



Wasserrahmenrichtlinie

Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa
Bremen

Landesamt für Bergbau, Energie und
Geologie



Leitfaden

für die Bewertung des chemischen
Zustands der Grundwasserkörper
in Niedersachsen und Bremen nach
EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)



Niedersachsen

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Betriebsstelle Aurich
Oldersumer Straße 48
26603 Aurich

Stand August 2014
(Redaktionelle Änderungen 2024)

Bearbeitet Version 2009:
Dieter de Vries, NLWKN Betriebsstelle Aurich
Swantje Hoff, NLWKN Betriebsstelle Aurich
Ralf te Gempt, NLWKN Betriebsstelle Meppen
Christel Karfusehr, NLWKN Betriebsstelle Cloppenburg
Anouchka Jankowski, NLWKN Betriebsstelle Hannover/Hildesheim
Thomas Waesch, NLWKN Betriebsstelle Hannover/Hildesheim
Michael Jagemann, NLWKN Betriebsstelle Verden
Dr. Walter Schäfer, LBEG Bremen
Dr. Michael Eisele, LBEG Bremen
Jochen Goens, LBEG Bremen
Elzbieta Maahs, SBUV Bremen

Überarbeitet 2014:
Dieter de Vries, NLWKN Betriebsstelle Aurich
Tanja Eden, NLWKN Betriebsstelle Aurich
Ralf te Gempt, NLWKN Betriebsstelle Meppen
Christel Karfusehr, NLWKN Betriebsstelle Cloppenburg
Anouchka Jankowski, NLWKN Betriebsstelle Hannover/Hildesheim
Dr. Walter Schäfer, LBEG Hannover
Jochen Goens, LBEG Hannover
Dr. Kay Hamer, SUBV Bremen

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Grundlagen Niedersachsen/Bremen.....	2
2.1	Hydrogeologische Unterteilung der Grundwasserkörper.....	2
2.2	Behandlung der Messergebnisse	2
2.3	Ermittlung geogener Hintergrundwerte	2
2.4	Abschätzung der Nitrat-Emission.....	3
3.	Schwellenwerte	4
4.	Beurteilung anhand der Schwellenwerte.....	5
4.1	Bezug zur Grundwasserverordnung	5
4.2	Beurteilung einer Teilfläche eines GWK (Typfläche oder Teilraum) bezüglich der Überschreitung von Schwellenwerten (§ 6 Abs. 2 GrwV).....	10
4.2.1	Zuordnung der Messstellen zu den Typflächen/Teilräumen innerhalb der Grundwasserkörper.....	12
4.2.2	Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch den Parameter Nitrat.....	12
4.2.3	Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch weitere Schwellenwertparameter.....	15
4.2.4	Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch Pflanzenschutzmittel (PSM)	16
4.3	Beurteilung der Ausdehnung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt im Grundwasserkörper (§ 7 Absatz 3 Nr. 1 GrwV).....	17
4.4	Beurteilung der Grundwasserbelastung im Hinblick auf den Trinkwasserschutz (§ 7 Absatz 3 Nr. 2 GrwV).....	19
4.5	Beurteilung der Grundwasserbelastung im Hinblick auf die Nutzung durch den Menschen (§ 7 Absatz 3 Nr. 3 GrwV)	19
4.6	Beurteilung nach § 7 Absatz 2 Nr. 2 GrwV.....	19
5.	Trendanalyse und Trendumkehr.....	21
6.	Literaturverzeichnis.....	23
7.	Anlagen	24

Anlagen:

1. Anforderungen an sachdienliche Zusatzinformationen (Messstellen)
2. Wirkstoffe Pflanzenschutzmittel
3. Trendanalyse

1. Einleitung

Ziel der Wasserrahmenrichtlinie ist es, Grundlagen für eine gemeinsame europäische Politik zu wasserwirtschaftlichen Fragen zu liefern.¹

Nach Artikel 8 der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sind der chemische sowie der mengenmäßige Zustand des Grundwassers im Rahmen von so genannten Überwachungsprogrammen (Monitoring) regelmäßig zu überprüfen und zu bewerten.

Die Grundwassergütemessstellen, die für eine chemische Bewertung des Grundwassers in Niedersachsen und Bremen herangezogen wurden, sind 2006 von den jeweiligen Betriebsstellen des NLWKN ausgewählt und 2012 aktualisiert worden. Als Grundlage diente hierbei der von der Fachgruppe Grundwasser erarbeitete „Leitfaden für die Auswahl von geeigneten Grundwassermessstellen für die niedersächsischen Grundwasserkörper im Rahmen des Grundwassermonitorings gemäß EG-WRRL“ (2006).

Die ausgewählten 1.085 Messstellen bilden das Messnetz zur Überwachung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper und der Schadstofftrends nach WRRL.

Das zugehörige Messkonzept für die Grundwasserkörper ist dem „Monitoringkonzept Grundwasser Niedersachsen/Bremen“ (2007) und dem „Gewässerüberwachungssystem (GÜN) - Güte- und Standsmessnetz Grundwasser“ (2014) für Niedersachsen zu entnehmen.

Der vorliegende Leitfaden wurde im Vorfeld der chemischen Bewertung der Grundwasserkörper zum ersten Bewirtschaftungsplan 2009 bis 2015 erarbeitet und zum zweiten Bewirtschaftungsplan von 2015 bis 2021 von der AG Güte überarbeitet.

¹ Da mit der WRRL Fragen im europaweiten Maßstab betrachtet werden, sind Produkte der Berichterstattung wie beispielsweise Kartendarstellungen ausdrücklich nicht geeignet, Fragen, die sich auf lokaler Ebene stellen, sicher zu beantworten.

2. Grundlagen Niedersachsen/Bremen

2.1 Hydrogeologische Unterteilung der Grundwasserkörper

In Niedersachsen und Bremen wurden im Rahmen der Bestandsaufnahme 123 Grundwasserkörper abgegrenzt. Diese Grundwasserkörper sind – insbesondere in den Lockergesteinsbereichen der Norddeutschen Tiefebene – sehr groß und hydrogeologisch heterogen. Aus diesem Grunde wurden, im Rahmen der Planung des Monitorings Grundwasser, innerhalb der Grundwasserkörper so genannte Typflächen (TF) mit vergleichbaren oder ähnlichen hydrogeologischen, hydrodynamischen, hydrochemischen und bodenkundlichen Eigenschaften abgegrenzt. In Grundwasserkörpern, in denen eine Abgrenzung der Typflächen nicht vorgenommen wurde, sind die hydrogeologischen Teilräume (TR), die innerhalb eines Grundwasserkörpers vorkommen, analog zu den Typflächen verwendet worden.

2.2 Behandlung der Messergebnisse

Als Grundlage der Bewertung werden die Messergebnisse des WRRL-Messnetzes herangezogen und aus den Einzelmessungen für jede Messstelle ein Jahresmittelwert berechnet. Maßgeblich für die Bewertung ist zunächst der jeweils aktuellste Jahresmittelwert, der anschließend anhand der Messergebnisse aus den Vorjahren plausibilisiert wird.

Zur Plausibilisierung werden, sofern sie verfügbar sind, die Jahresmittelwerte der letzten 6 Jahre verwendet. Auf Basis dieser Werte wird der aktuellste verfügbare Jahresmittelwert einem Ausreißertest unterzogen. Der danach jeweils aktuellste plausible Jahresmittelwert wird zur Bewertung des chemischen Zustands herangezogen (LAWA-AG 2007).

Bei weniger als sechs verfügbaren Jahresmittelwerten wird in Niedersachsen/Bremen der Mittelwert aller verfügbaren Jahresmittelwerte innerhalb des aktuellen 6-Jahres-Zeitintervalles (Bewirtschaftungszeitraum) zur Bewertung herangezogen.

2.3 Ermittlung geogener Hintergrundwerte

Die Ermittlung geogener Hintergrundwerte erfolgt auf der Basis der Zuordnung der einzelnen Messstellen zu den hydrogeologischen Typflächen/Teilräumen und ggf. zur Hydrostratigrafie Niedersachsens und Bremens. Gemäß den Vorgaben der Grundwasserverordnung (GrwV) werden geogene Hintergrundwerte für die Parameter Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Ammonium, Chlorid und Sulfat ermittelt. Befinden sich nach der Zuordnung (teilraumbezogen, ggf. hydrostratigrafische Einheit) nicht genügend Messstellen mit verwertbaren Analysen eines Parameters in einer Bezugseinheit um statistisch signifikante Ergebnisse berechnen zu können (Anzahl < 10), werden benachbarte, hydrogeologisch vergleichbare Bereiche zusammengefasst.

Die statistische Berechnung der Hintergrundwerte erfolgt in Anlehnung an ein von einer Arbeitsgruppe der staatlichen geologischen Dienste erarbeitetes Verfahren (Walter 2005; Wagner et al. 2011).

Zur Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurden folgende Bedingungen eingehalten:

- Eliminierung von Zeitreihen durch Median- ggf. Mittelwertbildung
- die Mindestdatenmenge in einer Bezugseinheit für einen Parameter darf die Anzahl 10 nicht unterschreiten
- Verwendung des 90%-Perzentils der Normalpopulation als Hintergrundwert
- Übersteigt der Anteil von Analyseergebnissen unterhalb der Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze am Datenkollektiv eines Parameters einer Bezugseinheit 40%, so gilt diese Einheit als nicht auswertbar bzw. muss gesondert gekennzeichnet werden. Dies soll eine Überrepräsentanz der analytischen Grenzen an der Ermittlung geogener Hintergrundwerte ausschließen.

2.4 Abschätzung der Nitrat-Emission

In Niedersachsen wird zusätzlich zum Monitoring des chemischen Zustands des Grundwassers die Nitrat-Emission abgeschätzt. Die sog. Basis-Emissionserkundung beruht auf der landesweit durchgeführten Abschätzung der Emission (= potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser) aus diffusen Quellen (Geobericht 2 (2007), Geobericht 9 (2008)).

Die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser dient der Abschätzung der Sickerwassergüte an der Untergrenze des Wurzelraumes. Zu deren Abschätzung werden die folgenden Eingangsgrößen herangezogen.

- N-Flächenbilanzsaldo (berechnet nach Daten der Agrarstatistik)
- Atmosphärische Deposition
- Denitrifikationspotenzial des Bodens
- Gesamtabfluss (nach GROWA).

3. Schwellenwerte

Die Grundwasserverordnung (GrwV) enthält Vorgaben hinsichtlich der Parameter, die zur Bewertung des chemischen Zustands als Schwellenwerte (SW) zu beachten sind.

Die 2014 nach Anlage 2 der Grundwasserverordnung (GrwV) geltenden bzw. die nach Mantelverordnung 2012 künftig vorgesehenen Schwellenwerte sind in folgender Tabelle aufgeführt:

Parameter	Schwellenwert nach GrwV 2010	Schwellenwert nach Mantelverordnung 2012
Nitrat (NO ₃ ⁻)	50 mg/l	50 mg/l
Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten einschließlich relevanter Stoffwechsel-, Abbau- und Reaktionsprodukte ²⁾	jeweils 0,1 µg/l insgesamt ³⁾ 0,5 µg/l	jeweils 0,1 µg/l insgesamt ³⁾ 0,5 µg/l
Arsen (As)	10 µg/l	10 µg/l
Cadmium (Cd)	0,5 µg/l	0,25 µg/l
Blei (Pb)	10 µg/l	7 µg/l
Quecksilber (Hg)	0,2 µg/l	0,05 µg/l
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Chlorid (Cl ⁻)	250 mg/l	250 mg/l
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	240 mg/l	250 mg/l
Summe Trichlorethylen und Tetrachlorethylen	10 µg/l ¹⁾	10 µg/l

¹⁾ Bewertung analog TrinkwV

Die TrinkwV (2013) beschränkt den Analysenumfang der leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe auf die Stoffe Tetrachlorethen (TRI) und Trichlorethen (PER) und damit den Grenzwert von 10 µg/l für die Summe beider Stoffe.

Die Parameterliste der TrinkwV wurde auf Stoffe beschränkt, die für die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch die größte Bedeutung haben, um den routinemäßig notwendigen Analysenaufwand zu begrenzen. Insofern muss davon ausgegangen werden, dass der für Tetrachlorethen und Trichlorethen gültige Grenzwert von 10 µg/l sogar für die Summe aller LHKW gilt.

²⁾ Entsprechend dem Pflanzenschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1998 (BGBl. I S. 971, 1527, 3512), das zuletzt durch Artikel 14 des Gesetzes vom 9. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1934) geändert worden ist.

³⁾ Insgesamt bedeutet die Summe aller einzelnen, bei dem Überwachungsverfahren nachgewiesenen und mengenmäßig bestimmten Pflanzenschutzmittel und Biozide, einschließlich der relevanter Stoffwechsel-, Abbau- und Reaktionsprodukte.“

4. Beurteilung anhand der Schwellenwerte

4.1 Bezug zur Grundwasserverordnung

Grundlage für die Bewertung des chemischen Grundwasserstands sind die in Anlage 2 der GrwV aufgeführten Schwellenwerte. Zur Zustandsbewertung werden diese Schwellenwerte wie folgt angewendet:

- **Der Schwellenwert (SW) wird an keiner Messstelle des WRRL-Messnetzes² in einem Grundwasserkörper (GWK) überschritten:** Der Grundwasserkörper befindet sich in einem **guten chemischen Zustand** (§ 7 Abs. 2 Nr. 1 GrwV). Weitere Prüfschritte sind nicht erforderlich.
- **Der Schwellenwert (SW) wird an einer oder mehreren WRRL-Messstellen in einem Grundwasserkörper überschritten:** Nach den Vorgaben der Grundwasserverordnung sind nachfolgend weitere Prüfschritte erforderlich.

