

## **Merkblatt Nr. 3.8/3**

**Stand: 30. Juni 2015**

**alte Nummer: LfW-Merkblatt Nr.3.8/3 vom 05. Nov. 2004**

Ansprechpartner: Referat 96

# **Natürliche Schadstoffminderung bei Grundwasserverunreinigungen durch Altlasten und schädliche Bodenveränderungen**

Monitored Natural Attenuation (MNA)

### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Allgemeine Hinweise</b>	<b>2</b>
1.1	Anwendungsbereich	2
1.2	Anforderungen an Bearbeiter	2
1.3	Begriffsbestimmungen	2
<b>2</b>	<b>Rahmenbedingungen für MNA</b>	<b>3</b>
2.1	Rechtliche Einordnung	3
2.2	Einbindung in die Einzelfallbearbeitung	4
2.3	Maßnahmenziel	5
2.4	Standortvoraussetzungen für die Umsetzung von MNA	5
2.5	Randbedingungen für nicht abbaubare Schadstoffgruppen	6
<b>3</b>	<b>MNA-Konzept</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>11</b>

**Anhang 1**      **Natürliche Schadstoffminderungsprozesse**

**Anhang 2**      **MNA-Konzept (Phasen I bis IV)**

**Anhang 3**      **Methodische Hinweise**

**Anhang 4**      **Literaturverzeichnis, Abkürzungsverzeichnis**

## 1 Allgemeine Hinweise

### 1.1 Anwendungsbereich

Unter dem Begriff „Natural Attenuation“ bzw. „Natürliche Schadstoffminderung“ sind natürlich ablaufende Prozesse im Untergrund zu verstehen, die zu einer Reduktion von Schadstoffverunreinigungen führen. Das Gefahrenpotenzial von Schadstoffen bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserverunreinigungen hängt u. a. auch vom Umfang dieser natürlich ablaufenden Prozesse ab. Inwieweit diese Prozesse die Schadstoffausbreitung verlangsamen können und unter günstigen Bedingungen zu einer Reduktion der Ausdehnung von Grundwasserverunreinigungen führen, ist jeweils im Einzelfall zu klären.

Ziel dieses Merkblatts ist es, Hinweise zu geben für die Erkundung, Bewertung und Überwachung von im Untergrund stattfindenden Prozessen zum natürlichen Schadstoffminderungsvermögen bei Grundwasserverunreinigungen, die durch Emissionen aus Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen bzw. durch Direkteinträge ohne Bodenpassage hervorgerufen werden, sowie zur Einbindung dieser Prozesse in die Altlastenbearbeitung. Schadstoffbelastungen, die ausschließlich in der ungesättigten Bodenzone vorliegen, werden hier nicht betrachtet. In Ergänzung zu diesem Merkblatt kann das LABO-Positionspapier (LABO 2009) herangezogen werden.

Das Merkblatt, bestehend aus einem Textteil und vier Anhängen, ergänzt die in Bayern zur Bearbeitung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserverunreinigungen eingeführten gesetzlichen Regelungen (BBodSchG, WHG, BBodSchV, BayBodSchG, BayBodSchVwV, BayWG) und fachlichen Arbeitshilfen, insbesondere die LfU-/Lfw-Merkblätter 3.8/1, 3.8/4, 3.8/5 und 3.8/6 (Lfw-MERKBLATT 3.8/1 2001, LfU-MERKBLATT 3.8/4 2010, LfU-Lfw-MERKBLATT 3.8/5 2002, LfU-MERKBLATT 3.8/6 2010).

