grundwasserkörpers auf großer Maßstabsebene hinreichend zu beschreiben und regional einzuengen. Als hoch gefährdet wurden hierbei grundwasserferne Standorte mit schlechten Denitrifikationsbedingungen im Boden und einem hohen Anteil der Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss ausgewiesen.

Im Untersuchungsgebiet „Große Aue“ konnten auf diese Weise 95% der Messstellen (19 von 20) mit erhöhten Belastungen erklärt werden. Zudem wiesen nur 25% der Grundwasserkörper Standortbedingungen auf, die den o.a. entsprechen. Für das Untersuchungsgebiet „Schwalm“ wurden ebenfalls gute Ergebnisse erzielt. Dort konnten auf diese Weise alle Messstellen mit signifikant erhöhten Nitratkonzentrationen (8 von 8) erklärt und die Fläche der gefährdeten Bereiche innerhalb der Grundwasserkörper auf 40% reduziert werden. Die mit Hilfe des konzeptionellen Modells ausgewiesenen Bereiche der Grundwasserkörper mit hoher potenzieller Belastung zeigen gleichzeitig die Flächen auf, auf denen Maßnahmenprogramme zur Reduzierung der Nitratbelastung vorrangig umgesetzt werden müssten.

Bei guter Datenlage, d.h. vorliegenden Informationen (Modellergebnissen) zur Höhe der Nitratkonzentration im Sickerwasser bzw. zu verlagerbaren (überschüssigen) Mengen an Stickstoffdünger im Boden sowie zur Sickerwasserhöhe, kann der erforderliche Minderungsbedarf zur Gewährleistung der gewünschten Nitratkonzentration im Grundwasser



abgeschätzt werden (Abbildung 2). Damit ist es möglich, die Effizienz von möglichen bzw. bereits eingeleiteten Reduktionsmaßnahmen zu beurteilen.

