



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 2009

Bearbeitet:
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

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen Niedersachsen/Bremen	5
1.1	Hydrogeologische Unterteilung der Grundwasserkörper.....	5
1.2	Behandlung der Messergebnisse	5
1.3	Ermittlung geogener Hintergrundwerte.....	5
1.4	Abschätzung der Nitrat-Emission	6
2	Qualitätsnormen und Schwellenwerte	6
2.1	Qualitätsnormen.....	6
2.2	Schwellenwerte.....	6
3	Beurteilung anhand der Qualitätsnormen und Schwellenwerte	7
3.1	Bezug zur Grundwasser-Tochtrichtlinie	7
3.2	Beurteilung der signifikanten Gefährdung der Umwelt (nach Artikel 4, 2ci der GWTR).....	10
3.2.1	Zuordnung der Messstellen zu den Typflächen innerhalb der Grundwasserkörper	12
3.2.2	Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch den Parameter Nitrat	12
3.2.3	Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch Schwellenwertparameter	14
3.2.4	Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch Pflanzenschutzmittel.....	15
3.2.5	Beurteilung der Ausdehnung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt im Grundwasserkörper	16
3.3.	Beurteilung nach Anhang V der EG-Wasserrahmenrichtlinie (Artikel 4, 2 ciii GWTR)	18
3.4.	Beurteilung der Grundwasserbelastung im Hinblick auf den Trinkwasserschutz (Artikel 4, 2 ciii GWTR)	19
3.5.	Beurteilung der Grundwasserbelastung im Hinblick auf die Nutzung durch den Menschen (Artikel 4, 2 civ GWTR).....	19
4	Trendanalyse und Trendumkehr.....	19
	Literaturverzeichnis	21

Anlagen:

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

Einleitung

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 herangezogen wurden, sind 2006 von den jeweiligen Betriebsstellen des NLWKN ausgewählt 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“.

Die ausgewählten 1062 Messstellen bilden das Messnetz zur überblicksweisen Überwachung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper und der Schadstofftrends nach WRRL.

Das zugehörige Messkonzept für die Grundwasserkörper ist dem „Monitoringkonzept Grundwasser Niedersachsen/Bremen“ zu entnehmen, welches Anfang 2007 veröffentlicht wurde.

Der vorliegende Leitfaden wurde im Vorfeld der chemischen Bewertung der Grundwasserkörper im Rahmen des ersten Bewirtschaftungsplans 2008/2009 von der AG Güte erarbeitet, um ein einheitliches Bewertungsverfahren in Niedersachsen/Bremen sicherzustellen.

1 Grundlagen Niedersachsen/Bremen

1.1 Hydrogeologische Unterteilung der Grundwasserkörper

In Niedersachsen wurden im Rahmen der Bestandsaufnahme 120 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 einigen Grundwasserkörpern in denen die Abgrenzung der Typflächen noch nicht vorgenommen werden konnte, wurden als deren Ersatz die hydrogeologischen Teilräume, die innerhalb eines Grundwasserkörpers vorkommen, analog zu den Typflächen verwendet.

1.2 Behandlung der Messergebnisse

Als Grundlage der Bewertung werden die Messergebnisse des Überblickmessnetzes 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.

1.3 Ermittlung geogener Hintergrundwerte

Die Ermittlung geogener Hintergrundwerte erfolgt auf der Basis der Zuordnung der einzelnen Messstellen zu den hydrogeologischen Teilräumen und ggf. zur Hydrostratigraphie Niedersachsens. Gemäß den Vorgaben der Grundwasser-Tochterraichtlinie werden geogene Hintergrundwerte für die Parameter Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Chlorid, Sulfat, und Ammonium ermittelt. Befinden sich nach der Zuordnung (teilraumbezogen, ggf. hydrostratigraphische 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. Hierbei werden unter Verwendung von Wahrscheinlichkeitsnetzen (Walter, 2005) über eine iterative Anpassung die Normalpopulation eines gemischten Datenkollektivs ermittelt. Die dieser Anwendung zugrunde liegende Annahme ist, dass die Normalpopulation repräsentativ für den gesamten Datensatz ist. Ist diese Annahme erfüllt, können statistische Parameter zur Abgrenzung gegenüber z.B. anthropogen bedingten Anomalien abgeleitet werden.

Zur Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sollten folgende Bedingungen eingehalten werden:

- 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.

1.4 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 (vgl. Messkonzept 2007).

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).

2 Qualitätsnormen und Schwellenwerte

Die Grundwasser-Tochterraichtlinie (GWTR) enthält Vorgaben hinsichtlich der Parameter, für die zur Bewertung des chemischen Zustands Qualitätsnormen (QN) bzw. Schwellenwerte (SW) festzulegen sind.

2.1 Qualitätsnormen

Nach Anhang I der Grundwasser-Tochterraichtlinie sind die folgenden Werte als Qualitätsnorm zur Einstufung des chemischen Zustands vorgegeben:

- Nitrat: 50 mg/l
- Pflanzenschutzmittel und Biozide: 0,1 µg/l.

In der Grundwasser-Tochterraichtlinie wird zusätzlich ein Grenzwert von 0,5 µg/l für den Summenparameter Pflanzenschutzmittel angegeben. Die in Niedersachsen zu untersuchenden Wirkstoffe sind der Anlage 2 zu entnehmen.

2.2 Schwellenwerte

Nach den Vorgaben der Grundwasser-Tochterraichtlinie mussten von den Mitgliedstaaten bis zum 22.12.2008 Schwellenwerte für folgende Parameter festgelegt werden. (Anh. II, Teil B der Tochterrichtlinie):

Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Ammonium, Chlorid, Sulfat, Trichlorethylen, Tetrachlorethylen, Leitfähigkeit (alternativ zu Sulfat und Chlorid).

Im LAWA-Ausschuss Grundwasser (LAWA-AG) wurde Einigkeit darüber erzielt, bundesweit einheitlich die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA als Schwellenwerte zu verwenden (Protokoll LAWA-53. Sitzung 2007).

Bereits im ersten Bewirtschaftungsplan 2008/2009 ist auf Basis der folgenden Schwellenwerte eine Bewertung des chemischen Zustands des Grundwassers erfolgt:

Parameter	Schwellenwert
Arsen	10 µg/l
Cadmium	0,5 µg/l
Blei	7 µg/l
Quecksilber	0,2 µg/l
Nickel	14 µg/l
Chlorid	250 mg/l
Sulfat	240 mg/l
Summe Trichlorethylen und Tetrachlorethylen	10 µg/l 1)
Ammonium	0,5 mg/l

¹⁾ Bewertung analog TrinkwV

Die TrinkwV (2001) beschränkt den Analysenumfang der leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe auf die Stoffe Tri und 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.