Im ersten Schritt ist zunächst zu ermitteln, inwieweit aus einem solchen Messergebnis eine Bewertung für eine bestimmte Fläche, die nicht den ganzen GWK umfasst, hergeleitet werden kann (§ 6 Abs. 2 GrwV). Für diesen Arbeitsschritt sind die GWK nach fachlichen Kriterien in sog. Typflächen oder Teilräume untergliedert worden; diese bilden jeweils das Objekt einer Bewertung nach § 6 Abs. 2 GrwV.

Im zweiten Schritt wird darauf die Bewertung des GWK nach § 7 Abs. 2 Nr. 2 und Abs. 3 GrwV aufgebaut. Wenn für mindestens eine Typfläche bzw. einen Teilraum in einem GWK eine Überschreitung eines Schwellenwertes ermittelt wurde, ist anhand dieser zwei Kriterienbündel zu prüfen, ob der chemische Grundwasserzustand dennoch gut ist bzw. als gut eingestuft werden kann.

Sofern

- die Voraussetzung nach § 7 Abs. 2 Nr. 1 GrwV nicht erfüllt ist,
- die Überschreitung eines Schwellenwertes nicht nach § 7 Abs. 3 Satz 2 GrwV unbeachtlich ist,
- mit der Bewertung gemäß § 6 Abs. 2 GrwV für eine Teilfläche (Typfläche/Teilraum) die Überschreitung eines Schwellenwertes ermittelt wurde und die Voraussetzungen nach § 7 Abs. 3 Satz 1 GrwV nicht erfüllt sind und
- die Voraussetzungen nach § 7 Abs. 2 Nr. 2 GrwV nicht erfüllt sind ist der chemische Grundwasserzustand als schlecht einzustufen.

In Tabelle 1 ist das Verfahren für die Beurteilung des chemischen Zustands nach § 7, Absatz 2 und 3 sowie die entsprechenden Prüfkriterien in Niedersachsen/Bremen aufgelistet.

² Das WRRL-Messnetz umfasst die Messnetze für die Überblicksüberwachung und für die operative Überwachung gemäß § 9 GrwV

Tab. 1: Verfahren für die Beurteilung des chemischen Zustands des Grundwassers bei Überschreitung der Schwellenwerte und Vorgehensweise (Prüfkriterien) in Niedersachsen/Bremen (nach LAWA-AG-Abstimmung)

Verfahren gem. Grundwasserverordnung (§ 7, Absatz 2 und 3) [Wortlaut]:		Vorgehensweise/Kriterien in Niedersachsen/Bremen (Erläuterung siehe Text)
Absatz 2, Nr. 1	<p>Der chemische Grundwasserzustand ist gut, wenn</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. die in Anlage 2 enthaltenen oder die nach § 5 Absatz 1 Satz 2 oder Absatz 2 festgelegten Schwellenwerte an keiner Messstelle nach § 9 Absatz 1 im Grundwasserkörper überschritten werden. 	<p>Auswertung des Messnetzes nach § 9 Absatz 1 i. V. m. Anlage 4 GrwV</p>
Absatz 2, Nr. 2	<p>Der chemische Grundwasserzustand ist gut, wenn</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. durch die Überwachung nach § 9 festgestellt wird, dass <ol style="list-style-type: none"> a) es keine Anzeichen für Einträge von Schadstoffen aufgrund menschlicher Tätigkeiten gibt, wobei Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit bei Salzen allein keinen Hinweis auf derartige Einträge geben, b) die Grundwasserbeschaffenheit keine signifikante Verschlechterung des ökologischen oder chemischen Zustands der Oberflächengewässer zur Folge hat und dementsprechend nicht zu einem Verfehlen der Bewirtschaftungsziele in den mit dem Grundwasser in hydraulischer Verbindung stehender Oberflächengewässern führt und c) die Grundwasserbeschaffenheit nicht zu einer signifikanten Schädigung unmittelbar von dem Grundwasserkörper abhängiger Landökosysteme führt. 	<p>Beurteilung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erkenntnisse über Schadstoffe nach Anlage 2 GrwV • Umweltziele angeschlossener Oberflächengewässer • Grundwasserabhängige Landökosysteme • Salz- oder sonstige Intrusionen

Verfahren gem. Grundwasserverordnung (§ 7, Absatz 2 und 3) [Wortlaut]:		Vorgehensweise/Kriterien in Niedersachsen/Bremen (Erläuterung siehe Text)
Absatz 3, Satz 1 Nr. 1	<p>Wird ein Schwellenwert an Messstellen nach § 9 Absatz 1 überschritten, kann der chemische Grundwasserzustand auch dann noch als gut eingestuft werden, wenn eine der nachfolgenden flächenbezogenen Voraussetzungen erfüllt ist:</p> <p>a) die nach § 6 Absatz 2 ermittelte Flächen-summe beträgt weniger als ein Drittel der Fläche des Grundwasserkörpers,</p> <p>b) bei Grundwasserkörpern, die größer als 75 Quadratkilometer sind, ist der nach Buchstabe a ermittelte Flächenanteil zwar größer als ein Drittel der Fläche des Grundwasserkörpers, aber 25 Quadratki-lometer werden nicht überschritten, oder</p> <p>c) bei nachteiligen Veränderungen des Grundwassers durch schädliche Boden-veränderungen und Altlasten ist die fest-gestellte oder die in absehbarer Zeit zu erwartende Ausdehnung der Überschrei-tungen auf insgesamt weniger als 25 Quadratkilometer pro Grundwasserkörper und bei Grundwasserkörpern, die kleiner als 250 Quadratkilometer, auf weniger als ein Zehntel der Grundwasserkörperfläche begrenzt.</p>	<p>Kriterien für die Ermittlung der flächenhaften Vo-raussetzungen:</p> <p>Zu beachten ist, dass § 7 Abs. 3 Satz 1 GrwV in den Nummern 1. bis 3. kumulative Voraussetzun-gen nennt. Dagegen sind die Buchstaben a) bis c) in § 7 Abs. 3 Satz 1 GrwV Alternativen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewertung der einzelnen Typflä-chen/Teilräume (TF/TR) als Grundlage. (Kriterien für die Ermittlung der Schwellenwer-tüberschreitung für Teilgebiete der GWK (Typ-fläche bzw. Teilraum) nach § 6 Abs. 2 GrwV: <ul style="list-style-type: none"> ○ Mind. 3 Messstellen > SW je TF/TR, ○ Mittelwert aller „flachen“ Messstellen (im Lockergestein) bzw. aller Messstellen in vergleichbaren hydrostratigrafischen Einheiten (im Festgestein) in einer TF/eines TR > SW, ○ Mittelwert der pot. Nitratkonzentration im Sickerwasser der TF/des TR > 75 mg/l.) • Summe der Flächengröße der TF/TR mit sig-nifikanter Gefährdung > 33 % <u>oder</u> > 25 km².
Absatz 3, Satz 1 Nr. 2	<p>Wird ein Schwellenwert an Messstellen nach § 9 Absatz 1 überschritten, kann der chemische Grundwasserzustand auch dann noch als gut eingestuft werden, wenn</p> <p>2. das im Einzugsgebiet einer Trinkwasser-gewinnungsanlage mit einer Wasserent-nahme von mehr als 100 Kubikmeter am Tag gewonnene Wasser unter Berück-sichtigung des angewandten Aufberei-tungsverfahrens nicht den dem Schwel-lenwert entsprechenden Grenzwert der Trinkwasserverordnung überschreitet.</p>	<p>Beurteilung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgleich mit Beanstandungen von Reinwasseranalysen von Wasserwerken und bei Bedarf mit entsprechenden Rohwasser-analysen

Verfahren gem. Grundwasserverordnung (§ 7, Absatz 2 und 3) [Wortlaut]:		Vorgehensweise/Kriterien in Niedersachsen/Bremen (Erläuterung siehe Text)
Absatz 3, Satz 1 Nr. 3	Wird ein Schwellenwert an Messstellen nach § 9 Absatz 1 überschritten, kann der chemische Grundwasserzustand auch dann noch als gut eingestuft werden, wenn <ol style="list-style-type: none"> 3. die Nutzungsmöglichkeiten des Grundwassers nicht signifikant beeinträchtigt werden. 	Beurteilung: <ul style="list-style-type: none"> • vorhandene Nutzungen des Grundwassers für den menschlichen Gebrauch (z.B. Lebensmittelindustrie etc.) • Abgleich mit Beanstandungen bzw. Beschränkungen entsprechender Nutzungen
Absatz 3, Satz 1	Messstellen, an denen die Überschreitung eines Schwellenwertes auf natürliche, nicht durch menschliche Tätigkeiten verursachte Gründe zurückzuführen ist, werden wie Messstellen behandelt, an denen die Schwellenwerte eingehalten werden.	Kann die Überschreitung eines Schwellenwertes auf eine geogene Hintergrundbelastung zurückgeführt werden, dann wird der chemische Zustand des Grundwasserkörpers hinsichtlich des Schwellenwertes als gut eingestuft und es müssen keine weiteren Prüfschritte durchgeführt werden.

In der folgenden Abbildung 1 ist die Vorgehensweise bei der Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper schematisch dargestellt:

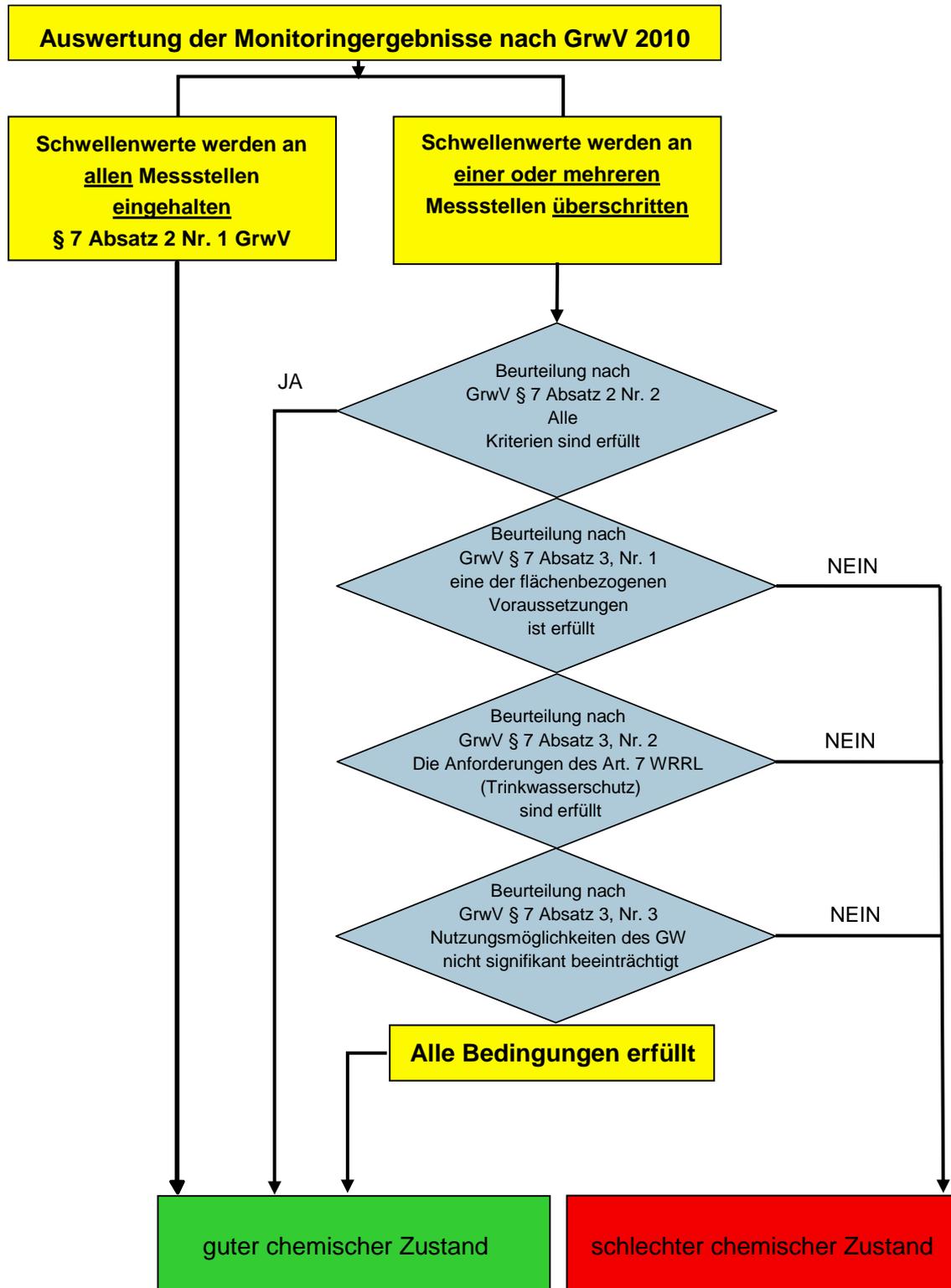


Abb. 1: Vorgehensweise bei der Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper

4.2 Beurteilung einer Teilfläche eines GWK (Typfläche oder Teilraum) bezüglich der Überschreitung von Schwellenwerten (§ 6 Abs. 2 GrwV)

Im folgenden Kapitel wird die Methodik erläutert, nach der die Beurteilung einer Teilfläche eines Grundwasserkörpers bezüglich der Überschreitung von Schwellenwerten entsprechend § 6 Abs. 2 der Grundwasserverordnung erfolgt. In Abbildung 2 ist diese Methodik schematisch dargestellt.