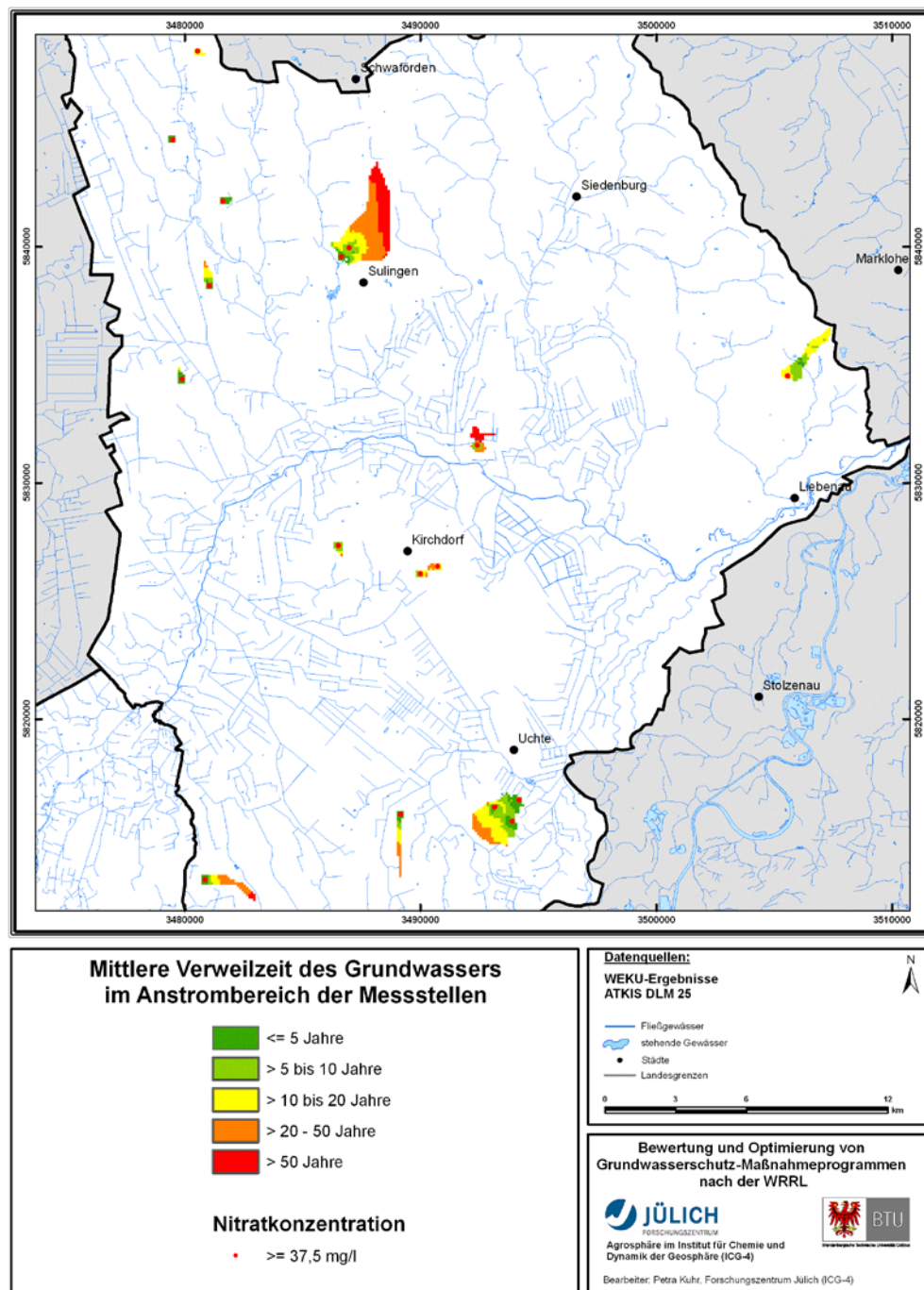


**Abbildung 2: Notwendige Minderung der N-Überschüsse zur Erreichung einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50mg/l bezogen auf jede Rasterzelle**

Für weite Bereiche im Untersuchungsgebiet Große Aue würde, wie das Beispiel zeigt, im Mittel ein Minderungsbedarf zwischen 10 und 25 kg/ha a ausreichen, um eine aktuelle Nitratkonzentration im Sickerwasser von unter 50 mg/l zu erreichen. Anhand eines von der LAWA entwickelten Maßnahmenkatalogs können dann geeignete Maßnahmen mit einem angepassten Reduktionspotential ausgewählt und zur Anwendung gebracht werden. Im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes „GroÙe Aue“ tritt ein Bereich auf, in dem ein Minderungsbedarf von mehr als 25 kg N/ha\*a besteht. Es ist möglich, dass der erforderliche

Minderungsbedarf dort die N-Minderungspotentiale von praxistauglichen Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen übersteigt. Dadurch lassen sich relativ zielsicher und konsistent die Regionen in einem Grundwasserkörper identifizieren, in denen die Qualitätsziele für das Grundwasser über keine der gängigen Maßnahmen zu erreichen und zusätzliche Maßnahmen vorzusehen sind.

Die regionale Wirksamkeit einer Maßnahme kann in jedem Fall anhand der Messstellen des Monitorings überprüft werden. In diesem Zusammenhang kommt der Abschätzung der Zeiträume, nach welchen sich die eingeleiteten Maßnahmen auf die Belastung des Grundwassers an den Messstellen des Monitoringmessnetzes auswirken, eine besondere Bedeutung zu (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Mittlere summierte Verweilzeit im Anstrombereich der Messstellen**



Die mittleren Verweilzeiten werden über analytische Berechnungsansätze zur Abschätzung der Verweilzeiten des Sickerwassers im durchwurzelten Bodenbereich und in den dem Grundwasserleiter zusickernden Grundwasserdeckschichten sowie den Verweilzeiten des Grundwassers im Grundwasserleiter hergeleitet. Die hierzu erforderlichen Datengrundlagen (z.B. Feldkapazität des Bodens, hydraulische Leitfähigkeit des Aquifers, Grundwassergleichen) können aus deutschlandweit digital verfügbaren Bodenkarten und hydrogeologischen Übersichtskarten abgeleitet werden.