3 Beurteilung anhand der Qualitätsnormen und Schwellenwerte

3.1 Bezug zur Grundwasser-Tochterraichtlinie

Bei der Bewertung anhand der Qualitätsnorm/des Schwellenwertes nach der Grundwasser-Tochterraichtlinie werden grundsätzlich zwei Fälle unterschieden:

- **Die Qualitätsnorm (QN)/der Schwellenwert (SW) wird an keiner Messstelle des Überblicksmessnetzes in einem Grundwasserkörper (GWK) überschritten:** Der Grundwasserkörper befindet sich in einem **guten chemischen Zustand**. Weitere Prüfschritte sind nicht erforderlich.
- **Die Qualitätsnorm (QN)/der Schwellenwert (SW) wird an einer oder mehreren Messstellen des Überblicksmessnetzes in einem Grundwasserkörper überschritten:** Nach den Vorgaben der Grundwasser-Tochterraichtlinie (Art. 4) wird für diesen Grundwasserkörper **zunächst ein schlechter Zustand** angenommen.

In der Grundwasser-Tochterraichtlinie werden jedoch Kriterien genannt, bei deren Einhaltung trotz Überschreitung der Qualitätsnorm/des Schwellenwertes an einer oder mehreren Messstellen insgesamt ein guter chemischer Zustand im Grundwasserkörper vorliegen kann.

Nach Art. 4 (2c) wird ein Grundwasserkörper in einem guten chemischen Zustand betrachtet, wenn der Wert für eine Qualitätsnorm bzw. einen Schwellenwert zwar an einer oder mehreren Überwachungsstelle überschritten wird, eine geeignete Untersuchung jedoch bestätigt, dass die Schadstoffkonzentrationen, die die Qualitätsnorm überschreiten, keine signifikante Gefährdung der Umwelt darstellen.

Daraus folgt, dass bei einer Überschreitung der Qualitätsnorm/des Schwellenwertes an mindestens einer Messstelle, durch eine Prüfung sichergestellt werden muss, dass diese Überschreitung keine signifikante Gefährdung der Umwelt darstellt.

Als Ergebnis dieser Prüfung können alle Grundwasserkörper ausgewiesen werden, bei denen trotz Überschreitung der Qualitätsnorm/des Schwellenwertes keine signifikante Gefährdung der Umwelt zu besorgen ist.

Bei allen verbleibenden Grundwasserkörpern mit Überschreitung der Qualitätsnorm/des Schwellenwertes ist von einer signifikanten Gefährdung der Umwelt auszugehen.

In Tabelle 1 ist das Verfahren für die Beurteilung des chemischen Zustands nach Art. 4 (2c) und die entsprechenden Prüfkriterien in Niedersachsen/Bremen aufgelistet.

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

<p>Verfahren gem. Tochterrichtlinie (Art. 4 (2c) [Wortlaut]): Ein Grundwasserkörper oder eine Gruppe von Grundwasserkörpern wird als Grundwasser in gutem chemischen Zustand betrachtet, wenn c) der Wert für eine GW-Qualitätsnorm oder einen Schwellenwert zwar an einer oder mehreren Überwachungsmessstellen überschritten wird, eine geeignete Untersuchung gem. Anh. III jedoch bestätigt, dass:</p>	<p>Vorgehensweise/Kriterien in Niedersachsen (Erläuterung siehe Text)</p>	
<p>i)</p>	<p>aufgrund der Beurteilung gem. Anh. III Nr. 3 eine Schadstoffkonzentration, die die GW-Qualitätsnormen oder die Schwellenwerte überschreitet, keine signifikante Gefährdung der Umwelt darstellt; dabei kann ggf. die Ausdehnung in dem betroffenen Grundwasserkörper berücksichtigt werden;</p>	<p>Kriterien für die Signifikanz einer Gefährdung der Umwelt: Kriterien für die Ermittlung der gefährdeten Fläche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mind. 3 Messstellen > QN/SW je Typfläche • Mittelwert aller „flachen“ Messstellen (im Lockergestein) bzw. aller Messstellen in vergleichbaren hydrostratigrafischen Einheiten (im Festgestein) in einer Typfläche ist > QN/SW • Mittelwert der pot. Nitratkonzentration im Sickerwasser der Typfläche > 75 mg/l <p>Kriterium für die Signifikanz einer Gefährdung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Summe der Flächengröße der Typflächen mit signifikanter Gefährdung > 25 km² bzw. > 33 % der GWK-Fläche
<p>ii)</p>	<p>die übrigen in Anhang V Tabelle 2.3.2 der Richtlinie 2000/60/EG genannten Voraussetzungen für einen guten chemischen Zustand des Grundwassers gemäß Anhang III Nummer 4 der vorliegenden Richtlinie erfüllt sind;</p>	<p>Beurteilung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qualitätsnormen anderer Rechtsvorschriften der Gemeinschaft • Umweltziele angeschlossener Oberflächengewässer • Grundwasserabhängige Landökosysteme • Salz- oder sonstige Intrusionen
<p>iii)</p>	<p>für gemäß Artikel 7 Absatz 1 der Richtlinie 2000/60/EG ermittelte Grundwasserkörper die Anforderungen des Artikels 7 Absatz 3 der genannten Richtlinie gemäß Anhang III Nummer 4 der vorliegenden Richtlinie erfüllt sind;</p>	<p>Beurteilung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgleich mit Beanstandungen von Reinwasseranalysen von Wasserwerken und bei Bedarf mit entsprechenden Rohwasseranalysen
<p>iv)</p>	<p>die Brauchbarkeit des betreffenden Grundwasserkörpers oder eines Körpers der Gruppe von Grundwasserkörpern durch die Verschmutzung für die Verwendung durch den Menschen nicht signifikant beeinträchtigt worden ist.</p>	<p>Beurteilung:</p> <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

* Voraussetzung für die Verwendung der Messstellen bei der Berechnung der Kriterien ist generell die Zugehörigkeit zu hydrostratigrafischen Einheiten die nach WRRL relevant sind (vgl. Kap. 3.2.2, Messnetzbeurteilung).