### 1.2 Anforderungen an Bearbeiter

Die zuständigen Behörden können nach § 9 Abs. 2 und § 13 Abs. 2 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) verlangen, dass Aufgaben nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz und nach dem Bayerischen Bodenschutzgesetz (BayBodSchG) von nach § 18 Bundes-Bodenschutzgesetz zugelassenen Sachverständigen und Untersuchungsstellen wahrgenommen werden. Die entsprechende Zulassung nach der Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbearbeitung in Bayern (VSU Boden und Altlasten) erfolgt durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU). Näheres regelt die Verfahrensordnung zur Überprüfung und Bekanntgabe von Sachverständigen und Untersuchungsstellen (LfU VerfO) nach § 18 Bundes-Bodenschutzgesetz.

Für die Erstellung, Bewertung und Durchführung eines MNA-Konzepts (Kapitel 3 und Anhang 2) ist besondere Sachkunde erforderlich, so dass grundsätzlich die Einschaltung eines Sachverständigen nach VSU Boden und Altlasten (Sachgebiete 2 und 5) für notwendig erachtet wird.

### 1.3 Begriffsbestimmungen

#### **Natural Attenuation (NA)**

Unter „Natural Attenuation“ (NA) bzw. „Natürliche Schadstoffminderung“ werden in Anlehnung an die Oswe-Directive der US-EPA (US EPA OSWER 1999) verschiedene biologische, physikalische und chemische Prozesse verstanden, die im Boden und Grundwasser ohne menschlichen Eingriff natürlich wirken und dort zur Reduktion von Masse, Toxizität, Mobilität, Volumen und Konzentration von Schadstoffen beitragen.

Zu diesen schadstoffmindernden Prozessen zählen der biologische Abbau (Mineralisierung, Humifizierung, cometabolischer Abbau), Fällung, chemische Transformation, Sorption (Adsorption, Absorption), Verdünnung (Dispersion, Diffusion) und Verflüchtigung (Verdunstung, Sublimation). Weitere Erläuterun-

gen hierzu finden sich in Anhang 1. Die vorgenannten Prozesse führen im Idealfall zur Festlegung, Zerstörung, Transformation bzw. Minderung von Schadstoffen. Die verdünnenden Prozesse dürfen im Verhältnis zu den frachtreduzierenden Prozessen nur untergeordnet an der Schadstoffminderung beteiligt sein. Eine auf Verdünnung bzw. Verflüchtigung basierende Konzentrationsabnahme von Schadstoffen stellt grundsätzlich keine akzeptable Gefahrenabwehr bzw. Schadensbeseitigung dar, da die Schadstofffracht nicht reduziert wird bzw. die Schadstoffe lediglich in andere Umweltkompartimente verlagert werden. Bei der Gesamtbetrachtung der Wirksamkeit (u. a. Schadstoffbilanzierung) von schadstoffmindernden Prozessen sind jedoch auch diese Vorgänge zu berücksichtigen. Die Ermittlung von NA entspricht damit einer Standortcharakterisierung und Prozessbeschreibung.

### **Monitored Natural Attenuation (MNA)**

Unter „Monitored Natural Attenuation“ (MNA) bzw. „Überwachte natürliche Schadstoffminderung“ wird die dauerhafte Überwachung der zuvor eingehend untersuchten und charakterisierten schadstoffmindernden Prozesse bis zum Erreichen des Maßnahmenziels (Kapitel 2.3) verstanden. MNA dient damit der kontinuierlichen Überprüfung der prognostizierten Schadstoffminderung ohne dabei aktiv in das ablaufende Prozessgeschehen der Schadstoffminderung einzugreifen.

Für eine behördliche Entscheidung, die unter Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung und der Verhältnismäßigkeit ein Absehen von Sanierungsmaßnahmen (vorläufig, partiell oder ausnahmsweise vollständig) in Verbindung mit MNA beinhaltet, ist ein "MNA-Konzept" erforderlich. Dieses beinhaltet den groben Handlungsrahmen sowie mögliche durchzuführende Untersuchungsmethoden für die Phasen I bis III und die Durchführung eines MNA-spezifischen Überwachungsprogramms zur Umsetzung von MNA in Phase IV (Kapitel 3 und Anhang 2).