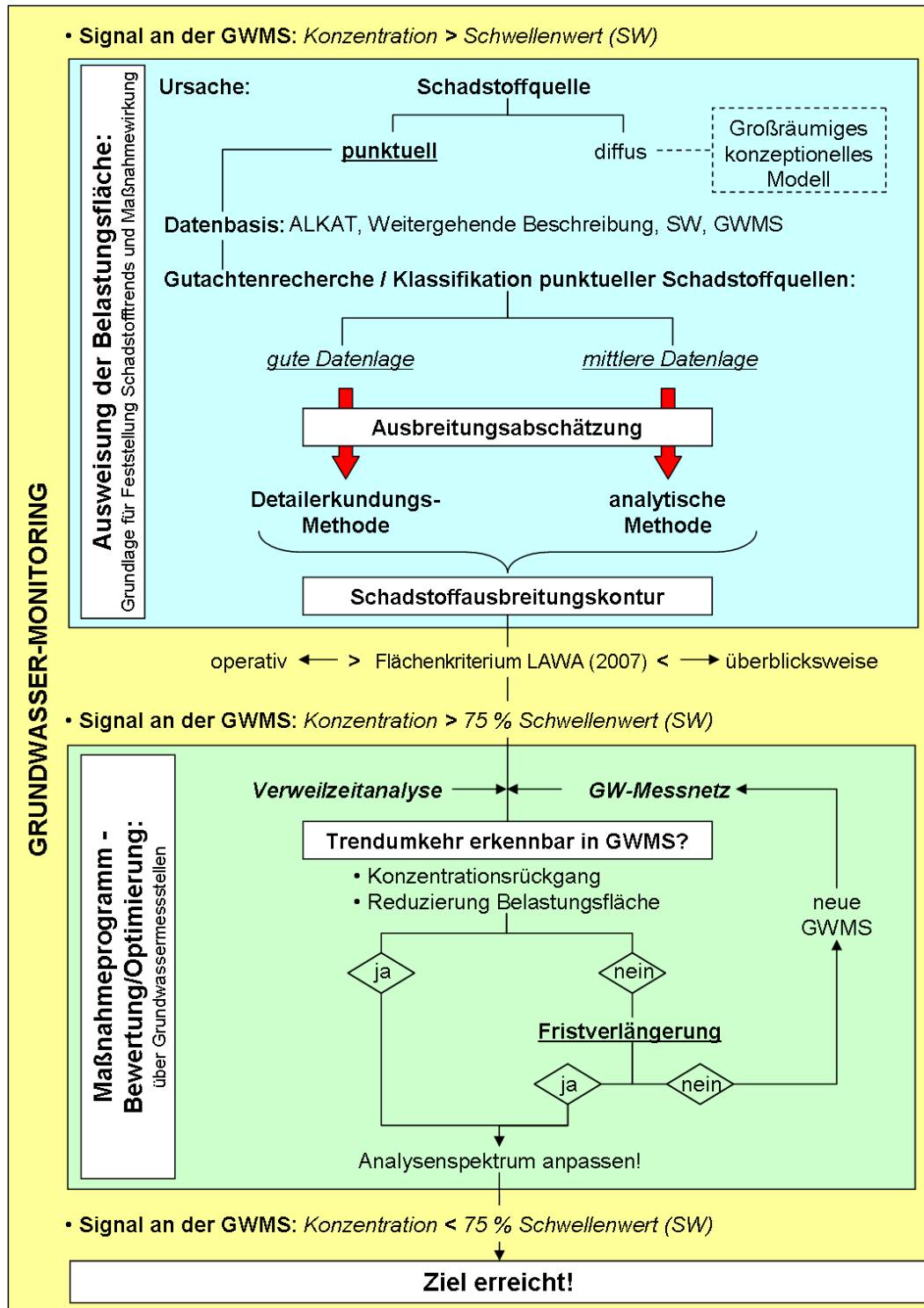
Bei der Aufsummierung der Verweilzeiten in den einzelnen Kompartimenten zeigte sich, dass im Untersuchungsgebiet „Große Aue“ Verweilzeiten aufgetreten sind, die deutlich über sechs Jahren liegen (Abbildung 3). Dies lässt erwarten, dass die Nitratgehalte in den Grundwasserkörpern dort auch dann noch steigen können, wenn gezielte Reduktionsmaßnahmenprogramme schon eingeleitet worden sind. Die ausgewiesenen Wirkungszeiträume zwischen Verabschiedung einer Maßnahme und deren Auswirkung im Hinblick auf den Zustand des Grundwassers ist damit eine Entscheidungsgrundlage, auf deren Basis gegenüber der EU-Kommission ggf. stichhaltig begründet werden kann, warum die Ziele der EU-WRRL nicht erreicht werden konnten und ggf. eine Fristverlängerung beantragt wird sollte.