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

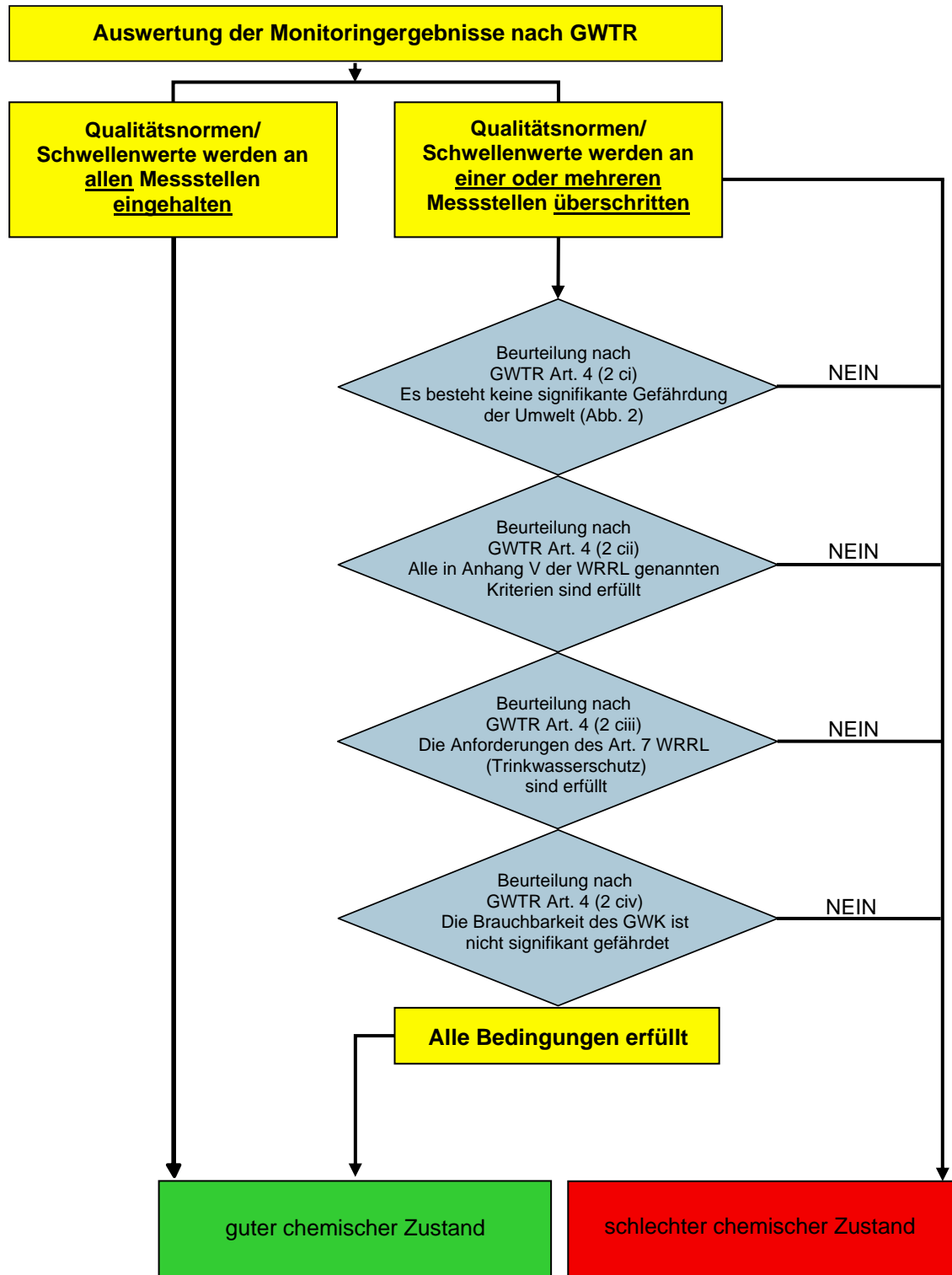


Abb. 1: Vorgehensweise bei der Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper

3.2 Beurteilung der signifikanten Gefährdung der Umwelt (nach Artikel 4, 2ci der GWTR)

Im folgenden Kapitel wird die Methodik erläutert, nach der die Abschätzung der signifikanten Gefährdung der Umwelt entsprechend Artikel 4, 2 ci der Grundwasser-Tochterraichtlinie erfolgt.

In Abbildung 2 ist diese Methodik schematisch dargestellt.

Das Kapitel 3.2.2 enthält eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens für den Parameter Nitrat.

Für die Schwellenwertparameter wird prinzipiell nach demselben Schema vorgegangen. Die Besonderheiten, die bei der Bewertung der Schwellenwertparameter zu beachten sind, werden in Kapitel 3.2.3 vorgestellt. Für die Pflanzenschutzmittel (PSM) wurde ein Bewertungsverfahren in Anlehnung an die oben genannten Kapitel entwickelt (vgl. Kapitel 3.2.4). Die generell vorzunehmende Betrachtung der Ausdehnung der Belastung behandelt Kapitel 3.2.5.