### **Enhanced Natural Attenuation (ENA)**

Bei „Enhanced Natural Attenuation“ (ENA) wird auf der Basis einer eingehenden Untersuchung und Charakterisierung von NA sowie der Gesamtsituation mit Hilfe von biologischen, chemischen und physikalischen technischen Verfahren aktiv in das Prozessgeschehen eingegriffen und die natürlichen Prozesse zur Schadstoffminderung aktiv unterstützt. Entsprechende Maßnahmen werden jedoch i. d. R. als in-situ-Sanierung z. B. mit Schwerpunkt auf Initiierung oder Stimulation des aeroben Abbaus durch Einbringen von Sauerstoff und/oder Nährstoffen bezeichnet. Daher handelt es sich um in-situ-Sanierungsmaßnahmen im Sinne des § 2 Abs. 7 Bundes-Bodenschutzgesetz, die i. d. R. mit einer erlaubnispflichtigen Gewässerbenutzung nach § 9 Abs. 1 Nr. 4 u. Abs. 2 Nr. 2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) verbunden sind.

Spezielle Aspekte dieser Verfahrenstechnik werden im vorliegenden Merkblatt nicht weiter behandelt.

## **2 Rahmenbedingungen für MNA**

### **2.1 Rechtliche Einordnung**

Nach § 4 Abs. 3 Bundes-Bodenschutzgesetz sind schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten sowie durch sie verursachte Verunreinigungen von Gewässern so zu sanieren, dass „dauerhaft keine Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen“.

Im Sinne des § 2 Abs. 7 Bundes-Bodenschutzgesetz werden mit dem Sanierungsbegriff insbesondere technische Maßnahmen verknüpft, die ein aktives Handeln bedingen. NA umfasst dagegen im Vordergrund selbstständig ablaufende natürliche Prozesse, die ohne äußere aktive Eingriffe zum Abbau oder Rückhalt von Schadstoffen führen. Damit entspricht die Ermittlung von NA einer Standortcharakterisierung und stellt keine Gefahrenabwehrmaßnahme dar.

Auch bei MNA werden die Prozesse zur Schadstoffminderung im Untergrund nicht aktiv beeinflusst, sondern lediglich deren zeitliche und räumliche Wirksamkeit untersucht und überwacht. Wie MNA rechtlich einzuordnen ist, ist im Bundes-Bodenschutzgesetz nicht ausdrücklich geregelt und bleibt auf Grund der noch anhaltenden bundesweiten Diskussion vorerst länderspezifischen Regelungen überlassen.

Grundlage für die Umsetzung von MNA ist in dessen Anwendungsbereich das Bodenschutzrecht, die materiellen Anforderungen für die Sanierung von Gewässern bestimmen sich dagegen nach dem Wasserrecht.

## 2.2 Einbindung in die Einzelfallbearbeitung

Die gesetzlich vorgegebene stufenweise Bearbeitung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserverunreinigungen bzw. der entsprechenden Verdachtsflächen hat sich bewährt. Dieses stufenweise Vorgehen sollte unter Berücksichtigung der im Einzelfall vorliegenden Rahmenbedingungen auch bei der Einbeziehung von schadstoffmindernden Prozessen (NA) bzw. deren Umsetzung in ein MNA-Konzept beibehalten werden.

Die Aspekte der natürlichen Schadstoffminderung können prinzipiell in jeder Bearbeitungsstufe berücksichtigt werden. I. d. R. werden sie jedoch frühestens ab der Detailuntersuchung systematisch einbezogen. Sollten sich im Verlauf der orientierenden Untersuchung jedoch Hinweise auf NA ergeben, so sind diese Erkenntnisse in die Bewertung sowie in die Planung der nachfolgenden Bearbeitungsstufen einzu beziehen.