Das Kapitel 4.2.2 enthält eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens für den Parameter Nitrat.

Für die weiteren Schwellenwertparameter wird prinzipiell nach demselben Schema vorgegangen. Die Besonderheiten, die bei der Bewertung der Schwellenwertparameter zu beachten sind, werden in Kapitel 4.2.3 vorgestellt. Für die Pflanzenschutzmittel (PSM) wurde ein Bewertungsverfahren in Anlehnung an die oben genannten Kapitel entwickelt (vgl. Kapitel 4.2.4).

Die Vorschriften in § 7 Abs. 3 i. V. m. § 6 Abs. 2 GrwV dienen zur Umsetzung von Artikel 4 der Richtlinie 2006/118/EG (Grundwasserrichtlinie). Da das fachliche Bewertungskonzept bereits entwickelt wurde, bevor die Richtlinie im Jahr 2010 in nationales Recht umgesetzt wurde, nimmt es auf den Begriff der „Gefährdung“ bzw. „signifikanten Gefährdung der Umwelt“ Bezug, den die Grundwasserrichtlinie in Artikel 4 Abs. 2 Buchst. c) i) sowie in Anhang III verwendet. Die Feststellung einer „signifikanten Gefährdung der Umwelt“ im Sinne des nachfolgend dargestellten Fachkonzeptes entspricht der Ermittlung einer Schwellenwertüberschreitung für eine bestimmte Teilfläche eines GWK i.S.v. § 6 Abs. 2 GrwV. Hieran knüpft anschließend die Beurteilung des GWK nach § 7 Abs. 3 Satz 1 Nr. 1 GrwV an (vgl. Kapitel 4.3).

Leitfaden für die Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper nach EG-WRRL

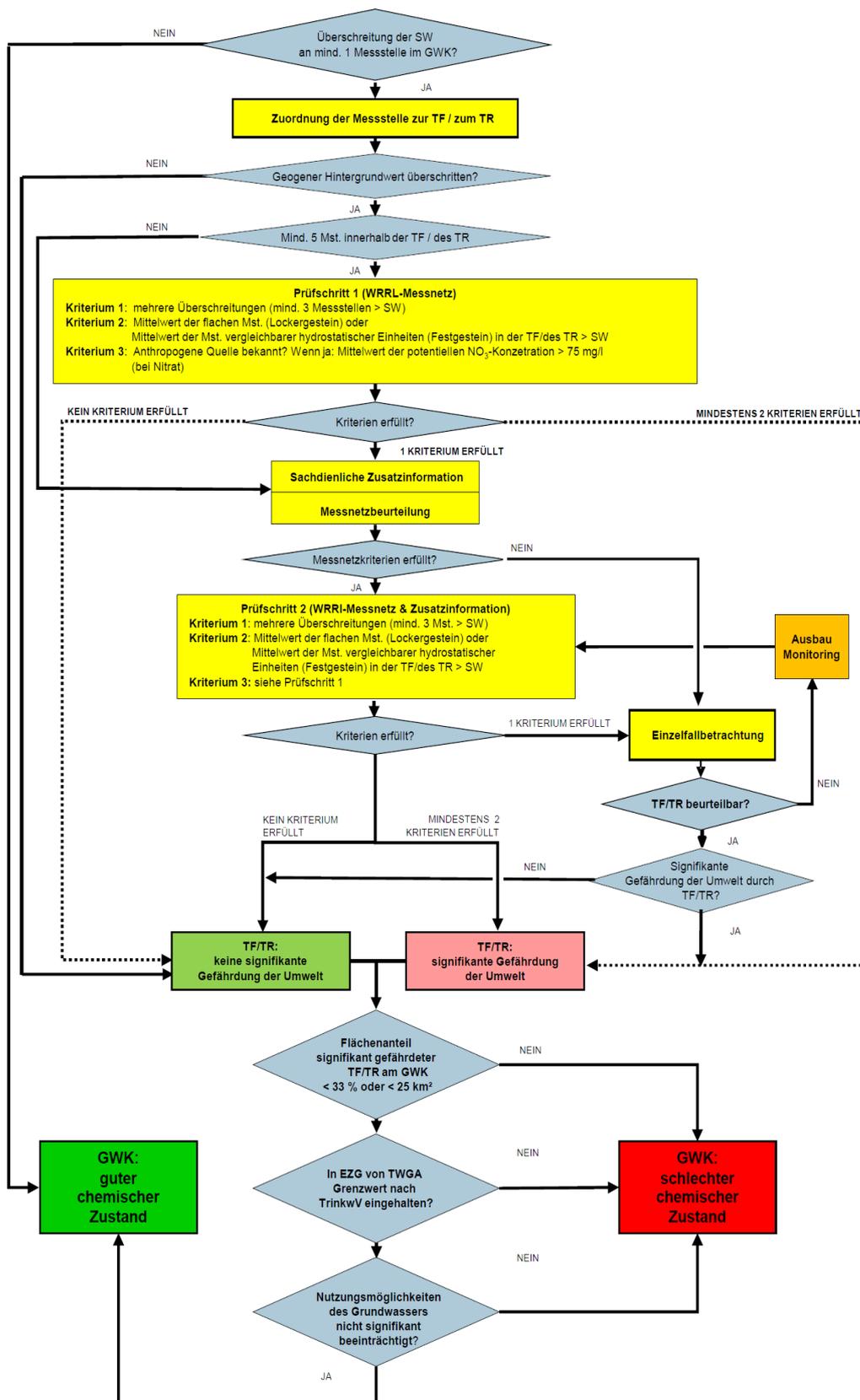


Abb. 2: Vorgehensweise zur Beurteilung der Grundwasserkörper (GWK) auf der Basis von Teilflächen gemäß § 7 Abs. 3 Satz 1 i. V. m. § 6 Abs. 2 GrwV

4.2.1 Zuordnung der Messstellen zu den Typflächen/Teilräumen innerhalb der Grundwasserkörper

Die Messstellen mit Werten $> SW$ werden den Typflächen/Teilräumen des Grundwasserkörpers zugeordnet. Damit wird die maximale Ausdehnung der Belastung, die durch eine Überschreitung der Schwellenwerte an einer Messstelle angezeigt wird, auf eine Fläche innerhalb der betroffenen Typfläche/des betroffenen Teilraumes beschränkt.

4.2.2 Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch den Parameter Nitrat

Die Frage, ob eine Messstelle mit einem Wert $> SW$ eine signifikante Gefährdung der Umwelt innerhalb einer Typfläche/eines Teilraumes anzeigt, wird anhand der folgenden Kriterien bewertet:

Kriterium 1: mehrere Messstellen $> SW$ je Typfläche/Teilraum. Unter „mehreren Messstellen“ sind mindestens 3 Messstellen $> SW$ zu verstehen.

Kriterium 2: Mittelwert der Konzentrationen der flach verfilterten Messstellen (im Lockergestein) bzw. der Messstellen vergleichbarer hydrostratigrafischer Einheiten (im Festgestein) in einer Typfläche/in einem Teilraum $> SW$ (Kriterium 2 ist nur anwendbar bei mindestens 3 der oben genannten Messstellen je Typfläche/Teilraum).

Kriterium 3: Mittelwert der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser der Typfläche/des Teilraumes $> 75 \text{ mg/l}$.

- Prüfverfahren

Die Prüfung, ob eine signifikante Gefährdung der Umwelt zu besorgen ist, erfolgt nach einem abgestuften Verfahren mit mehreren Prüfschritten (siehe Abbildung 2).

Voraussetzung zur Durchführung des ersten Prüfschritts ist, dass in der Typfläche/im Teilraum mindestens 5 Messstellen des WRRL-Messnetzes existieren und entsprechende Analysen vorliegen.

Für Grundwasserkörper im Festgestein, in denen an mindestens einer Messstelle des WRRL-Messnetzes der Schwellenwert überschritten wird, wird aufgrund der komplexen hydrogeologischen Randbedingungen immer geprüft, ob die Messstellen für die hydrogeologischen Gegebenheiten der Typfläche/des Teilraumes hinreichend aussagekräftig sind.

Prüfschritt 1

Prüfschritt 1 erfolgt auf Basis der Messergebnisse des WRRL-Messnetzes.

Die Bewertung kann zu folgenden 3 Ergebnissen führen:

- Wenn **kein Kriterium** erfüllt wird, besteht innerhalb der Typfläche/des Teilraumes **keine signifikante Gefährdung** der Umwelt.
- Wenn mindestens **2 Kriterien** erfüllt werden, besteht innerhalb der Typfläche/des Teilraumes eine **signifikante Gefährdung** der Umwelt.
- Wird nur **1 Kriterium** erfüllt, kann nicht sicher festgestellt werden, dass die Überschreitung des SW keine signifikante Gefährdung der Umwelt darstellt. In diesem Fall wird nach der **Beschaffung sachdienlicher Zusatzinformationen** der **Prüfschritt 2** durchgeführt.

- Beschaffung sachdienlicher Zusatzinformationen und Messnetzbeurteilung

Für eine geeignete Untersuchung nach Anlage 4 der GrwV können neben den Messergebnissen des WRRL-Messnetzes auch andere „sachdienliche Hinweise“ berücksichtigt werden.

In Niedersachsen und Bremen werden zur Abschätzung der Signifikanz einer Gefährdung der Umwelt andere „sachdienliche Hinweise“ herangezogen, wenn in den Typflächen/Teilräumen

- weniger als 5 Messstellen des WRRL-Messnetzes vorliegen oder
- nach Prüfschritt 1 nur ein Kriterium erfüllt wird.

Die sachdienlichen Zusatzinformationen werden u. a. durch ein Heranziehen weiterer Messergebnisse auf der Basis aller verfügbaren Messstellen in Verbindung mit einer Messnetzbeurteilung mit Berücksichtigung zusätzlicher, für die hydrogeologische Beurteilung verwertbarer Informationen gewonnen.

Die Auswahl zusätzlicher Messstellen erfolgt gemäß den Schritten 1 bis 4 der im niedersächsischen Leitfaden zur Messstellenauswahl (NLWKN/LBEG 2006) für das WRRL-Messnetz beschriebenen Methodik. Abweichend von den in Schritt 5 des eben genannten Leitfadens festgelegten Auswahlkriterien werden jedoch die folgenden Kriterien verwendet:

- die Messstellen müssen die Mindestanforderungen aus Anlage 1 erfüllen
- die Messnetzdichte (WRRL-Messnetz, zusätzliche Messstellen) sollte mindestens 1 Mst./25 km² betragen
- einzelne Messstellen mit Messergebnissen > SW sollten grundsätzlich ausgewählt werden. Weitere Messstellen innerhalb dieses Radius werden dann nicht mehr betrachtet.

- Messnetzbeurteilung

Bestandteil der zusätzlichen Messstellenauswahl ist eine Messnetzbeurteilung. Hierfür wird eine Einstufung der Messstellen nach der hydrostratigrafischen Gliederung Niedersachsens (vgl. Geofakten 21; LBEG 2005) durchgeführt. Als Grundlage dient dabei die geographische Lage der Messstelle, das Schichtenverzeichnis, die Tiefenlage der Filter- / Beprobungstiefe und ggf. hydrogeologische Schnitte.

Die Messnetzbeurteilung erfolgt auf Basis der vorhandenen Messstelleninformationen, der Informationen über die Typfläche/des Teilraumes und ggf. weiterer hydrogeologischer Kenntnisse. Dabei ist die Verbreitung der relevanten hydrostratigrafischen Einheiten, ihre Bedeutung für die Wassernutzung und ggf. für Landökosysteme zu berücksichtigen.

Aus der Beurteilung sollte insbesondere hervorgehen, wie die an den Messstellen gewonnenen Ergebnisse in den regional hydrogeologischen Zusammenhang gestellt werden können.

Die Messstellen repräsentieren die für die Bewertung nach EG-WRRL relevanten hydrostratigrafischen Einheiten, die in der Typfläche/dem Teilraum vorkommen. Eine im Randbereich (innerhalb oder außerhalb) einer Typfläche/eines Teilraumes gelegene Messstelle wird derjenigen Typfläche/demjenigen Teilraum zugeordnet, aus der sie angeströmt wird.

Falls im Lockergestein eine Mindestdichte von 1 Mst. pro 25 km² nicht erreicht werden kann, so liegt in der Typfläche/dem Teilraum voraussichtlich ein Defizit vor und Prüfschritt 2 kann nicht durchgeführt werden.

Aufgrund der komplexen geologischen Gegebenheiten in Grundwasserkörpern des Festgesteins und der dort häufig bestehenden mangelnden Messstellendichte ist das Kriterium der flächenbezogenen Messnetzdichte (1 Mst./25 km²) nicht als Maß für die Repräsentativität

des Messnetzes geeignet. Für diese Typflächen/Teilräume liegt ein Defizit vor, wenn die relevanten hydrostratigrafischen Einheiten nicht ausreichend repräsentiert werden. In allen Typflächen/Teilräumen, in denen ein Defizit an Messstellen ermittelt wird, erfolgt eine Einzelfallbetrachtung.