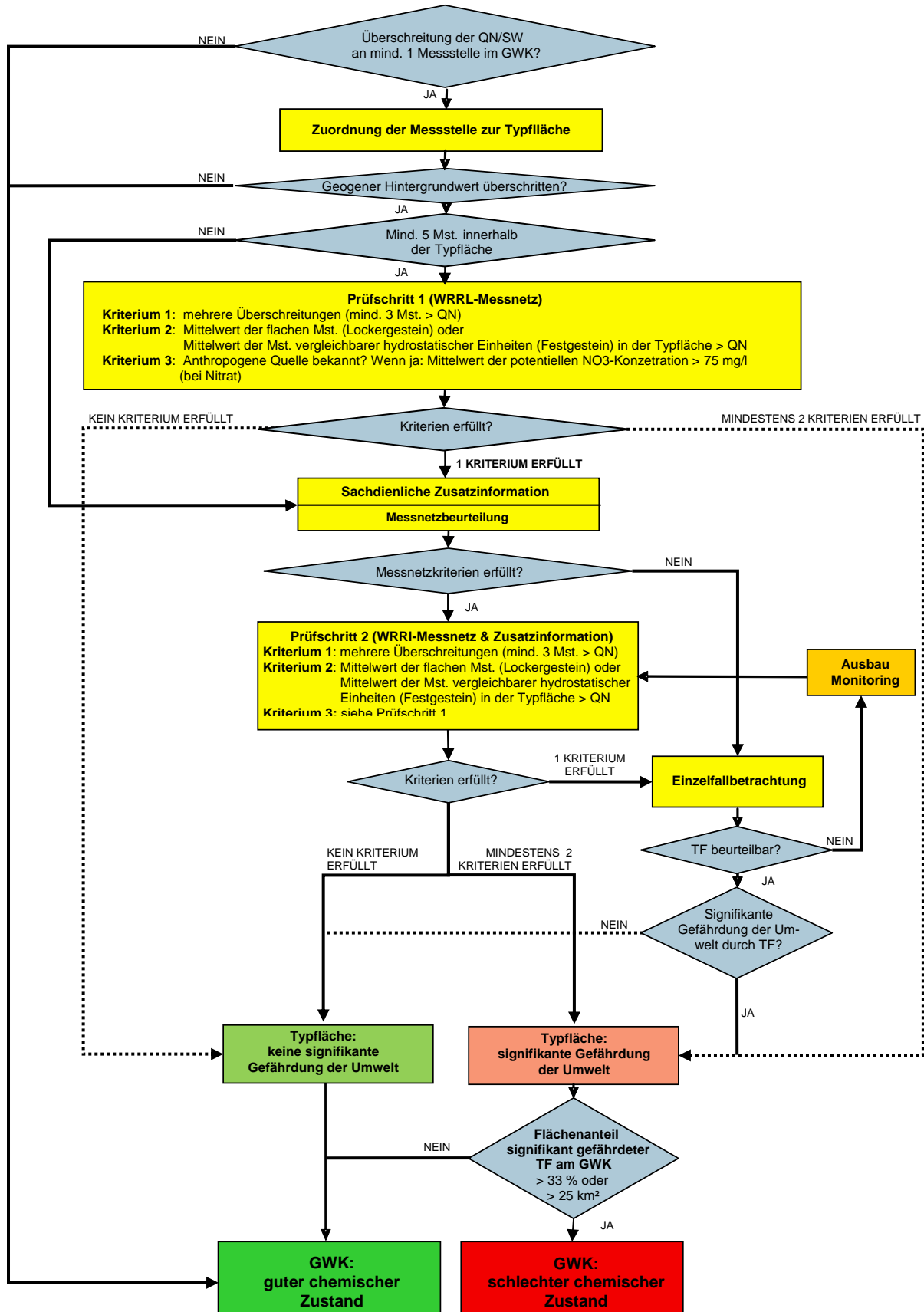


Abb. 2: Vorgehensweise zur Beurteilung der Grundwasserkörper (GWK) nach Artikel 4 2ci und Anhang III der GWTR

3.2.1 Zuordnung der Messstellen zu den Typflächen innerhalb der Grundwasserkörper

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

3.2.2 Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch den Parameter Nitrat

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

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

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

Kriterium 3: Mittelwert der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser der Typfläche > 75 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 mindestens 5 Messstellen des Überblickmessnetzes existieren und entsprechende Analysen vorliegen.

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

Prüfschritt 1

Prüfschritt 1 erfolgt auf Basis der Messergebnisse des Überblicksmessnetzes.

Die Bewertung kann zu folgenden 3 Ergebnissen führen:

- Wenn **kein Kriterium** erfüllt wird, besteht innerhalb der Typfläche **keine signifikante Gefährdung** der Umwelt.
- Wenn mindestens **2 Kriterien** erfüllt werden, besteht innerhalb der Typfläche eine **signifikante Gefährdung** der Umwelt.
- Wird nur **1 Kriterium** erfüllt, kann nicht sicher festgestellt werden, dass die Überschreitung der QN/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 Anhang III der Grundwasser-Tochterrichtlinie können neben den Messergebnissen des Überblicksmessnetzes auch andere „sachdienliche Hinweise“ berücksichtigt werden.

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

- weniger als 5 Messstellen des Überblicksmessnetzes 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 für das Überblicksmessnetz 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 (Überblicksmessnetz, zusätzliche Messstellen) sollte mindestens 1 Mst./25 km² betragen
- Einzelne Messstellen mit Messergebnissen > QN/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) 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 und ggf. weiterer hydrogeologischer Kenntnisse. Dabei ist die Verbreitung der relevanten hydrostratigrafischen Einheiten, ihre Bedeutung für die Wassernutzung und ggf. für Land-ökosysteme 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 vorkommen. Eine im Randbereich (innerhalb oder außerhalb) einer Typfläche gelegene Messstelle wird derjenigen Typfläche 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 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 liegt ein Defizit vor, wenn die relevanten hydrostratigrafischen Einheiten nicht ausreichend repräsentiert werden.

In allen Typflächen, in denen ein Defizit an Messstellen ermittelt wird, erfolgt eine Einzelfallbetrachtung.

Prüfschritt 2

Der Prüfschritt 2 erfolgt analog zu Prüfschritt 1, jedoch nun auf der Basis der Messergebnisse des Überblicksmessnetzes 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 **keine signifikante Gefährdung** der Umwelt.
- Wenn mindestens **2 Kriterien** erfüllt werden, besteht innerhalb der Typfläche **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 besondere Bedeutung, in denen die Einstufung der Typfläche 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 im Grenzbereich
- Hydrogeologische Prüfung (Beurteilbarkeit).

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

- Anzahl der Messstellen über Qualitätsnorm
- gemittelte Nitratgehalte der flachen und aller vorhandenen Messstellen
- Anzahl der Messstellen, die die Qualitätsnorm überschreiten, bezogen auf eine Fläche von 100 km²
- Mittelwert potenzieller NO₃-Konzentration
- Flächenanteil der Typfläche 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 nicht beurteilbar ist, wird die Typfläche 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.

3.2.3 Abschätzung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt durch Schwellenwertparameter

Für die Parameter, für die Schwellenwerte festgelegt wurden, erfolgt die Abschätzung der signifikanten Gefährdung im Prinzip analog der in Kap. 3.2.2 dargestellten Methodik. Abweichend davon muss für einige Schwellenwertparameter zunächst überprüft werden, ob der natürliche geogene Hintergrundwert höher liegt als der Schwellenwert (Kriterium 3, siehe Kap. 1.3). Dies erfolgt auf der Basis der Zuordnung der einzelnen Messstelle zur hydrostratigrafischen 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. 1.4). Für die Überschreitung der 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 Standort abhängige Emissionsbetrachtung durchgeführt.

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

Das Bewertungsverfahren zur Abschätzung der Gefährdung der Umwelt durch Pflanzenschutzmittel wurde in Anlehnung an die Verfahrensweise der Kapitel 3.2.2 und 3.2.3 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 1.3 erübrigt sich somit in diesem Falle. In Abbildung 3 ist die Vorgehensweise der Bewertung schematisch dargestellt.