Im Rahmen der Detailuntersuchung ist eine abschließende Gefährdungsabschätzung durchzuführen und eine Entscheidung über die Notwendigkeit von (Sanierungs-) Maßnahmen zu treffen. Hierfür sind u. a. Art, Mobilität und Verhalten der Schadstoffe sowie der Schadensumfang zu ermitteln. Häufig können bei diesen Untersuchungen bereits Erkenntnisse über das Vorliegen von NA erlangt werden. Je nach Einzelfall ist es denkbar, dass im Zuge der Detailuntersuchung gezielt vertiefte Untersuchungen zu NA durchgeführt werden. Bei der Gefährdungsabschätzung kann die Berücksichtigung von NA von Bedeutung sein.

Zur Bewertung und Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren, zur Festlegung von Sanierungszielen und zur Verhältnismäßigkeitsprüfung sind detaillierte Kenntnisse der Standortverhältnisse notwendig. Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung kann es daher unabhängig von einer Umsetzung von MNA sinnvoll bzw. erforderlich sein, NA vertieft zu untersuchen und zu berücksichtigen. Gegebenenfalls eröffnen sich dadurch Möglichkeiten zur Durchführung von ENA bzw. anderer in-situ Sanierungsverfahren.

Bei der Entscheidung über die Einbindung von MNA in die Altlastbearbeitung ist zwingend zu prüfen, ob die Durchführung technischer Sanierungsmaßnahmen als alleinige Maßnahme verhältnismäßig ist. Stellt sich in den Bearbeitungsphasen DU (Detailuntersuchung) und SU (Sanierungsuntersuchung) heraus, dass NA-Prozesse am Standort stattfinden, können diese in den Entscheidungsprozess einbezogen werden.

Soll MNA als Teil einer Sanierungsmaßnahme oder im Einzelfall als alleinige Maßnahme umgesetzt werden, ist entsprechend diesem Merkblatt die standortbezogene natürliche Schadstoffminderung durch ein MNA-Konzept (Kapitel 3) zu belegen. Das MNA-Konzept erweitert die SU um eine detaillierte NA-spezifische Erkundung (Phase I–III). Die NA-spezifische Erkundung stellt zusammen mit der Variantenstudie zur Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit die Grundlage der behördlichen Entscheidung zur Umsetzung von MNA dar.

Für die Umsetzung von MNA sind die grundsätzlichen Standortvoraussetzungen einzuhalten, insbesondere ist i. d. R. eine Quellensanierung durchzuführen (siehe Kapitel 2.4). Eine Quellensanierung soll die Schadstoffmenge in und/oder die Quellstärke (Austrag der Schadstoffe) aus der Quelle so weit wie möglich reduzieren. Damit sollen Gefahren für das bisher unbelastete Grundwasser und/oder für weitere

Schutzgüter abgewendet werden und/oder der Zeitraum der Existenz der Grundwasserverunreinigung maßgeblich verkürzt werden.

Sind die Standortvoraussetzungen erfüllt und soll MNA aufgrund der Ergebnisse des MNA-Konzeptes angewendet werden, kann dies in Kombination mit technischen Sanierungsverfahren, ggf. auch im Anschluss an eine Sanierung unter Festlegung des Maßnahmenzieles (Kapitel 2.3) erfolgen. Im besonders begründeten Einzelfall kann MNA auch als alleinige Maßnahme ausreichend sein. Bei der Umsetzung eines MNA-Konzeptes sind alle für den jeweiligen Einzelfall notwendigen Maßnahmen in einem Gesamtmaßnahmenkonzept (einschließlich ggf. notwendiger technischer Sanierungsmaßnahmen) darzulegen.

Im Rahmen der MNA-Bearbeitung sollte möglichst frühzeitig, spätestens vor Umsetzung von MNA, eine Alternativmaßnahme zur hinreichenden Gefahrenabwehr vorliegen, falls sich ein MNA-Konzept (Kapitel 3 und Anhang 2) als nicht Erfolg versprechend erweist.