Prüfschritt 2

Der Prüfschritt 2 erfolgt analog zu Prüfschritt 1 (mindestens 5 Messstellen), jedoch nun auf der Basis der Messergebnisse des WRRL-Messnetzes und der zusätzlichen Messstellen nach der hydrogeologischen Messnetzbeurteilung.

Die Bewertung kann zu den folgenden 3 Ergebnissen führen:

- Wenn **kein Kriterium** erfüllt wird, besteht innerhalb der Typfläche/des Teilraumes **keine signifikante Gefährdung** der Umwelt.
- Wenn mindestens **2 Kriterien** erfüllt werden, besteht innerhalb der Typfläche/des Teilraumes **eine signifikante Gefährdung** der Umwelt.
- Wenn nur **1 Kriterium** erfüllt wird, kann nicht sicher festgestellt werden, dass die Überschreitung der QN keine signifikante Gefährdung der Umwelt darstellt. In diesem Fall wird zusätzlich eine **Prüfung im Rahmen der Einzelfallbetrachtung** durchgeführt.

Prüfschritt 3 (Einzelfallbetrachtung)

Die Einzelfallbetrachtung erhält in denjenigen Typflächen/Teilräumen besondere Bedeutung, in denen die Einstufung der Typfläche/des Teilraumes für die Beurteilung des chemischen Zustands des Grundwasserkörpers von großer Relevanz ist.

Neben den vorhandenen Messdaten gehen in die Einzelfallbetrachtung alle Informationen ein, die einer formalisierten Bewertung nicht zugänglich sind.

Dazu gehören u. a. folgende Informationen:

- Expertenwissen (bodenkundlich, hydrogeologisch, wasserwirtschaftlich etc.)
- Vor-Ort-Wissen (z. B. Belastungen in WSG, Zusatzmesskampagnen)
- Analogieschlüsse
- Belastung in Nachbarländern, bei Typflächen/Teilräumen im Grenzbereich
- Hydrogeologische Prüfung (Beurteilbarkeit).

Zur Unterstützung der Einzelfallbetrachtung wird für jede Typfläche/jeden Teilraum, die für die Einzelfallbetrachtung vorgesehen ist, eine Tabelle erzeugt, die folgende Angaben enthält:

- Anzahl der Messstellen über dem Schwellenwert
- gemittelte Nitratgehalte der flachen und aller vorhandenen Messstellen
- Anzahl der Messstellen, die den Schwellenwert überschreiten, bezogen auf eine Fläche von 100 km²
- Mittelwert potenzieller NO₃-Konzentration
- Flächenanteil der Typfläche/des Teilraumes mit Nitratkonzentrationen über 100 mg/l.

Diese Daten dienen dazu, in der Einzelfallbetrachtung und der daraus abgeleiteten Bewertung, die Konsistenz zu den vorangegangenen Prüfschritten zu wahren und werden in die Bewertung mit einbezogen.

Die Einzelfallbetrachtung erfordert eine enge Abstimmung aller beteiligten Fachbereiche. Die in diesem Arbeitsschritt verwendeten Informationen und die daraus abgeleitete Bewertung werden dokumentiert. Treten in der Bewertung Widersprüche zu vorangegangenen Prüfschritten auf, werden diese dokumentiert und erläutert.

Ergibt die Einzelfallbetrachtung, dass die Typfläche/der Teilraum nicht beurteilbar ist, wird die Typfläche/der Teilraum zunächst als „signifikant gefährdet“ eingestuft und Vorschläge für einen Ausbau des Monitorings dokumentiert. Nach einem Ausbau des Monitorings wird die Fläche erneut einer Beurteilung nach Prüfschritt 2 unterzogen.

Ergibt die Einzelfallbetrachtung, dass eine einmalige Beurteilung (z. B. auf der Grundlage von vorhandenen Gutachten) zwar möglich ist, aber die Durchführung eines angemessenen Monitorings nicht sichergestellt werden kann, wird die Fläche entsprechend eingestuft und Vorschläge für einen Ausbau des Monitorings gemacht. Die Vorschläge sollen eine Überprüfung der getroffenen Einschätzung ermöglichen.

Als weitere Entscheidungshilfe soll die Risikoanalyse im Rahmen der Bestandsaufnahme herangezogen werden.

4.2.3 Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch weitere Schwellenwertparameter

Für die weiteren Parameter, für die ebenfalls Schwellenwerte festgelegt wurden, erfolgt die Abschätzung der signifikanten Gefährdung im Prinzip analog der in Kap. 4.2.2 dargestellten Methodik. Abweichend davon muss für einige Schwellenwertparameter zunächst überprüft werden, ob der natürliche geogene Hintergrundwert höher liegt als der Schwellenwert (vgl. Kap. 2.3). Dies erfolgt auf der Basis der Zuordnung der einzelnen Messstelle zur hydrostratigraphischen Einheit und der Festlegung von Hintergrundwerten für diese Einheiten bzw. für größere hydrogeologische Einheiten.

Kann die Überschreitung der Schwellenwerte auf eine geogene Hintergrundbelastung zurückgeführt werden, dann wird der chemische Zustand des Grundwasserkörpers hinsichtlich der Schwellenwerte als gut eingestuft und es müssen keine weiteren Prüfschritte durchgeführt werden.

- Definition von Kriterium 3 für die Schwellenwertparameter

Im Rahmen der Prüfschritte 1 und 2 wird bei der Überprüfung von Kriterium 3 eine Emissionsbetrachtung durchgeführt. Für den Parameter Nitrat liegt hierfür ein landesweites Modell vor (vgl. Kap. 2.4).

Für die Überschreitung der weiteren Schwellenwertparameter wird allgemein das Vorhandensein einer anthropogenen Quelle für den entsprechenden Parameter erwartet. Bei der anthropogenen Quelle kann es sich sowohl um diffuse Quellen als auch um Punktquellen handeln.

Insofern wird über das Kriterium 3 der Prüfschritte 1 und 2, in Form einer Abschätzung, inwieweit ermittelte Schwellenwertüberschreitungen eine punktuelle oder diffuse (flächenhafte) Belastung darstellen, eine Parameter- und Standortabhängige Emissionsbetrachtung durchgeführt.

4.2.4 Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch Pflanzenschutzmittel (PSM)

Die Bewertung 2015 gem. EG-WRRL erfolgte entgegen der Bewertung 2009 nur aufgrund von Wirkstoffbefunden und Befunden von relevanten Metaboliten. Die nicht relevanten Metabolite (nrM) wurden in die Bewertung nicht mit einbezogen.

Für die Bewertung 2009 wurden mit 2,6-Dichlorbenzamid und AMPA nur 2 nicht relevante Metabolite (nrM) einbezogen. Hierzu lagen jedoch keine Befunde $>10\mu\text{g/l}$ vor. Somit spielten bei der Bewertung 2009 die nrM reell ebenfalls keine Rolle. Damit sind die Bewertungsergebnisse vergleichbar.

Das Bewertungsverfahren zur Abschätzung der Gefährdung der Umwelt durch Pflanzenschutzmittel wurde in Anlehnung an die Verfahrensweise der Kapitel 4.2.2 und 4.2.3 entwickelt. Die Betrachtung des geogenen Hintergrundwertes spielt dabei keine Rolle, da das Vorkommen von Pflanzenschutzmitteln im Grundwasser ausschließlich auf anthropogene Einträge zurückzuführen ist. Eine Diskussion der geogenen Hintergrundwerte gemäß Kapitel 2.3 erübrigt sich somit in diesem Falle.

In Abbildung 3 ist die Vorgehensweise der Bewertung schematisch dargestellt.

Grundlage der aktuellen Bewertung waren die seit 2004 im Rahmen des GÜN-PSM-Monitoring landesweit erhobenen Daten sowie die Untersuchungsergebnisse aus den Jahren 2008 bis 2013 des WRRL-Messnetzes. Die Auswertung erfolgte zunächst nicht Wirkstoffbezogen. Es wurde die höchste gemessene Wirkstoffkonzentration eines Untersuchungsintervalls zugrunde gelegt. Für jede Messstelle mit Schwellenwertüberschreitung wird ein Steckbrief erstellt, der die Zuordnung zur Typfläche/zum Teilraum und die einzelnen in Abb. 3 aufgeführten Bewertungsschritte abbildet.

Die Frage, ob eine Messstelle mit einem Wert $>$ Schwellenwert (SW) eine signifikante Gefährdung der Umwelt innerhalb einer Typfläche/eines Teilraumes anzeigt, wird anhand der folgenden Kriterien bewertet:

Wirkstoffe (SW $0,1\mu\text{g/l}$)

Kriterium 1: Bestätigung der Belastung über mind. 2 Untersuchungsintervalle

Kriterium 2: Weitere Messstellen in der Typfläche/im Teilraum mit Messwerten $>$ Warnwert ($0,05\mu\text{g/l}$)

Kriterium 3: Summe PSM $> 0,5\mu\text{g/l}$ für Wirkstoffe

Diese Bewertung erfolgt im Rahmen der aktuellen Bewertung für

1. alle Grundwassermessstellen (GWM), bei denen eine aktuelle Überschreitung, den Zeitraum 2009 - 2013 betreffend, vorliegt.
2. alle GWM, bei denen ausschließlich Überschreitungen aus dem Zeitraum 2004 bis 2009 vorliegen, sofern an mindestens einer weiteren Messstelle in der entsprechenden Typfläche/dem entsprechenden Teilraum eine Überschreitung des Schwellenwerts vorliegt. Falls keine weitere Überschreitung vorliegt, wird die Typfläche/der Teilraum als nicht signifikant gefährdet eingestuft.

Als nicht signifikant gefährdet für die Umwelt wird eine Typfläche/ein Teilraum bewertet, wenn keines der Überprüfungskriterien zutrifft.

Wird mindestens **1 Kriterium** erfüllt, wird zusätzlich eine **Prüfung im Rahmen einer Einzel-fallbetrachtung** für die betroffenen Messstellen bzw. der zugehörigen Typflächen/Teilräume und Grundwasserkörper durchgeführt.

Hierbei gelten folgende Kriterien:

1. Im Grundwasserkörper (GWK) liegt eine Gefährdung vor, wenn mindestens 2 GWM vorliegen, für die eine Einzelfallbetrachtung erfolgt.
2. Im GWK liegt eine Gefährdung vor, wenn neben einer Messstelle mit Einzelfallbetrachtung zusätzlich eine Messstelle mit Warnwertüberschreitung zum gleichen Parameter vorliegt.
3. Im GWK liegt keine Gefährdung vor, wenn nur eine Messstelle mit Einzelfallbetrachtung vorliegt.

Typflächen/Teilräume werden ebenfalls als nicht gefährdet eingestuft:

- wenn ein gefundener Wirkstoff im Folgejahr / in den Folgejahren nicht mehr nachweisbar ist.
- wenn die Bewertung nur auf Grundlage einer einzigen Messung erfolgen kann und parallel keinerlei Bestätigungen in der Typfläche/dem Teilraum durch andere Messstellen vorliegen. Messstellen in diesen Typflächen/Teilräumen sind in den Folgejahren verstärkt weiter zu beobachten.

Kann durch die Einzelfallbetrachtung eine signifikante Gefährdung ausgeschlossen werden, wird die Typfläche/der Teilraum als nicht signifikant gefährdet eingestuft. Anderenfalls liegt für die Typfläche/den Teilraum eine signifikante Gefährdung für die Umwelt vor. Um die Ausdehnung der signifikanten Gefährdung der Umwelt im Grundwasserkörper anhand der Flächengröße der Typfläche/des Teilraumes und deren Anteil am Grundwasserkörper zu bewerten, wird abschließend auch für die Pflanzenschutzmittel-Parameter eine Beurteilung der Ausdehnung nach dem in Kapitel 4.3 beschriebenen Verfahren durchgeführt.

4.3 Beurteilung der Ausdehnung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt im Grundwasserkörper (§ 7 Absatz 3 Nr. 1 GrwV)

Nachdem die Signifikanz einer Gefährdung der Umwelt für eine Typfläche/einen Teilraum geprüft wurde, wird deren Ausdehnung anhand der Flächengröße der Typfläche/des Teilraumes und deren Anteil am Grundwasserkörper bewertet. Dabei gelten die in der Grundwasserverordnung angegebenen Mindestanteile (> 33% oder > 25 km²). Hierbei wird die Summe der Flächengrößen der im Grundwasserkörper vorhandenen Typflächen/Teilräume mit einer signifikanten Gefährdung der Umwelt herangezogen. Sofern diese den Mindestanteil/die Mindestgröße überschreitet, wird der Grundwasserkörper in einen chemisch schlechten Zustand eingestuft.