Grundlage der aktuellen Bewertung waren, die seit 1998 im Rahmen des GÜN-PSM-Monitoring landesweit erhobenen Daten sowie die Untersuchungsergebnisse aus den Jahren 2008 und 2009 an allen Überblickmessstellen des WRRL-Monitorings. Die Auswertung erfolgte zunächst nicht Wirkstoff bezogen. Es wurde die höchste gemessene Wirkstoffkonzentration eines Untersuchungsintervalles zugrunde gelegt. Für jede Messstelle mit Qualitätsnormüberschreitung wurde ein Steckbrief erstellt, der die Zuordnung zur Typfläche und die einzelnen in Abb. 3 aufgeführten Bewertungsschritte abbildet.

Die Frage, ob eine Messstelle mit einem Wert $> \text{QN/SW}$ eine signifikante Gefährdung der Umwelt innerhalb einer Typfläche anzeigt, wird anhand der folgenden Kriterien bewertet:

Kriterium 1: Bestätigung der Belastung über mind. 2 Untersuchungsintervalle

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

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

Diese Bewertung erfolgte im Rahmen der aktuellen Bewertung für

1. alle Messstellen, bei denen eine aktuelle Überschreitung, den Zeitraum 2004-2009 betreffend, vorlag.
2. alle Messstellen, bei denen ausschließlich Überschreitungen aus dem Zeitraum 1998 bis 2004 vorlagen, sofern an mindestens einer weiteren Messstelle in der entsprechenden Typfläche eine Überschreitung der Qualitätsnorm vorlag. Falls keine weitere Überschreitung vorlag, wurde die Typfläche als nicht signifikant gefährdet eingestuft.

Ebenfalls als nicht signifikant gefährdet für die Umwelt wird die Typfläche bewertet, wenn keines der Überprüfungskriterien zutrifft.

Wird mindestens **1 Kriterium** erfüllt, wird zusätzlich eine **Prüfung im Rahmen einer Einzelfallbeurteilung** für die betroffenen Messstellen bzw. der zugehörigen Typflächen und Grundwasserkörper durchgeführt. Hierzu werden Gutachten und Expertenwissen berücksichtigt.

Die Bewertung erfolgt Wirkstoff bezogen. So werden beispielsweise Typflächen mit alleinigen QN-Überschreitungen durch 2,6-Dichlorbenzamid als nicht gefährdet eingestuft. Es handelt sich hier um einen nicht relevanten Metaboliten. Für diese können gem. Guidance Document on the Assessment of the Relevance of Metabolites in Groundwater of Substances regulated under Council Directive 91/414/EEC (2003) je nach Stoffeigenschaften Konzentrationen bis maximal $10 \mu\text{g/l}$ im Grundwasser als akzeptabel angesehen werden.

Typflächen werden ebenfalls als nicht gefährdet eingestuft:

- Wenn ein gefundener Wirkstoff im Folgejahr / in den Folgejahren nicht mehr nachweisbar ist.
- Die Bewertung nur auf Grundlage einer einzigen Messung erfolgen kann und parallel keinerlei Bestätigungen in der Typfläche durch andere Messstellen vorliegen.

Messstellen in diesen Typflächen gilt es jedoch in den Folgejahren verstärkt weiter zu beobachten.

Kann durch die Einzelfallbetrachtung eine signifikante Gefährdung ausgeschlossen werden, wird die Typfläche als nicht signifikant gefährdet eingestuft. Anderenfalls liegt für die Typfläche eine signifikante Gefährdung für die Umwelt vor. Um die Ausdehnung der signifikanten Gefährdung der Umwelt im Grundwasserkörper anhand der Flächengröße der Typfläche und deren Anteil am Grundwasserkörper zu bewerten, wird abschließend auch für den Parameter Pflanzenschutzmittel eine Beurteilung der Ausdehnung nach dem in Kapitel 3.2.5 beschriebenen Verfahren durchgeführt.