### **Vorgehensweise zur Bewertung von Grundwasserbelastungen aus punktförmigen Quellen:**

Da punktförmige Belastungen einer konkreten Emissionsquelle zugeordnet werden können, stand hierbei die Analyse der Stoffausbreitungsabschätzung verschiedener Schadstoffgruppen im Vordergrund sowie die Bewertung/Optimierung der Monitoringmessstellen anhand von Verweilzeiten.

Für punktförmige Grundwasserbelastungen (z.B. durch Altlasten, alte Industriestandorte etc.) ist zu erwarten, dass die „großräumigen konzeptionellen Modelle“ nur in Einzelfällen dazu in der Lage sind, das Grundwassersystem lokal bzw. kleinräumig im Hinblick auf die Bewertung und Optimierung von Maßnahmenprogrammen zu charakterisieren. Deshalb wurde ein „messstellenbezogenes konzeptionelles Modell“ erarbeitet, das eine Bewertung und Optimierung von Maßnahmenprogrammen ermöglicht. Eine Schlüsselstellung nimmt hierbei die Auswahl geeigneter Messstellen ein, wobei die Wahl geeigneter Messparameter und Messstandpunkte für die Optimierung ausschlaggebend sind (Abbildung 4). Ein weiterer Schwerpunkt bei der Optimierung liegt in der Ermittlung der Standorte, von denen die größte Belastung ausgeht. Die Optimierung des Operativen Messnetzes sollte die Datenübernahme aus aktuellen Sondermessnetzen beinhalten, was kosteneffizient ist.

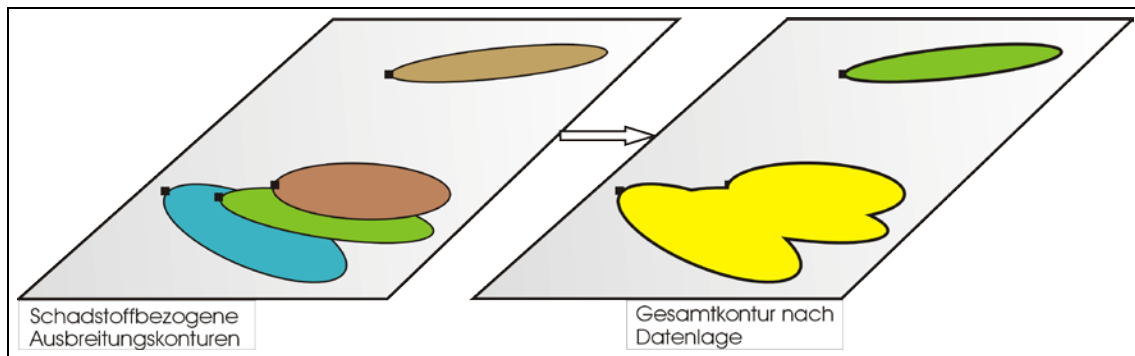
In dem „messstellenbezogenen konzeptionellen Modell“ werden neben der Aufnahme der natürlichen Gegebenheiten des Grundwasserkörpers auch die Informationen der punktuellen Belastungen (Eintragsmodell) mit dem Monitoringnetz in Beziehung gebracht.