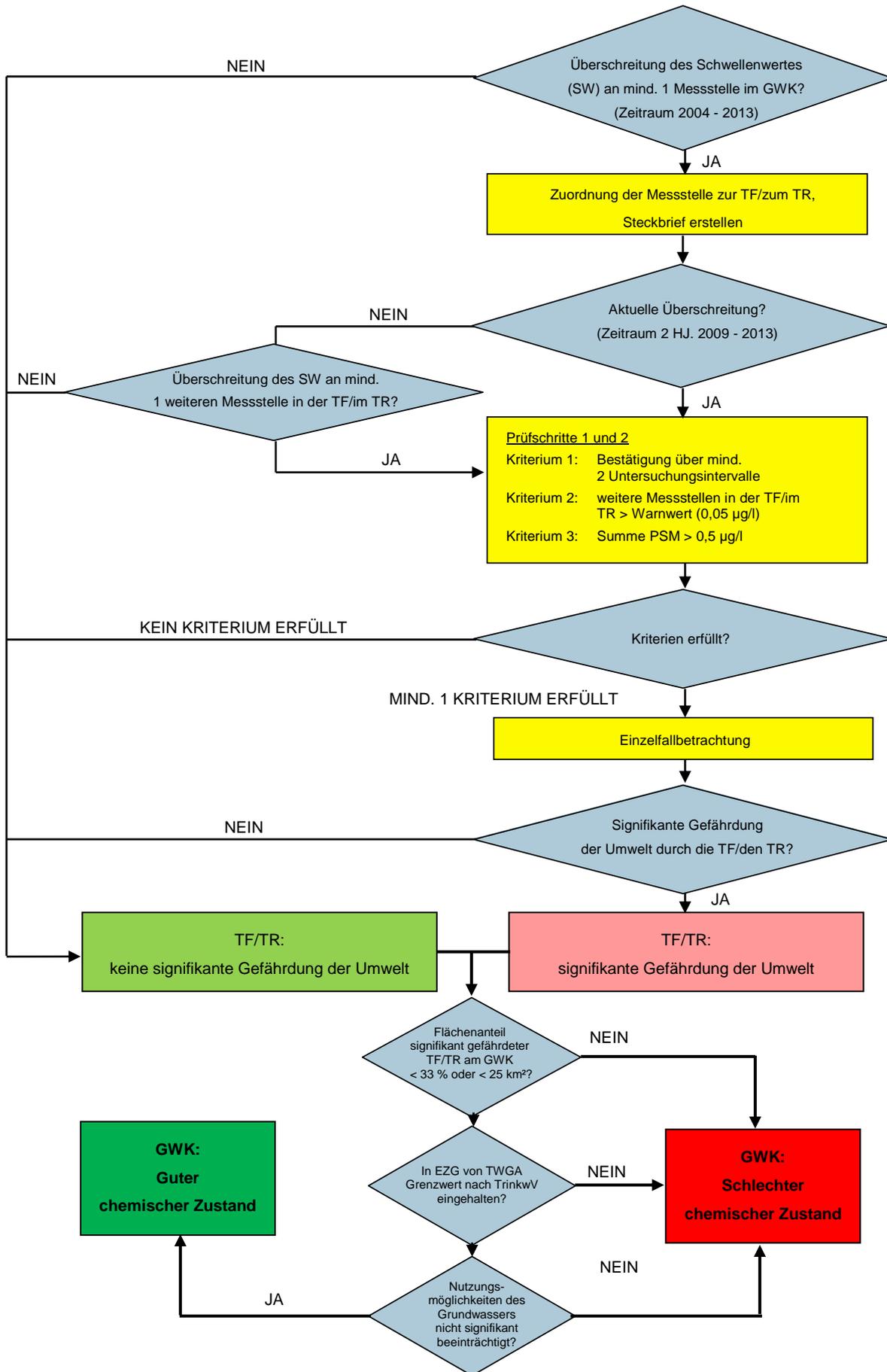


Abb. 3: Vorgehensweise zur Bewertung der PSM-Belastung nach GrwV 2010

4.4 Beurteilung der Grundwasserbelastung im Hinblick auf den Trinkwasserschutz (§ 7 Absatz 3 Nr. 2 GrwV)

Im Rahmen dieser Beurteilung werden Überschreitungen der Schwellenwerte von ausgewiesenen oder geplanten Wasserschutzgebieten bzw. in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen überprüft. Dies geschieht an den jeweiligen Gewinnungsanlagen auf Basis der Rohwasser- bzw. Reinwasserüberwachungsergebnisse. Gibt es Reinwasserbeanstandungen erfolgt ein Abgleich mit der Rohwasserqualität (Rohwasser ggf. nach Zusammenfassung, aber vor Aufbereitung). Sofern die Beanstandungen auf Schwellenwertüberschreitungen im Rohwasser zurückgeführt werden können, wird der Grundwasserkörper als im schlechten chemischen Zustand eingestuft.

4.5 Beurteilung der Grundwasserbelastung im Hinblick auf die Nutzung durch den Menschen (§ 7 Absatz 3 Nr. 3 GrwV)

Nutzungen im Sinne dieser Prüfung sind Grundwassernutzungen für den menschlichen Gebrauch (z.B. Lebensmittelbetriebe).

Hier wird beurteilt, ob im Umfeld der Messstellen mit Überschreitung der Schwellenwerte derartige Nutzungen vorliegen, die durch die Belastungen des Grundwassers negativ beeinträchtigt werden können.

Falls eine dieser Nutzungen nach eingehender Prüfung durch die Grundwasserbelastung negativ beeinträchtigt wird, so befindet sich der Grundwasserkörper in einem schlechten chemischen Zustand.

4.6 Beurteilung nach § 7 Absatz 2 Nr. 2 GrwV

Die Prüfung hinsichtlich der Überschreitung von Schwellenwerten erfolgt bereits zu Beginn der Bewertung und ist somit sozusagen die Grundlage der nachfolgenden Prüfschritte (s. Kap. 4.2.).

- Gibt es Anzeichen für Einträge von Schadstoffen aufgrund menschlicher Tätigkeiten?
- Werden die Umweltziele für mit dem Grundwasser in Verbindung stehende Oberflächengewässer durch den Grundwassereinfluss nicht erreicht bzw. die ökologische oder chemische Qualität derartiger Gewässer signifikant verringert?

Zur Bewertung vermuteter Beeinträchtigung/Verfehlung von Umweltzielen bzw. signifikanter Verringerung der ökologischen oder chemischen Qualität von Oberflächengewässern aufgrund von Belastungen des zuströmenden Grundwassers, sind folgende Aspekte von Interesse:

- Schwellenwertüberschreitungen welcher Parameter im Oberflächengewässer aufgrund von Grundwasserinfiltration?
- Ermittlung der Haupteintragspfade: Eintrag nur aus dem Grundwasser oder auch über punktuelle oder sonstige diffuse Quellen? Falls möglich Quantifizieren des Eintrages über das Grundwasser (Frachternmittlung)?
- Abschätzung möglicher Auswirkungen der durch das Grundwasser infiltrierten Stoffe auf das Oberflächengewässer.

- Werden Landökosysteme, die unmittelbar von dem Grundwasserkörper abhängen, signifikant geschädigt?

Zur Beurteilung einer chemischen Beeinträchtigung grundwasserabhängiger Landökosysteme bei konkreten Verdachtsfällen bedarf es einer genauen Einzelfallanalyse. Allgemeine Bewertungskriterien können nicht abgeleitet werden.

- Liegen Anzeichen für Salz- oder sonstige Intrusionen vor?

In Niedersachsen wird die Versalzung der küstennahen Grundwasserkörper durch intrudierendes Meerwasser aus der Nordsee erfasst und bewertet. In diesem Zusammenhang werden bereits im WRRL-Messnetz Messstellen berücksichtigt, die eine fortschreitende Versalzung im Küstenbereich anzeigen sollen. Dies gilt ebenfalls für bedeutende Versalzungen, die in Zusammenhang mit Ablaugungen oberflächennah anstehender Salzvorkommen stehen.

5. Trendanalyse und Trendumkehr

Nach § 10 der Grundwasserverordnung sollen Trendanalysen in denjenigen Grundwasserkörpern/Grundwasserkörpergruppen erfolgen, bei denen nach § 3 Absatz 1 GrwV ein Risiko besteht, dass sie die Bewirtschaftungsziele nicht erreichen.

Demzufolge wird eine Trendbetrachtung in allen als „gefährdet“ eingestuften Grundwasserkörpern an jeder gemeldeten Messstelle und nur für die Parameter durchgeführt, die zur Einstufung des Grundwasserkörpers in „gefährdet“ geführt haben.

Die Trendbetrachtung erfolgt jeweils über einen 6-Jahres-Zeitraum, was nach WRRL dem Zeitintervall eines Bewirtschaftungsplans entspricht. Entscheidend für die Bewertung ist das jeweils aktuelle 6-Jahres-Intervall. Für den ersten Bewirtschaftungszeitraum erfolgte eine Trendbetrachtung bis 2008. Ergänzend wurden Daten der Frühjahrsuntersuchung 2009 mit einbezogen. Die Bewertung für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum umfasst eine Trendbetrachtung der Jahre 2008 bis 2013.

Für den Parameter Pflanzenschutzmittel konnte aufgrund der fehlenden Zeitreihen bislang keine Trendbewertung erfolgen. Weitere Analyseergebnisse müssen hier vorerst noch abgewartet werden.

Gemäß § 10, Absatz 2 der Grundwasserverordnung ist bei Trends, die eine signifikante Gefahr für die Qualität der Gewässer- oder Landökosysteme, für die menschliche Gesundheit oder für legitime Nutzungen der Gewässer darstellen, eine Trendumkehr durch Maßnahmen zu bewirken.

„Signifikanter und anhaltender steigender Trend“ bezeichnet jede statistisch signifikante und ökologisch bedeutsame Zunahme der Konzentration eines Schadstoffs im Grundwasser, für den eine Trendumkehr als notwendig erkannt wird (§ 1, Abs. 3 GrwV). Die Ermittlung der nicht nur statistischen, sondern auch ökologisch bedeutsamen Zunahme der Konzentration eines Schadstoffs erfolgt gemäß Abstimmung in LAWA-AG in Anlehnung an die Vorgehensweise zur Bewertung des chemischen Zustands.

Ein signifikant ansteigender Trend ist dann maßnahmenrelevant, wenn die Schadstoffkonzentration einer Grundwassermessstelle über 75 % des Schwellenwertes liegt und wenn die von dieser oder mehreren Messstellen repräsentierte Fläche > 33 % oder 25 km² des Grundwasserkörpers ist (analog zur Prüfung nach Kap. 4.2).

Vorgehensweise und Bewertung der Trendanalyse sind in Anlage II des vorliegenden Leitfadens ausführlich erläutert und in der folgenden Abbildung 4 schematisch dargestellt.

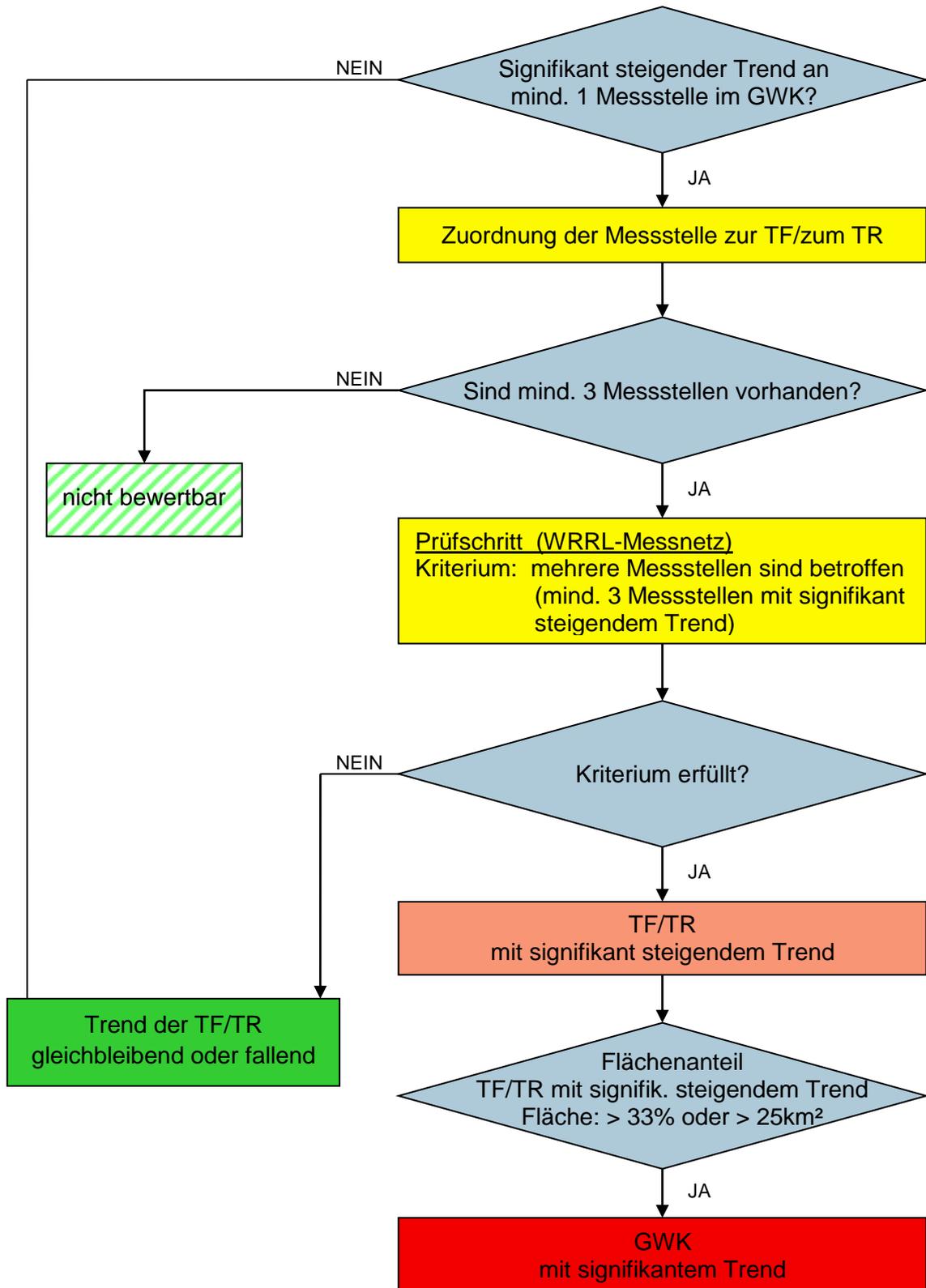


Abb. 4: Vorgehensweise bei der Trendbewertung nach § 10 GrwV

6. Literaturverzeichnis

GRWV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung) vom 09.11.2010 BGBl. I S. 1513

LAWA AG (2007): Sachstandsbericht des LAWA-UA - Fachliche Umsetzung der Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschlechterungen (2006//118/EG)

LAWA AG (2007): Protokoll der 53. Sitzung der LAWA AG, Unterausschuss Grundwasser

LBEG (2005): Geofakten 21 - Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens

LBEG (2007): Diffuse Nitrat- und Phosphatbelastung – Geobericht 2

LBEG (2008): Nutzung bodenkundlich hydrogeologischer Informationen zur Ausweisung von Zielgebieten für den Grundwasserschutz – Geobericht 9

NLWKN/LBEG (2006): Leitfaden für die Auswahl von geeigneten Grundwassermessstellen für die niedersächsischen Grundwasserkörper im Rahmen des Grundwassermonitorings gemäß EG-WRRL

NLWKN (2014): Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN) - Güte- und Standsmessnetz Grundwasser

RICHTLINIE 2000//60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik vom 23. Oktober 2000: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327/1.