3.2.5 Beurteilung der Ausdehnung einer signifikanten Gefährdung der Umwelt im Grundwasserkörper

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

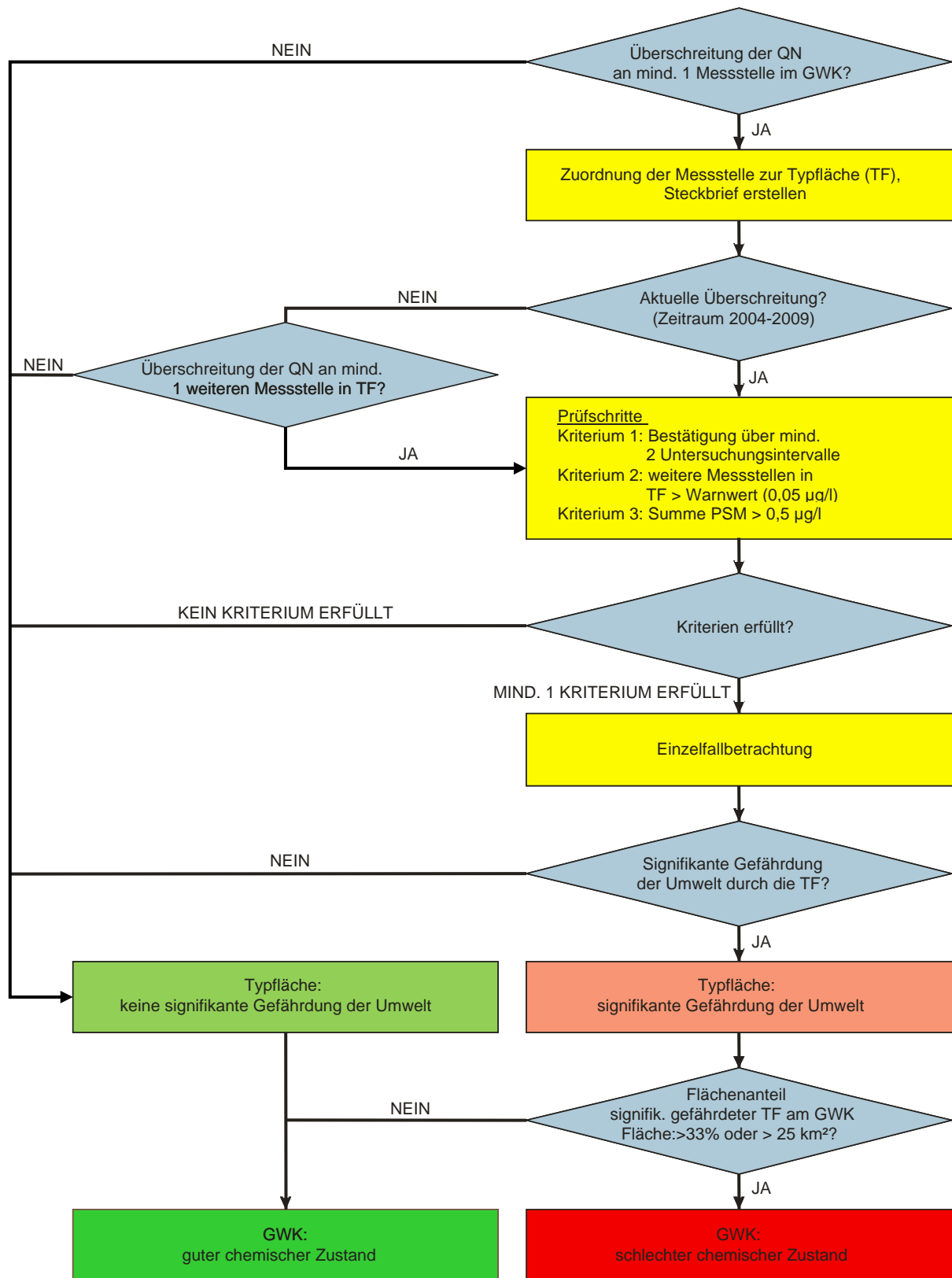


Abb. 3: Vorgehensweise zur Bewertung der PSM-Belastung nach GWTR

3.3. Beurteilung nach Anhang V der EG-Wasserrahmenrichtlinie (Artikel 4, 2 ciii GWTR)

Artikel 4, 2 cii der Grundwasser-Tochterrichtlinie verweist auf Anhang V der EG-WRRL. Im Einzelnen sind danach im Rahmen dieser Beurteilung folgende Prüfungen vorzunehmen:

- Werden die Qualitätsnormen anderer einschlägiger Rechtsvorschriften der Gemeinschaft gemäß Artikel 17 WRRL überschritten?

Nach den Vorgaben der Tochterrichtlinie zu Artikel 17 sind in diesem Zusammenhang die EU-weiten Qualitätsnormen für Nitrat und Pflanzenschutzmittel sowie die durch die Mitgliedstaaten festgelegten Schwellenwerte für relevante Parameter zu berücksichtigen.

Die Prüfung hinsichtlich der Überschreitung von Qualitätsnormen und Schwellenwerten erfolgt jedoch bereits zu Beginn der Bewertung (siehe Prüfschritt 1) und ist somit sozusagen die Grundlage der nachfolgenden Prüfschritte. Eine erneute Berücksichtigung im Rahmen des Prüfschrittes 2 kann somit entfallen.

- 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 Oberflächenwasserkörpern aufgrund von Belastungen des zuströmenden Grundwassers, sind folgende Aspekte von Interesse:

- Qualitätsnormüberschreitungen 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 (Frachtenmittlung)?
 - 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 Überblicksmessnetz Messstellen berücksichtigt, die eine fortschreitende Versalzung im Küstenbereich anzeigen sollen. Dies gilt ebenfalls für bedeutende Versalzungen, die in Zusammenhang mit Ablauungen oberflächennah anstehender Salzvorkommen stehen.

3.4. Beurteilung der Grundwasserbelastung im Hinblick auf den Trinkwasserschutz (Artikel 4, 2 ciii GWTR)

Im Rahmen dieser Beurteilung werden Überschreitungen der Qualitätsnormen bzw. 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 Qualitätsnorm- bzw. Schwellenwertüberschreitungen im Rohwasser zurückgeführt werden können, wird der Grundwasserkörper als im schlechten chemischen Zustand eingestuft.

3.5. Beurteilung der Grundwasserbelastung im Hinblick auf die Nutzung durch den Menschen (Artikel 4, 2 civ GWTR)

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 Qualitätsnormen bzw. 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 Trendanalyse und Trendumkehr

Nach Artikel 5 der Grundwasser-Tochterraichtlinie sollen Trendanalysen in den Grundwasserkörpern/Grundwasserkörpergruppen erfolgen, deren chemischer Zustand gemäß Bestandsaufnahme mit Zielerreichung unwahrscheinlich eingestuft wurde.

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.

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

Gemäß Art. 5, Abs. 3 der Grundwasser-Tochterraichtlinie ist bei Trends, die eine signifikante Gefahr für die Qualität der aquatischen oder terrestrischen Ökosysteme, 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 (Art. 2, Abs. 3 GWTR). Die Ermittlung der nicht nur statistischen, sondern auch ökologisch bedeutsamen Zunahme der Konzentration eines Schadstoffs erfolgt gemäß Abstimmung im 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 % der Qualitätsnorm/des Schwellenwertes liegt und wenn die von dieser oder mehreren Messstellen repräsentierte Fläche > 33 % bzw. > 25 km² des Grundwasserkörper ist. (analog zur Prüfung nach Kap. 3.2).