**Abbildung 4: Konzeptionelles Modell für punktförmige Kontaminationsquellen**

Die Besonderheit dieses konzeptionellen Modells liegt in der Klassifizierung des Wissensstandes zu den einzelnen punktuellen Belastungen und der daraus resultierenden unterschiedlichen Verfahren zur Darstellung der Schadstoffausbreitung. Sind die Informationen zu einem Standort hoch – „gut“, kann durch Interpolationsverfahren die Ausbreitungskontur ermittelt werden. Ist der Informationsgehalt eher „mittel“, wird die Ausbreitungskontur anhand der analytischen Methode, der Lösung der Transportgleichung

abgeschätzt. Im Ergebnis erhält man Schadstoffausbreitungskonturen die je nach Stand des Wissens die realen Verhältnisse so gut wie möglich widerspiegeln (vgl. Abbildung 5).



**Abbildung 5: Darstellung der umrandenden Gesamtkontur aus den schadstoffbezogenen Ausbreitungskonturen**

Standorte mit „schlechter Datenlage“ sollten zur Ermittlung der „Signifikanz einer Gefährdung“ nach dem Flächenkriterium der LAWA (2007) zur Ermittlung des „guten oder schlechten Zustandes“ zwar herangezogen werden, brauchen aber hinsichtlich einer Bewertung des Maßnahmenprogramms nicht in den Betrachtungsraum übernommen werden. Eine Monitoringmessstelle sollte die Auswirkungen eingeleiteter Maßnahmen bei Einhaltung der von der WRRL geforderten Zeitvorstellung, also bis zum Jahr 2015 erfassen. Hierzu ist die Ermittlung des Wirkungszeitraumes notwendig. Dieser wird durch die Berechnung der Verweilzeit anhand eines Partikeltracking innerhalb der Schadstofffahne abgeschätzt.

Verschneidet man nun alle Ergebnisse, kann eine Priorisierung der Messstellen hinsichtlich der Bewertung und Optimierung von Maßnahmen anhand ihrer Lage zu den Schadstofffahnen, deren Überschneidungsbereichen und der Verweilzeit vorgenommen werden.

Anhand der Lage der GWMS zu den Schadstofffahnen wird der Zusammenhang zwischen Stoffeintrag, beobachteter Belastung und hydrogeologischem System aufgezeigt. Des Weiteren wird die Erfassbarkeit von Konzentrationsänderungen, Änderungen der Schadstoffausbreitungskontur und der Umkehr von Trends auf Grund eingeleiteter Maßnahmen erfasst. Eine Optimierung des Analysenumfanges an die prioritären Schadstoffe hat in den meisten Fällen eine Kostenminimierung zur Folge.

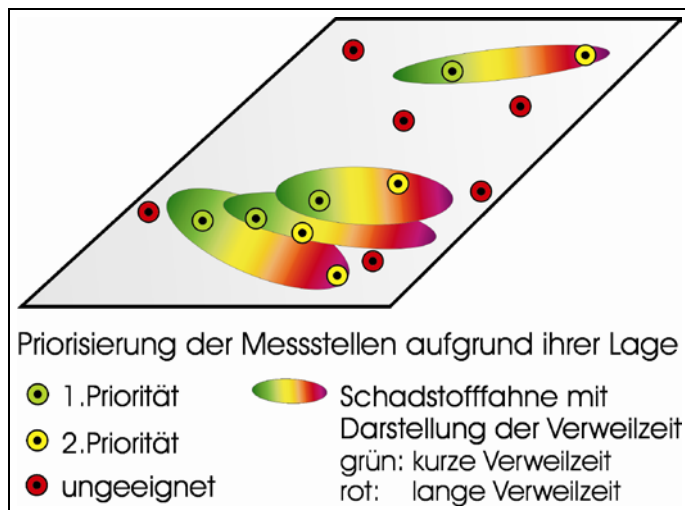
Die Lage der Messstellen im Überschneidungs-, Überlagerungsbereich von mehreren Schadstofffahnen ermöglicht eine Optimierung der Messstellenanzahl und des Analysenumfanges (Kostenreduzierung). Hinsichtlich der Lage zu den Verweilzeiten sind Aussagen zur Einhaltung des Zeitrahmens nach WRRL oder begründeten Fristverlängerungen möglich. Ebenso kann abgeschätzt werden, ab wann eine Maßnahme in einer Messstelle sichtbar wird.