RICHTLINIE 2006//118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung vom 27. Dezember 2006: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 372.

TRINKWV (2013): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung) vom 07.08.2013 (BGBl., S. 2977)

WAGNER, B., Walter, T., Himmelsbach, T., Clos, P., Beer, A., Budziak, D., Dreher, T., Fritsche, H.-G., Hübschmann, M., Marczinek, S., Peters, A., Poeser, H., Schuster, H., Steinel, A., Wagner, F. & Wirsing, G. (2011): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Deutschlands als Web Map Service. - Grundwasser, 16(3): 155-162; Springer, Berlin / Heidelberg. www.springerlink.com/content/e88pm153254q4u52

WALTER, T. (2005): Implementation of the Water Framework Directive in Saarland (Germany): Identification of groundwater bodies and installation of a new monitoring network. – Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 21; Spanien

7. Anlagen

Anlage 1: Anforderungen bei der Beschaffung sachdienlicher Zusatzinformationen (Messstellen)

Eine Messstelle ist dann als geeignet für das chemische Monitoring anzusehen, wenn für sie die in der folgenden Tabelle genannten Informationen vorliegen:

Überwachte/r Grundwasserleiter	N
Lage (Koordinaten), Name und einheitliche Kennung der Messstelle	N
Grundwasserkörper, in dem die Messstelle liegt	N
Aufgabe der Messstelle (Chemische-, mengenmäßige Beschaffenheit)	N
Art der Messstelle – (Bohrung, Quelle usw.)	N
Nutzung der Messstelle (Trink-, Brauchwasser, Bewässerung, GW-Beobachtung etc.)	N
Tiefe und Durchmesser d. Bohrlochs/ Brunnens	N
Beschreibung der Bauweise – Messstellenausbau	N
Hangneigung im Umfeld der Messstelle	
Tiefe, Lage und Länge der Verfilterung	N
Landnutzung im Umfeld/Einzugsgebiet	
Verletzlichkeit oder Angaben zur Mächtigkeit der Deckschichten und Art der Messstelle	N
Visuelle Beurteilung des Grundwasserneubildungs- bzw. Einzugsgebiets (einschließlich Bodennutzung und Belastungen, potenzielle Quellen punktförmiger Belastungen)	N
Bauliche Details	N
Entnahmemenge bzw. Gesamtabfluss (bei Quellen)	N
Entnahmeregime (qualitative Beschreibung, z.B. diskontinuierlich, kontinuierlich, über Nacht usw.)	W
Absenkung (Wasserstand nach Pumpvorgang)	W
Entnahmezone/Infiltrationsgebiet	W
Pumpentiefe	W
Statischer oder Ruhe-Wasserstand	N
Höhenlage und Beschreibung der Bezugshöhe	N
Artesisch/ überlaufend	N
(Geologisches) Schichtenverzeichnis	N
Eigenschaften des Grundwasserleiters (Transmissivität, hydraulische Leitfähigkeit usw.)	W

N = notwendige Angabe, W = wünschenswerte Angabe, modifiziert nach Staatl. Geologische Dienste (SGD): „Empfehlung zur Gestaltung der Grundwasserüberwachung“

Anlage 2:

Wirkstoffliste Pflanzenschutzmittel	
lfd. Nr.	Wirkstoffe
1	2,4-D (2,4-Dichlorphenoxyessigsäure)
2	2,4-DB
3	2,6 Dichlorbenzamid (Herkunft: Dichlobenil) (DCBA)
4	Alachlor
5	Aldicarb-sulfon
6	Aldrin
7	Amitrol
8	AMPA Aminomethylphosphonsäure
9	Atrazin
10	Bentazon
11	Bromacil
12	Bromophos-ethyl
13	Bromoxynil
14	Carbofuran
15	Carfentrazone (Carfentrazone-ethyl)
16	Chlordan-cis
17	Chlordan-trans
18	Chlorfenvinphos
19	Chloridazon (Pyrazon)
20	Chlorpyrifos-Ethyl (= Chlorpyrifos)
21	Chlorpyrifos-Methyl
22	Chlortoluron
23	Clodinafop(propargyl)
24	Clomazone
25	Clopyralid
26	Demeton-S-methyl
27	Desethylatrazin
28	Desethylterbutylazin
29	Desisopropylatrazin
30	Desphenylchloridazon „Metabolit B“
31	Diazinon
32	Dicamba
33	Dichlobenil
34	Dichlorprop (2,4 DP)
35	Dichlorvos
36	Diflufenican
37	Dimethachlor
38	Dimethenamid-P
39	Dimethoat
40	Dinoseb
41	Disulfoton
42	Diuron
43	Epoxiconazol
44	Ethidimuron
45	Etrifos
46	Fenoxaprop-ethyl (Fenoxaprop-P)(Ethylester)
47	Fenpropidin
48	Fenpropimorph
49	Fenthion
50	Fenuron
51	Flufenacet

Leitfaden für die Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper nach EG-WRRL

52	Flumioxazin
53	Fluroxypyr
54	Flurtamone
55	Foramsulfuron
56	Glyphosat
57	HCH-beta
58	HCH-delta
59	Hexachlorbutadien
60	Hexazinon
61	Ioxynil
62	Isodrin
63	Isoproturon
64	Isoxaflutole
65	MCPA
66	Mecoprop-P
67	Mefenpyr-Diethyl
68	Mesosulfuron
69	Mesotrione
70	Metamidophos
71	Metamitron
72	Metazachlor
73	Metazachlorsäure BH 479-4
74	Metazachlorsulfonsäure BH 479-8
75	Methabenzthiazuron
76	Methyl-Desphenylchloridazon „Meta-bolit B1“
77	Metobromuron
78	Metoxuron
79	Metribuzin
80	Metsulfuron
81	Mevinphos
82	N,N-Dimethylsulfamid (DMS)
83	Napropamid
84	Nicosulfuron
85	Oxadixyl
86	Pendimethalin
87	Pentachlorphenol
88	Pethoxamid
89	Picolinafen
90	Pirimicarb
91	Prometryn
92	Propanil
93	Propazin
94	Propyzamid
95	Prothioconazol
96	Pyraclostrobin
97	Quinmerac
98	Quinoxyfen
99	Rimsulfuron
100	Sebuthylazin
101	Simazin
102	S-Metolachlor
103	S-Metolachlorsäure CGA 51202 /CGA 351916
104	S-Metolachlorsulfonsäure CGA 380168/CGA 354743
105	Spiroxamine
106	Sulcotrion
107	Tebuconazol
108	Terbutylazin

Leitfaden für die Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper nach EG-WRRL

109	Tolyfluanid
110	Topramezone
111	Tribenuron
112	Trichlorfon
113	Triclopyr
114	Trifluralin
115	Vinclozolin
116	Chlorthalonil
117	Chlorthalonil-Sulfonsäure R 417888
118	Dimethachlor-Metabolit CGA 369873
119	Dimethachlorsäure CGA 50266
120	Dimethachlor-Sulfonsäure CGA 354742
121	Dimethenamidsulfonsäure M27
122	Flufenacetsulfonsäure M2
123	Metalaxyl-M
124	Metalaxylsäure CGA 62826 / NOA 409045
125	Metalaxylsäure-1-carbonsäure CGA 108906
126	Metazachlorsäure-1-carbonsäure BH 479-12
127	S-Metolachlor-Metabolit CGA 357704
128	S-Metolachlor-Metabolit CGA 368208
129	S-Metolachlor-Metabolit NOA 413173

Anlage 3

Trendanalyse

Ermittlung signifikanter und anhaltend steigender Schadstofftrends nach § 10 und Anlage 6 der Grundwasserverordnung

November 2010

Ermittlung signifikanter und anhaltender steigender Trends sowie Festlegung von Ausgangspunkten für die Trendumkehr

Nach § 10 und Anlage 6 der Grundwasserverordnung (GrwV) sind Trendbetrachtungen durchzuführen. Die Vorgaben der GrwV werden mit der nachfolgend beschriebenen Vorgehensweise umgesetzt.

Beschreibung der Vorgehensweise

Umfang der Trendbetrachtung

Eine Trendbetrachtung wird in allen als „gefährdet“ eingestuften Grundwasserkörpern an jeder gemeldeten Messstelle und nur für die Parameter durchgeführt, die zur Einstufung des Grundwasserkörpers in „gefährdet“ geführt haben.

Darüber hinaus wird empfohlen, eine Trendbetrachtung bei allen Messstellen, bei denen der jeweils verfügbare aktuellste jährliche arithmetische Mittelwert 75 % eines Schwellenwertes überschreitet, auch in den als nicht gefährdet eingestuften Grundwasserkörpern vorzunehmen.

Zeiträume der Trendbetrachtung

Für den ersten Bewirtschaftungszeitraum erfolgt eine Trendbetrachtung bis 2007 bzw. 2008. Dafür werden die Messwerte (soweit vorhanden) ab dem Jahr 2000 (Inkrafttreten der WRRL) herangezogen. Der zweite Bewirtschaftungszeitraum erfasst die Jahre 2008 bis 2013. Bei Bedarf, zum Beispiel zur Plausibilisierung, können auch frühere Daten hinzugezogen werden.

Die Trendbetrachtung erfolgt jeweils über einen 6-Jahres-Zeitraum, was nach WRRL dem Zeitintervall eines Bewirtschaftungsplans entspricht. Entscheidend für die Bewertung ist das jeweils aktuelle 6-Jahres-Intervall.

Ermittlung eines statistisch signifikanten Trends

Nach GrwV (Anlage 6, Nr. 1.1.1) kann die Trendanalyse mit Hilfe einer Regressionsanalyse nach dem Gauß'schen Prinzip durchgeführt werden. Im Sinne der GrwV wird dabei der Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen (Stoffkonzentration an einer GW-Messstelle zum Zeitpunkt t) und einer unabhängigen Variablen (Zeitindex, z. B. Jahr) untersucht.

Bei der Trendanalyse nach GrwV wird eine im Rahmen des Monitoring erfasste Stichprobe untersucht, die als Teil einer unbekanntes Grundgesamtheit anzusehen ist.

Die lineare Regressionsanalyse unterstellt, dass zwischen Regressand und Regressor eine lineare Beziehung steht. Linearität bedeutet, dass sich Regressand und Regressor nur in konstanten Relationen verändern:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{const}$$

Die Schätzung der Regressionsfunktion erfolgt in mehreren Schritten:

Formulierung des Modells

Die Fragestellung im Sinne der GrwV lautet „Schätzung der Entwicklung (Änderung) der Stoffkonzentration (gemessen an einer GW-Mst.) in Abhängigkeit von der Zeit“. Dabei wird unterstellt, dass die Beziehung zwischen der Stoffkonzentration (abhängige Variable, y) und der Zeit (unabhängige Variable, x) linear ist.

Die Regressionsfunktion lautet damit

$$y = a_0 + a_1 \cdot x$$

mit

y = Regressand (abhängige Variable, Stoffkonzentration)

a₀ = Konstante

a₁ = Regressionskoeffizient

x = Regressor (unabhängige Variable, Zeit)

Prüfung auf Linearität

Wenn der Punkteschwarm bei Eintrag in ein Koordinatensystem die Linearität oder Nichtlinearität deutlich zum Ausdruck bringt, kann auf einen Linearitätstest verzichtet werden. Bei Beschränkung auf ein Überwachungsintervall von 6 Jahren ist der Zusammenhang in der Regel mit einer linearen Regressionsfunktion zu beschreiben.