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

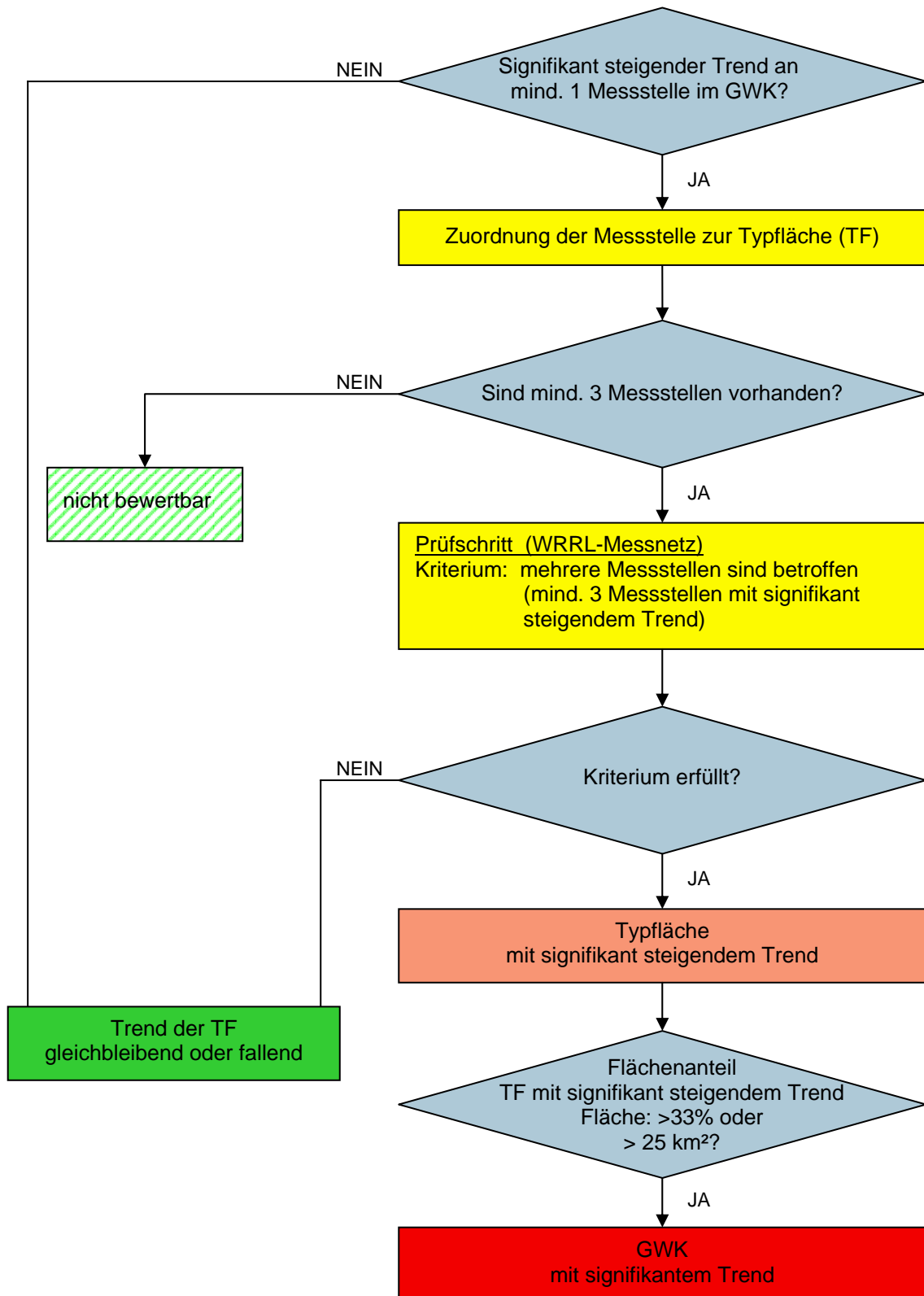


Abb. 4: Vorgehensweise bei der Trendbewertung nach GWTR

Literaturverzeichnis

Guidance Document on the Assessment of the Relevance of Metabolites in Groundwater of Substances regulated under Council Directive 91/414/EEC, 2003

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

LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser

LBEG (2005): Geofakten 21 - Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens

NLWKN (2006): Feinkonzept - Monitoringkonzept Grundwasser Niedersachsen/Bremen

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

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.

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001) vom 21.05.2001(BGBl., S. 959)

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

Anlage 1:

Anforderungen bei der Beschaffung sachdienlicher Zusatzinformationen (Messstellen)

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

Informationen für jede Messstelle (N=notwendige, W=wünschenswerte Angaben) (modifiziert nach Staatl. Geologische Dienste (SGD): „Empfehlung zur Gestaltung der Grundwasserüberwachung“)

Faktor	Messstellen für die chemische Überwachung
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 d. 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

Anlage 2

Wirkstoffe Pflanzenschutzmittel WRRL PSM-Monitoring im Grundwasser (Stand März 2008)

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	Diazinon
31	Dicamba
32	Dichlobenil
33	Dichlorprop (2,4 DP)
34	Dichlorvos
35	Diflufenican
36	Dimethachlor
37	Dimethenamid-P
38	Dimethoat
39	Disulfoton
40	Diuron
41	Epoxiconazol
42	Ethidimuron
43	Etrifos
44	Fenoxaprop-ethyl (Fenoxaprop-P)(Ethylester)
45	Fenpropidin
46	Fenpropimorph
47	Fenthion
48	Fenuron
49	Flufenacet
50	Flumioxazin
51	Fluroxypyr
52	Flurtamone

**Wirkstoffe Pflanzenschutzmittel
WRRL PSM-Monitoring im Grundwasser
(Stand März 2008)**

lfd. Nr.	Wirkstoffe
53	Foramsulfuron
54	Glyphosat
55	HCH-beta
56	HCH-delta
57	Hexachlorbutadien
58	Hexazinon
59	loxynil
60	Isodrin
61	Isoproturon
62	Isoxaflutole
63	MCPA
64	Mecoprop-P
65	Mefenpyr-Diethyl
66	Mesosulfuron
67	Mesotrione
68	Metamidophos
69	Metamitron
70	Metazachlor
71	Methabenzthiazuron
72	Metobromuron
73	Metoxuron
74	Metribuzin
75	Metsulfuron
76	Mevinphos
77	Nicosulfuron
78	Pendimethalin
79	Pentachlorphenol
80	Pethoxamid
81	Picolinafen
82	Pirimicarb
83	Prometryn
84	Propanil
85	Propazin
86	Propyzamid
87	Prothioconazol
88	Pyraclostrobin
89	Quinmerac
90	Quinoxifen
91	Rimsulfuron
92	Sebuthylazin
93	Simazin
94	S-Metolachlor
95	Spiroxamine
96	Sulcotrion
97	Tebuconazol
98	Terbuthylazin
99	Topramezone
100	Tribenuron
101	Trichlorfon
102	Triclopyr
103	Trifluralin
104	Vinclozolin

Anlage 3

Trendanalyse

**Ermittlung signifikanter und anhaltend steigender Schadstofftrends nach
Artikel 5 und Anhang IV der
Grundwasser-Tochterraichtlinie**

Januar 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung der Vorgehensweise	3
1.1	Umfang der Trendbetrachtung	3
1.2	Zeiträume der Trendbetrachtung	3
1.3	Ermittlung eines statistisch signifikanten Trends	4
1.3.1	Formulierung des Modells	4
1.3.2	Prüfung auf Linearität	4
1.3.3	Schätzung der Regressionsfunktion	4
1.3.4	Ausreißertest	5
1.3.5	Prüfung der Regressionsfunktion	5
1.3.6	Weitere Rahmenbedingungen	5
2	Trendermittlung für den gesamten Grundwasserkörper	6
2.1	Trendbewertung / Erfordernis einer Maßnahme zur Trendumkehr	6
2.2	Ermittlung der Trendumkehr	6
2.3	Ausgangspunkt der Trendumkehr	7
	Anhang	8

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

Nach Artikel 5 und Anhang IV der Grundwasser-Tochtrichtlinie sind Trendbetrachtungen durchzuführen. Die Vorgaben der GWTR werden mit der nachfolgend beschriebenen Vorgehensweise umgesetzt.