Messstellen 1. Priorität liegen innerhalb der Schadstofffahnen, wenn möglich im Überschneidungsbereich und weisen in Anbetracht der Erfüllung der Umweltziele nach

WRRL bis zum Jahr 2015 geringe Verweilzeiten auf (Abbildung 6). Sie sind für ein Monitoring sehr gut geeignet.

2. Priorität haben Messstellen die innerhalb der Schadstofffahnen, wenn möglich im Überschneidungsbereich liegen, aber größere Verweilzeiten aufweisen (Abbildung 6). Sie sind für ein Monitoring gut geeignet. Auf Grund der hohen Verweilzeiten, ist zu prüfen ob eine Fristverlängerung nach WRRL (Artikel 4 Absatz 3, 4) sinnvoll ist.

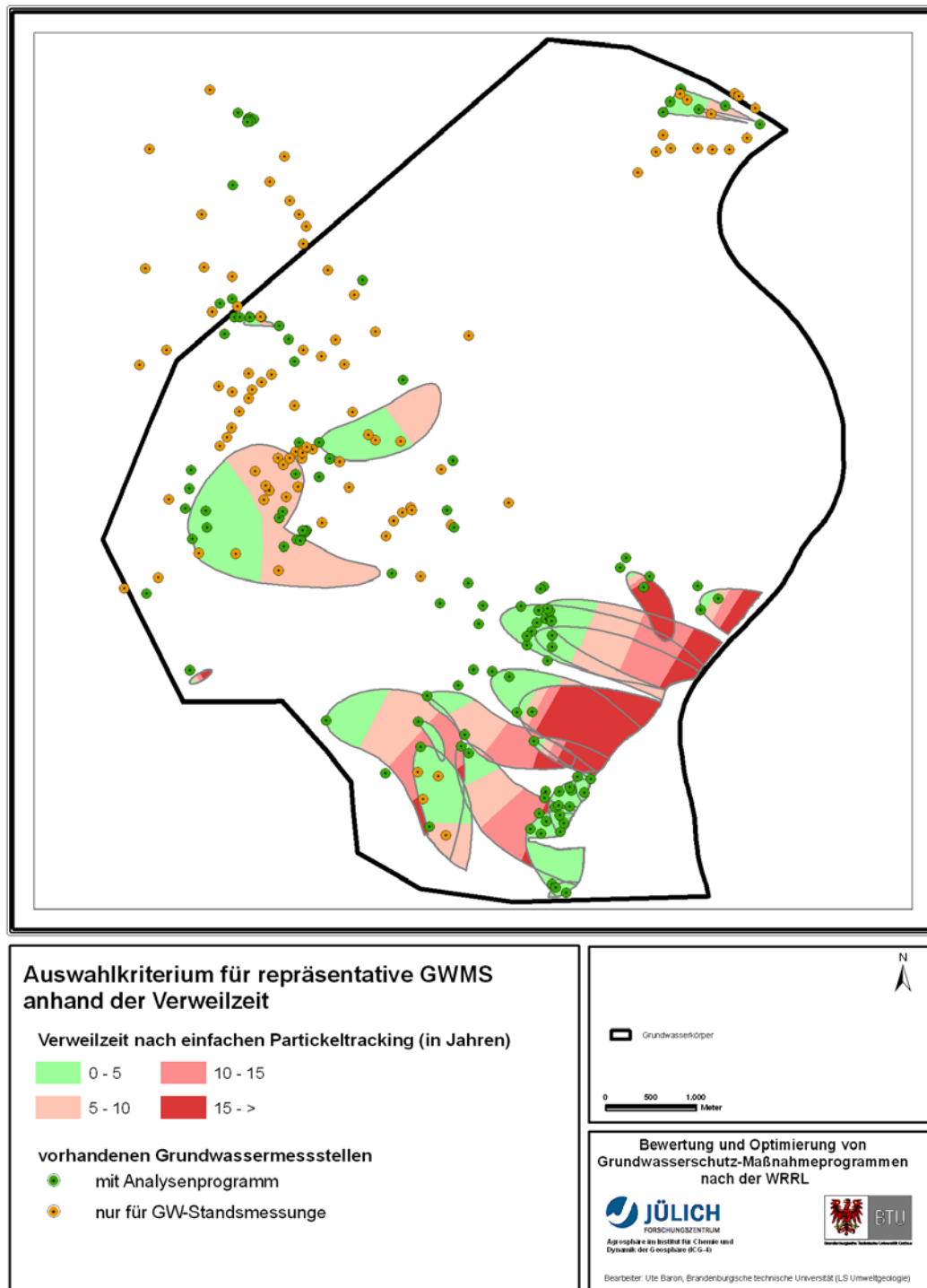
Liegt jedoch die Messstelle nicht in der Schadstoffkontur, ist sie demnach weder in der Lage den Wirkungszeitraum einer Maßnahme zu bewerten, noch kann sie die Zusammenhänge zwischen Stoffeintrag, beobachteter Belastung und hydrogeologischem System aufzeigen. Die Messstelle sollte aus dem Monitoring entfernt werden. Stattdessen sollte überprüft werden ob es andere Messstellen gibt, die den Anforderungen gerecht werden oder ob der Bau einer neuen Messstelle notwendig wird.