Schätzung der Regressionsfunktion

Gesucht ist die genaue Lage der linearen Funktion im Koordinatensystem (x, y), die als Regressionsgerade bezeichnet wird. Die Lage dieser Geraden wird durch 2 Parameter bestimmt:

- durch das konstante Glied a₀

- den Regressionskoeffizienten a₁

Rechnerisch geht es darum, durch Schätzung der Parameter a₀ und a₁ einen Verlauf der gesuchten Geraden zu finden, der sich der empirischen Punkteverteilung möglichst gut anpasst.

Die Schätzung der Parameter erfolgt nach der „Methode der kleinsten Quadrate“. Die statistischen Einzelheiten sind im Anhang beschrieben.

Ausreißertest

Über einen Ausreißertest (siehe Anhang; Kap.4.) wird sichergestellt, dass die Regressionsgerade nicht durch „Extremwerte“ verfälscht wird. Die mit einer statistischen Methode ermittelten Ausreißer sind einer fachlichen Prüfung zu unterziehen.

Prüfung der Regressionsfunktion

Nach Schätzung der Regressionsfunktion erfolgt im nächsten Schritt mit Hilfe statistischer Testverfahren die Prüfung der „Qualität“ der Regressionsgleichung. Dies erfolgt über die Prüfung des Regressionskoeffizienten:

Bei dieser Prüfung wird mit einem t-Test die Nullhypothese getestet, dass der Regressionskoeffizient der Grundgesamtheit Null ist (d. h. die Steigung der Regressionsgeraden Null ist). Trifft diese Nullhypothese zu, ist kein Trend festzustellen.

Weitere Rahmenbedingungen

Die Trendanalyse erfolgt in der Regel unter Anwendung der im Anhang beschriebenen Methodik.

Eine Trendanalyse kann nur durchgeführt werden, wenn in einem Überwachungszeitraum (6 Jahre) für mindestens 2/3 der Jahre Überwachungsergebnisse vorliegen.

Bei mehr als 4 bis 10 Messwerten kann alternativ der Mann-Kendall-Test nach der im Länderbeispiel Sachsen (siehe Anhang) beschriebenen Methodik durchgeführt werden. Mit dem Mann-Kendall-Test kann lediglich der Trend (fallend, steigend) jedoch nicht die Steigung eines Trends bestimmt werden.

Bei weniger als 4 Messwerten kann keine Trendanalyse durchgeführt werden.

Bei saisonal beeinflussten Parametern (Nitrat) ist auf vergleichbare Probenahme-Zeitpunkte zu achten, um z. B. jahreszeitlich bedingte Schwankungen der Messwerte zu minimieren.

Bei der Trendbetrachtung ist an den Einzelmessstellen immer mit den Einzelwerten zu rechnen. So sollten z.B. bei mehr als einem Messwert pro Jahr vor der Trendbetrachtung keine Jahresmittelwerte gebildet werden.

Messwerte < Bestimmungsgrenze werden mit dem Wert der halben Bestimmungsgrenze (1/2 Bestimmungsgrenze) bei der Trendanalyse berücksichtigt.

Messwerte < Nachweisgrenze werden auf den Wert 0 (Null) gesetzt.

Vor dem Test auf signifikantes Trendverhalten erfolgt ein Ausreißertest nach der im Anhang unter Kap.4 beschriebenen Methodik.

Trendermittlung für den gesamten Grundwasserkörper

Trendbewertung / Erfordernis einer Maßnahme zur Trendumkehr

Gemäß § 10, Absatz 2 der GrwV ist bei einem Trend, „der zu einer signifikanten Gefahr für die Qualität der Gewässer- und Landökosysteme, für die menschliche Gesundheit oder die potentiellen oder tatsächlichen legitimen Nutzungen der Gewässer führen kann“, eine Trendumkehr durch Maßnahmen zu bewirken.

Die Ermittlung der nicht nur statistischen, sondern auch ökologisch bedeutsamen Zunahme der Konzentration eines Schadstoffes (§ 6, Absatz. 1 der GrwV) erfolgt in Anlehnung an die Vorgehensweise zur Beurteilung des chemischen Zustandes (gemäß Abstimmung im LAWA-Ausschuss Grundwasser).

Für die Ermittlung signifikanter und anhaltend steigender Trends die eine signifikante Gefahr für die Qualität der Gewässer- und Landökosysteme oder für potentielle oder tatsächliche legitime Nutzungen der Gewässer darstellen, wird bei diffusen Belastungen das folgende Verfahren angewandt:

- a) Die Zuordnung der Flächen zu den Messstellen und die Abschätzung der Ausdehnung der Fläche
 - mit signifikant ansteigendem Trend und
 - mit einer Überschreitung von 75 % der des Schwellenwertes wird analog zur Beurteilung des chemischen Zustands (siehe Leitfaden, Abschn. 4.2) geregelt. Wenn diese Kriterien erfüllt sind, erfolgt die Prüfung nach b).
- b) Unabhängig von der absoluten Größe des Grundwasserkörpers, sind in einem Grundwasserkörper nur dann Maßnahmen zur Trendumkehr zu bewirken, wenn die nach a) identifizierte Ausdehnung der Fläche mehr als 25 km² des Körpers überschreitet. Diese Mindestgröße ist auch für die Beurteilung der Belastung durch Sonderkulturen relevant.
- c) In Grundwasserkörpern, die kleiner als 75 km² sind, sind nur dann Maßnahmen zur Trendumkehr zu bewirken, wenn die nach a) identifizierte Ausdehnung der Fläche mehr als 1/3 ihrer Fläche überschreitet.

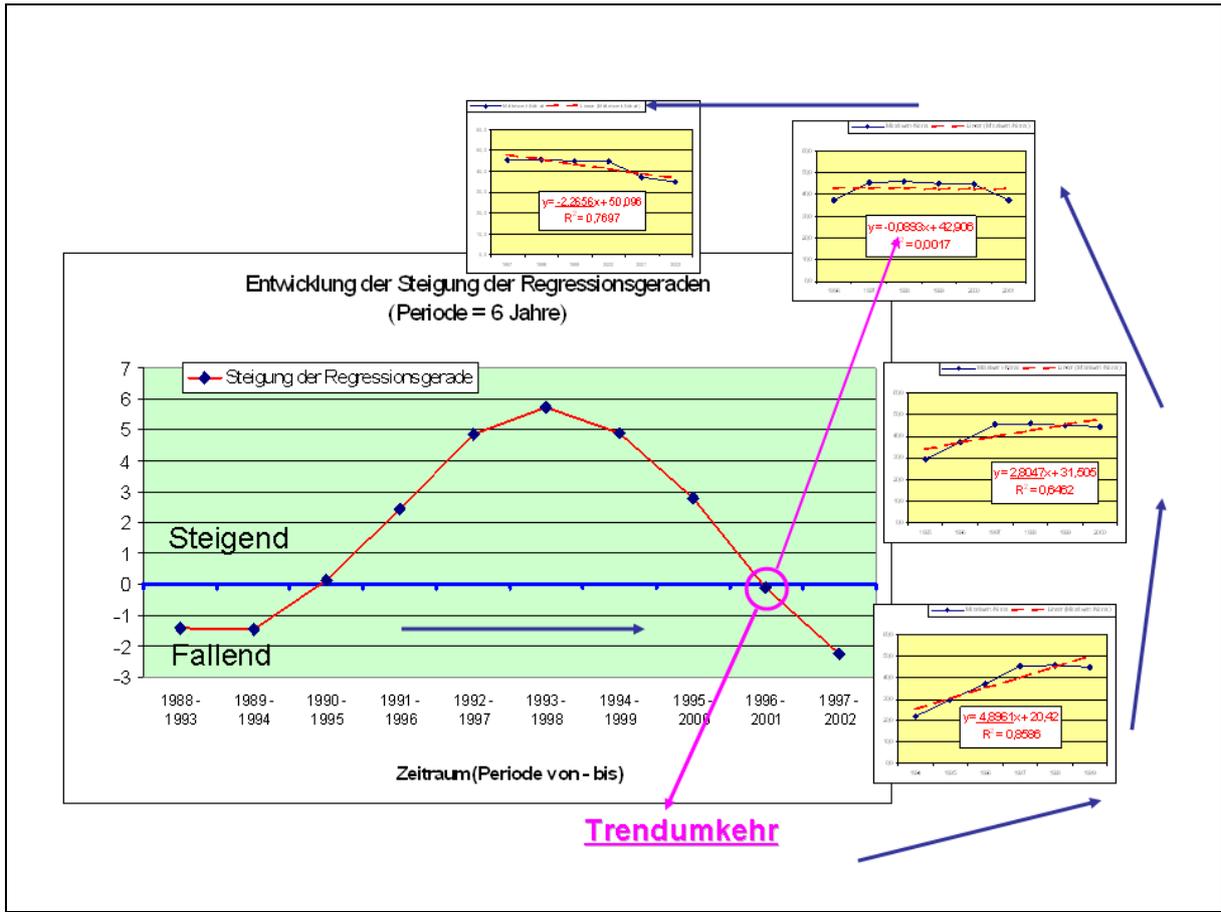
Ermittlung der Trendumkehr

Die Ermittlung der Trendumkehr erfolgt über die Bildung von gleitenden 6-Jahres-Intervallen über mindestens drei 6-Jahres-Intervalle, d.h. vom 1. – 6. Jahr, dann vom 2. – 7. Jahr und vom 3. – 8. Jahr.

Für jedes Intervall wird über eine lineare Regression die Steigung entsprechend Pkt.

2.3 bestimmt und als Zeitreihe im Koordinatensystem aufgetragen. Verlaufen die Steigungen im negativen Bereich, liegt ein fallender Trend vor, im positiven Bereich liegt ein steigender Trend vor. Ein Nulldurchgang, d.h. ein Übergang von einem steigenden in einen fallenden Trend (und umgekehrt) bedeutet eine Trendumkehr (vgl. Abb. 1).

Alternativ ist die Ermittlung der Trendumkehr nach der im Länderbeispiel NRW beschriebenen Methodik möglich.



Ermittlung der Trendumkehr

Ausgangspunkt der Trendumkehr

Ausgangspunkt für die Berechnung einer Trendumkehr entsprechend Anlage 6, Nr. 2 der GrwV ist eine Konzentration von > 75% des Schwellenwertes.

ANHANG

Statistisches Verfahren (nach LAWA-UA und Leitfaden NRW)

1. Einleitung

Trends und Trendumkehr für chemische Parameter sind im Grundwassermonitoring nach WRRL nachzuweisen. Ein derart geforderter Nachweis kann nicht durch eine bloße verbale Beschreibung nach optischer Inaugenscheinnahme einer Zeitreihe erfolgen. Werkzeuge der beurteilenden Statistik bieten die Möglichkeit und die Gewähr, Trends nach „objektiven“ Kriterien zu beschreiben.

2. Ausgangssituation

Als Betrachtungszeitraum ist ein Zeitfenster von sechs Jahren gewählt, was nach der WRRL grundsätzlich einem Bewirtschaftungszeitraum entspricht. Darüber hinaus wird gemäß den Vorgaben davon ausgegangen, dass pro Jahr jeweils nur ein Untersuchungsergebnis für einen Parameter an der Grundwassermessstelle vorliegt. Grundsätzlich ist das Verfahren aber auch an längeren Zeitreihen mit einem ausgedehnteren Zeitfenster und/oder mit einer größeren Anzahl von Messwerten anwendbar.

3. Berechnung der Regressionsgeraden

Als Grundlage für die Bewertung, ob für einen Parameter eine signifikante zeitliche Konzentrationsentwicklung, also ein möglicher Trend, überhaupt gegeben ist, wird für die n -Wertepaare ($n=6$) die Ausgleichsgerade $y = a_0 + a_1 \cdot x$ beschrieben. Damit wird konstatiert, dass in erster Näherung für diese Stichprobe die zeitliche Entwicklung einer Konzentration als lineare Änderung für diesen Zeitabschnitt vereinfacht dargestellt werden kann. Die Wahl der linearen Regression ist lediglich eine Konvention.

Der Verlauf der Ausgleichsgeraden ist definitionsgemäß eindeutig, da die Summe der Quadrate aller Abstände der Messwerte von der Geraden ein Minimum erreichen muss. Die Konstanten a_0 und a_1 der Geradengleichung für den konkreten Datensatz ergeben sich aus:

$$a_1 = s_{xy} / s_x^2 \quad \text{mit} \quad s_{xy} = [\sum x_i * y_i - (\sum x_i) * (\sum y_i) / n] / (n-1) \quad \text{und}$$
$$s_x^2 = [\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n] / (n-1)$$

sowie

$$a_0 = - (a_1 * x_{MW} - y_{MW}) = y_{MW} - a_1 * x_{MW}$$
$$\text{mit} \quad x_{MW} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n \quad \text{und}$$
$$y_{MW} = (y_1 + y_2 + \dots + y_n) / n$$

Der Regressionskoeffizient a_1 gibt zunächst nur die Steigung der Ausgleichsgeraden für diese Stichprobe an. Ob dieses Steigungsmaß gleichzeitig auch der Anzeiger für einen signifikanten Trend der Grundgesamtheit ist, muss durch einen gesonderten Test geprüft werden. Wird auf diesen Test verzichtet, so beschreibt einzig das Vorzeichen von a_1 einen ansteigenden ($a_1 > 0$) oder einen abnehmenden ($a_1 < 0$) Trend, allerdings auch ohne einen Hinweis auf die zu erwartende statistische Sicherheit (Signifikanz).