1 Beschreibung der Vorgehensweise

1.1 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 % der Qualitätsnorm bzw. eines Schwellenwertes überschreitet, auch in den als nicht gefährdet eingestuften Grundwasserkörpern vorzunehmen.

1.2 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. 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.

1.3 Ermittlung eines statistisch signifikanten Trends

Nach GWTR (Anhang IV, Teil A, 2 c) kann die Trendanalyse mit Hilfe einer Regressionsanalyse durchgeführt werden. Im Sinne der GWTR 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 GWTR 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:

1.3.1 Formulierung des Modells

Die Fragestellung im Sinne der GWTR 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)

1.3.2 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.

1.3.3 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.

1.3.4 Ausreißertest

Über einen Ausreißertest (s. Anh.; 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.

1.3.5 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.

1.3.6 Weitere Rahmenbedingungen

Die Trendanalyse entsprechend 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.

2 Trendermittlung für den gesamten Grundwasserkörper

2.1 Trendbewertung / Erfordernis einer Maßnahme zur Trendumkehr

Gemäß § 5, Abs. 2 der GWTR ist bei Trends, „die eine signifikante Gefahr für die Qualität der aquatischen oder terrestrischen Ökosysteme, für die menschliche Gesundheit oder für – tatsächliche oder potenzielle – legitime Nutzungen der Gewässer darstellen“, eine Trendumkehr durch Maßnahmen zu bewirken.

Die Ermittlung der nicht nur statistischen, sondern auch ökologisch bedeutsamen Zunahme der Konzentration eines Schadstoffes (§ 2, Abs. 3 der GWTR) 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 aquatischen oder terrestrischen Ökosysteme oder für - tatsächliche oder potenzielle - 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 Grundwasserqualitätsnorm bzw. des Schwellenwertes

wird analog zur Beurteilung des chemischen Zustands (siehe Leitfaden, Abschn. 3.2) 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.

2.2 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.

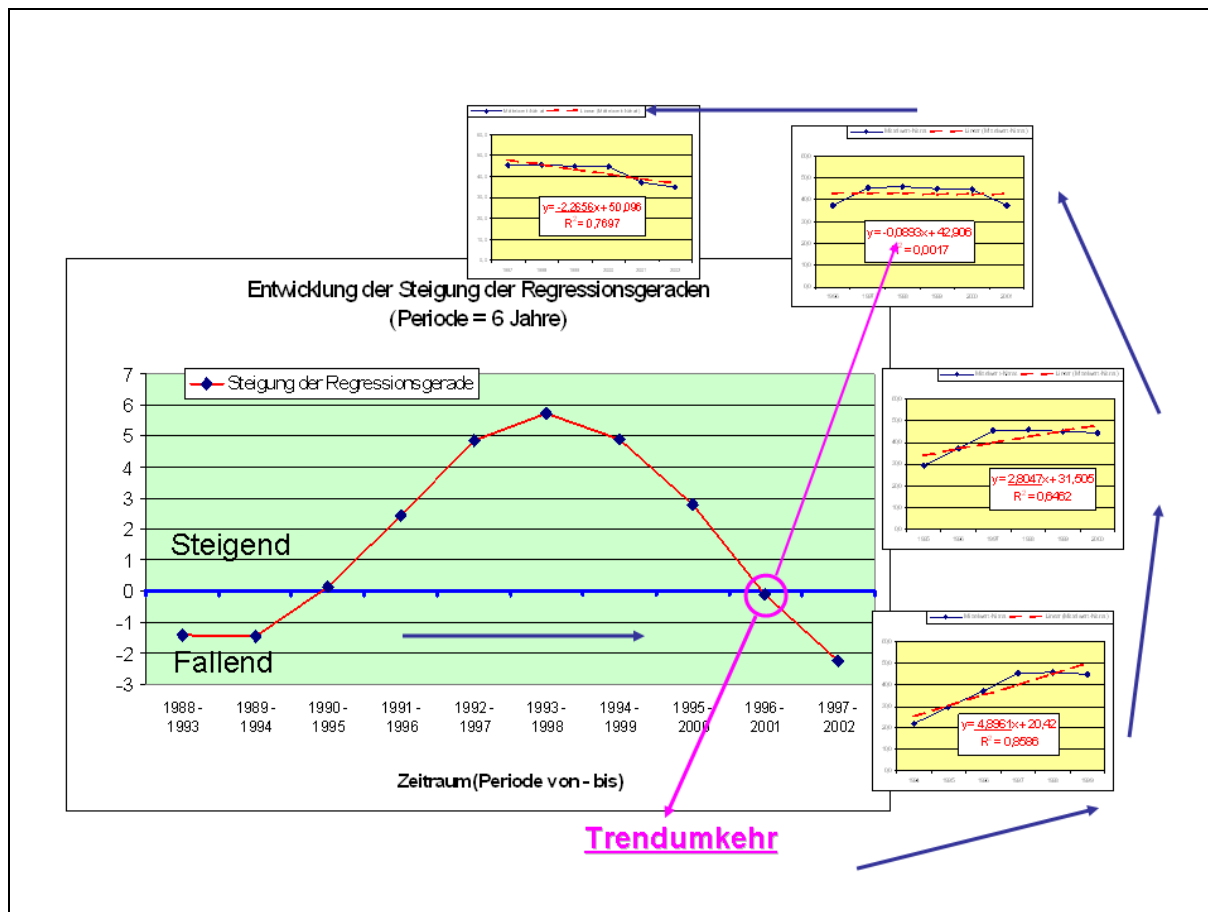


Abb 1. Ermittlung der Trendumkehr

2.3 Ausgangspunkt der Trendumkehr

Ausgangspunkt für die Berechnung einer Trendumkehr entsprechend Anhang IV, Teil B der GWTR ist eine Konzentration von > 75% der Qualitätsnorm bzw. Schwellenwert .

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 vorschnellen

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 $n-2$ Freiheitsgraden. 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

$$s_x^2 \quad (\text{Formel siehe Abschnitt 3})$$

$$s_y^2 \quad (\text{entsprechend wie } s_x^2)$$

$$a_1 \quad (\text{Formel siehe Abschnitt 3}) \text{ und}$$

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

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