**Abbildung 6: Priorisierung der Messstellen aufgrund ihrer Lage zu den Schadstofffahnen Überschneidungsbereichen und der Verweilzeit**

Die Anwendbarkeit der Methodik zur Bewertung von Grundwasserbelastungen aus punktuellen Quellen erfolgte exemplarisch an einem Grundwasserkörper in Brandenburg. Hierbei fiel die Wahl auf einen für die Region typischen Industriestandort. Es wurden Abschätzungen zur Ausbreitung der Belastung durchgeführt und Vorschläge zur Optimierung des Monitoring-Messnetzes unterbreitet, wobei zehn Messstellen nach 1. Priorität und 12 Messstellen nach 2. Priorität ausgewählt wurden. Wenn eine Überschreitung des nach LAWA (2007) aufgestellten Flächenkriteriums zur Beurteilung des chemischen Zustandes festgestellt wird, ergibt sich die Notwendigkeit Maßnahmen einzuleiten.

In Abbildung 7 ist das Ergebnis der Verweilzeitenabschätzung im betrachteten Grundwasserkörper in Brandenburg dargestellt. Anhand dieser Abbildung kann ermessen werden, wie viel Zeit nach Einleitung einer Maßnahme verstreicht, ehe diese an einem bestimmten Ort innerhalb der Schadstofffahne sichtbar wird.



**Abbildung 7: Karte zur Lage der recherchierten GWMS hinsichtlich der Verweilzeit**

Die Messstellen spielen dabei eine wichtige Rolle, da an ihnen die Wirksamkeit einer Maßnahme gemessen wird. In Abbildung 7 ist zu erkennen, dass ein Großteil der Messstellen sich innerhalb der Schadstofffahnen befindet und sie demnach geeignet sind, die Zusammenhänge zwischen Stoffeintrag, Maßnahmen, beobachteter Belastung und hydrogeologischem System herzustellen. An diesen Messstellen können nach Einleitung von Maßnahmen auch Veränderungen der Konzentration der Schadstoffe, der Belastungsfläche



sowie eine Trendumkehr erfasst werden. In welchem Zeitraum dies möglich ist, wird durch die Lage der Messstellen in Relation zu den Verweilzeiten deutlich.

Die vorgestellte Methodik wurde in Brandenburg 2007 in Folge des Pilotprojektes für alle zehn im Rahmen der Risikoabschätzung aufgrund punktueller Belastungen näher zu überprüfenden Grundwasserkörper angewendet. Im Ergebnis wurde in Brandenburg nach LAWA-Kriterien 2007 ein Grundwasserkörper in den schlechten Zustand eingeordnet.

Die Maßnahmen im Grundwasserkörper können in Zukunft bei Anwendung des konzeptionellen Modells und Beprobung der repräsentativ ermittelten Messstellen auf ihren Erfolg hin überprüft werden.