Der Fall, dass aus der Berechnung der Ausgleichsgeraden bereits $a_1 = 0$ resultiert, bedarf keiner weiteren Betrachtung, weil er in der Praxis nur in extremen Ausnahmefällen vorkommen wird und sich darüber hinaus für einen solch speziellen Fall eine weitergehende Trendbetrachtung ohnehin erübrigt.

4. Ausreißertest

Vor der Anwendung des Tests auf signifikantes Trendverhalten ist noch sicherzustellen, dass ein „exotischer Messwert“ nicht die ermittelte Regressionsgerade verfälscht. Dazu wird das Verfahren in diesem Stadium um einen Ausreißertest ergänzt. Dabei definiert dieser Test eventuelle Extremwerte nur im statistischen Sinn als Ausreißer. Eine Aussage über die Ursache der Anomalie (z.B.: nicht optimale Probenahme, fehlerhafte Analytik, unkorrekte Dateneingabe durch Zahlendreher, falsche Dimensionsangabe, sehr kurzfristiger Konzentrationsanstieg mit anschließendem ebenso raschem Abklingen dieser Konzentration, oder andere erklärbare, bzw. nicht nachvollziehbare Gründe) kann nur über eine fachliche Beurteilung erfolgen. Der die Trendanalyse ergänzende Ausreißertest bietet somit auch die Möglichkeit, einen oder mehrere fehlerhafte Werte im Datenkollektiv zu korrigieren, sofern der Fehler nachvollziehbar und korrigierbar ist.

Das Verfahren der Ausreißerelimination ist beschrieben bei:

KAISER, R. & GOTTSCHALK, G. (1972): Elementare Tests zur Beurteilung von Messdaten. Soforthilfe für statistische Tests mit wenigen Messdaten. Kapitel 3: Ausreißertest nach NALIMOV, Seite 18 ff., Bibliographisches Institut, Wissenschaftsverlag, Bd 774.

Der Ausreißertest erfolgt an den trendunabhängigen Werten der y_{Residuen} , von denen der Mittelwert, der gegen Null tendiert, und die Standardabweichung berechnet werden. Der Residualwert mit dem höchsten Betrag, d.h. der „Messwert“ mit der größten Entfernung zur Ausgleichsgeraden, ist der vorläufig ausreißerverdächtige Wert. Bestätigt sich der Verdacht, so erfolgt eine Neuberechnung der Regressionsgeraden ohne Einbeziehung dieses Wertepaares, also mit $n = n - 1$. Ist auch im zweiten Durchlauf noch ein Ausreißer vorhanden, so wird die Schleife mit $n = n - 2$ erneut durchlaufen und so häufig wiederholt, bis sich kein weiterer Ausreißer im Datensatz befindet.

Diese sukzessive Ausreißerelimination macht ein Abschneidekriterium bezüglich einer Mindestanzahl von ausreißerfreien Wertepaaren, bzw. einer Mindestanzahl von beprobten Jahren unbedingt erforderlich. Wird dieses Abschneidekriterium erreicht, so sollte auf eine Trendberechnung für diesen Parameter an der GWM verzichtet werden. Für einen Sechsjahreszeitraum ist eine Trendberechnung mit mindestens vier Jahren, für die auch Messwerte vorliegen, gerade noch vertretbar.

Der Nachweis eines Ausreißers ergibt sich wie folgt:

Man berechne $r^* = [(| \check{a}_R - \hat{y}_R |) / s_R] * \sqrt{ (n / (n-1))}$

mit \hat{y}_R = Mittelwert der Residualwerte = $1.82 * 10^{-12} \approx 0$
 s_R = Standardabweichung der Residualwerte = 28.239
 n = Anzahl der Wertepaare = 6
 \check{a}_R = ausreißerverdächtiger Residualwert = 53.2

$$r^* = [| 53.2 - 1.82 * 10^{-12} | / 28.239] * \sqrt{ (6 / 5) } = 2.063$$

Man entscheidet, indem man r^* mit einem theoretischen Wert r_i vergleicht. Der theoretische Wert r_i ist aus der Tabelle in Anhang 1 in Abhängigkeit von der Anzahl der Wertepaare n , der sich daraus ergebenden Freiheitsgrade $f = n - 2$ und der gewünschten statistischen Sicherheit P (Angaben für 95 %, 99 % und 99.9 %) zu ermitteln.

1. bei: $r^* < r(95) < r(99) < r(99.9)$ liegt definitionsgemäß kein Ausreißer vor
2. wenn $r(95) < r^* < r(99) < r(99.9)$, dann ist \check{a}_R wahrscheinlich ein Ausreißer
3. oder $r(95) < r(99) < r^* < r(99.9)$, dann ist \check{a}_R signifikant ein Ausreißer
4. oder $r(95) < r(99) < r(99.9) < r^*$, dann ist \check{a}_R hochsignifikant ein Ausreißer

Es kann nur entweder ein ausreißerfreier Datensatz vorliegen oder einer der Fälle 2 bis 4 zutreffen. Für den Ausreißertest ist das Kriterium des signifikanten Ausreißers (Fall 3) heranzuziehen. Das Entscheidungsmerkmal des wahrscheinlichen Ausreißers führt zu einer vor-

schnellen Ausreißerelimination. Das Kriterium der Hochsignifikanz ist dagegen ein zu scharfes Ausschlussmerkmal.

5. Trendberechnung

Nachdem die Datenvorbereitung, d.h. die Berechnung der Ausgleichsgeraden, die Verifizierung eines ausreißerfreien Datensatzes und die sich daraus eventuell ergebende Neuangleichung der Ausgleichsgeraden abgeschlossen ist, erfolgt die eigentliche Trendberechnung

Im folgenden Schritt wird unter der gewählten Signifikanzzahl festgestellt, ob das errechnete Steigungsmaß (a_1) der Stichprobe als signifikanter Trend für die Grundgesamtheit angesehen werden kann. Dabei wird angenommen, dass eine Grundgesamtheit für diesen Parameter an dieser GWM existiert, deren Konzentrationsentwicklung sich für den gewählten Zeitraum in vereinfachter Form als lineare Veränderung beschreiben lässt. Diese lineare Konzentrationsveränderung der Grundgesamtheit wird durch $Y = \mu + \beta * X$, mit der Zeitachse X und dem Steigungsmaß β beschrieben.

Da diese Grundgesamtheit nicht bekannt ist, kann demzufolge auch keine Aussage über irgendeinen Wert $\beta \neq 0$ als „Sollwert“ für das Steigungsmaß erfolgen. Der praktisch bedeutsame Fall für die Trendberechnung ist das Aufstellen einer Hypothese $\beta = 0$.

Trifft diese Hypothese zu, so bedeutet dies, dass die Stichprobe mit dem Steigungsmaß a_1 die Annahme eines Trends für die Grundgesamtheit nicht rechtfertigt. Die Regressionsgerade der Grundgesamtheit verläuft wegen $\beta = 0$ waagrecht. Die Y -Werte hängen damit gar nicht von den X -Werten ab. Sie sind unter der gewählten statistischen Signifikanz zufallsbedingt, also über die Dauer dieser sechs Jahre (streng genommen nur vom Zeitpunkt der ersten bis zum Zeitpunkt der letzten „Messung“) zeitunabhängig. Als einzig verbleibender Anhaltspunkt verläuft die damit „waagerechte Ausgleichsgerade“ der Grundgesamtheit durch den Mittelwert der y -Werte der Stichprobe.

Trifft dagegen die Alternative zu, dann kann für die gewählte Signifikanzzahl (= Eintrittswahrscheinlichkeit) aus dem Steigungsmaß a_1 der Stichprobe auch ein vorliegender Trend für die Grundgesamtheit gefolgert werden.

Die Vorgehensweise ist in den folgenden Arbeitsschritten skizziert:

Allgemein: Test der Hypothese $\beta = \beta_0$ gegen die Alternative $\beta > \beta_0$ (hier mit $\beta_0 = 0$)

Spezialfall: Hypothese $\beta = 0$ (y ist nicht abhängig von x)
Alternative $\beta \neq 0$ (abnehmender oder ansteigender Trend ist signifikant)

1. Schritt: Man wähle die Signifikanzzahl α^* (5 %, 1 % oder dgl.).
Es wird $\alpha^* = 5$ % empfohlen Die Festlegung ist eine Grundsatzentscheidung, die zu Beginn einmal getroffen werden muss und danach immer beibehalten wird.
2. Schritt: Man bestimme eine Zahl c aus der Students t -Verteilung in Anlage 2 mit $n-2$ Freiheitsgeraden. Für das Beispiel mit $n = 6$ Wertepaaren ergibt sich für eine 95 %ige Wahrscheinlichkeit und für 4 Freiheitsgrade ein Wert von $c = 2.13$.
3. Schritt: Aus der Stichprobe $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ berechne man

$$\begin{aligned} s_x^2 & \quad (\text{Formel siehe Abschnitt 3}) \\ s_y^2 & \quad (\text{entsprechend wie } s_x^2) \\ a_1 & \quad (\text{Formel siehe Abschnitt 3) und} \end{aligned}$$

$$A = (n-1) * (s_y^2 - a_1^2 * s_x^2)$$

4. Schritt: Man berechne

$$t_0 = s_x * [\sqrt{(n-1)(n-2)}] * (|a_1 - \beta_0| / \sqrt{A})$$

Man vergleiche den sich aus den aktuellen Wertepaaren ergebenden Wert t_0 mit dem theoretisch-statistischen Wert c . Ist $t_0 \leq c$, so wird die Hypothese angenommen. Ist dagegen $t_0 > c$, so wird sie verworfen und die Alternative als zutreffend angesehen.

(Vorgehensweise wie in KREYSZIG (1991), Kap. 17, Seite 276 beschrieben).

Zwar ist der Wert t_0 direkt proportional sowohl dem absoluten Steigungsmaß, als auch der Anzahl der Stichprobenwerte, dagegen aber umgekehrt proportional der Summe der Abstandsquadrate (= Streuung der Einzelwerte um die Regressionsgerade). Letzteres wird durch den Term A in die Berechnung von t_0 mit berücksichtigt. Aus dem numerischen Wert von a_1 allein ist ein signifikantes Trendverhalten ebenso wenig abzuleiten wie die Erhöhung der Anzahl der Stichprobenwerte auch nicht unbedingt zwangsläufig zu einem signifikant vorliegenden Trend führen muss.

Eine Zusammenfassung der Vorgehensweise für die Trendberechnung einschließlich der Ausreißerbereinigung bietet das Fließdiagramm (Anlage).

Anlage 1:

r – Tabelle (Ausreißertest nach NALIMOV, Zahlen von G. GOTTSCHALK) aus: KAISER & GOTTSCHALK (1972), Seite 49

Die grau unterlegte Spalte enthält die für die beschriebene Vorgehensweise Vergleichswerte.

Statistische Sicherheit P in %:

f	(95 %)	(99 %)	(99.9 %)
1	1,409	1,414	1,414
2	1,645	1,715	1,730
3	1,757	1,918	1,982
4	1,814	2,051	2,178
5	1,848	2,142	2,329
6	1,870	2,208	2,447
7	1,885	2,256	2,540
8	1,895	2,294	2,616
9	1,903	2,324	2,678
10	1,910	2,348	2,730
11	1,916	2,368	2,774
12	1,920	2,385	2,812
13	1,923	2,399	2,845
14	1,926	2,412	2,874
15	1,928	2,423	2,899
16	1,931	2,432	2,921
17	1,933	2,440	2,941
18	1,935	2,447	2,959
19	1,936	2,454	2,975
20	1,937	2,460	2,990
25	1,942	2,483	3,047
30	1,945	2,498	3,085
35	1,948	2,509	3,113
40	1,949	2,518	3,134
45	1,950	2,524	3,152
50	1,951	2,529	3,166
100	1,956	2,553	3,227
200	1,958	2,564	3,265
300	1,958	2,566	3,271
400	1,959	2,568	3,275
500	1,959	2,570	3,279
600	1,959	2,571	3,281
700	1,959	2,572	3,283
800	1,959	2,573	3,285
∞	1,960	2,576	3,291

Anlage 2:

Students t-Verteilung aus: KREYSZIG (1991), Seite 435

Die grau unterlegte Spalte enthält die für die beschriebene Vorgehensweise zu Grunde gelegten Vergleichswerte.

Anzahl der Freiheitsgrade	F (z)		
	0.90	0.95	0.975
1	3,08	6,31	12,70
2	1,89	2,92	4,30
3	1,64	2,35	3,18
4	1,53	2,13	2,78
5	1,48	2,02	2,57
6	1,44	1,94	2,45
7	1,42	1,90	2,37
8	1,40	1,86	2,31
9	1,38	1,83	2,26
10	1,37	1,81	2,23
11	1,36	1,80	2,20
12	1,36	1,78	2,18
13	1,35	1,77	2,16
14	1,35	1,76	2,15
15	1,34	1,75	2,13
16	1,34	1,75	2,12
17	1,33	1,74	2,11
18	1,33	1,73	2,10
19	1,33	1,73	2,09
20	1,33	1,73	2,09
22	1,32	1,72	2,07
24	1,32	1,71	2,06
26	1,32	1,71	2,06
28	1,31	1,70	2,05
30	1,31	1,70	2,04
40	1,30	1,68	2,02
50	1,30	1,68	2,01
100	1,29	1,66	1,98
200	1,29	1,65	1,97
∞	1,28	1,65	1,96

FLIEßDIAGRAMM ZUR TRENDBERECHNUNG