### 2.3 Maßnahmenziel

Da MNA nach Bundes-Bodenschutzgesetz keine Sanierungsmaßnahme darstellt, wird für die Fälle, in denen MNA zur Anwendung kommt, der Begriff „Maßnahmenziel“, entsprechend dem Sanierungsziel bei technischen Sanierungsmaßnahmen, verwendet.

Das Maßnahmenziel beschreibt den jeweiligen zu erreichenden Zustand, ab dem MNA in Kombination mit einer technischen Sanierung oder ggf. MNA als alleinige Maßnahme beendet werden kann.

Die Festlegung des Maßnahmenziels erfolgt in Anlehnung an das LFW-MERKBLATT 3.8/1 unter Berücksichtigung der Standortbedingungen, insbesondere der Schadstoffart, der aktuellen und zukünftigen Konzentrationen und Frachten, des Ausbreitungsverhaltens (gesättigte und ungesättigte Zone) sowie betroffener Schutzgüter.

Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen (Geeignetheit, Erforderlichkeit und Angemessenheit) ist neben den Vorgaben des allgemeinen Boden- und Grundwasserschutzes zu berücksichtigen (§ 4 Abs. 7 BBodSchV, LFW-MERKBLATT 3.8/1).

Die Sanierungspflicht bei Altlasten oder schädlichen Bodenveränderungen sowie ggf. dadurch verursachter Gewässerverunreinigungen bleibt auch bei der Berücksichtigung von NA bzw. bei der Umsetzung von MNA bestehen. Es gelten die gleichen Grundsätze hinsichtlich der Gefahrenabwehr bzw. der Schadensbeseitigung. Eine rechtliche Einordnung von MNA ist damit nicht verbunden (siehe auch Kapitel 2.1).

### 2.4 Standortvoraussetzungen für die Umsetzung von MNA

Für die Umsetzung von MNA sind grundsätzlich folgende Voraussetzungen zu beachten und durch die phasenweise Bearbeitung des MNA-Konzeptes (Kapitel 3) nachzuweisen:

- Die Dekontamination der Schadstoffquelle/n (im ungesättigten und gesättigten Bereich) soll so weit wie möglich durchgeführt worden sein und/oder die Quellstärke (Fracht pro Zeit und Fläche) durch geeignete anderweitige Maßnahmen (z. B. Oberflächenabdichtung, Abstromsicherung) dauerhaft minimiert werden.
- Es dürfen keine mobilen Schadstoffphasen vorliegen.
- Die Schadstofffahne muss räumlich zumindest quasi-stationär sein oder sich von ihrer Ausdehnung (Reaktionsraum) her bereits verkleinern.
- Durch die Schadstofffahne dürfen keine sensiblen Nutzungen (u. a. Trink- oder Heilwasserentnahmen, private Grundwassernutzungen) bzw. weitere Schutzgüter gefährdet werden.

- Die vertikale Schadstoffverlagerung in tiefer liegende Grundwasserstockwerke muss ausgeschlossen sein.
- Es dürfen keine erheblichen zusätzlichen Gefahren, z. B. durch Anreicherung toxischer Metabolite (z. B. Vinylchlorid) oder Endprodukte für relevante Schutzgüter vorliegen bzw. zu erwarten sein.
- Die schadstoffmindernden Prozesse in der Fahne müssen im Wesentlichen durch frachtreduzierende Prozesse (z. B. mikrobiologischer Abbau) begründet sein.
- Das gesamte Schadstoffspektrum sowie die räumliche und zeitliche Verteilung/Ausbreitung der Schadstoffe müssen bekannt sein bzw. erhoben werden.
- Die hydrogeologischen Verhältnisse müssen detailliert und plausibel nachvollziehbar erkundet sein einschließlich schlüssiger hydrogeologischer Modellvorstellungen.
- Kluft- bzw. Karstgrundwasserleiter sind i. d. R. für die Umsetzung von MNA nicht geeignet.

## 2.5 Randbedingungen für nicht abbaubare Schadstoffgruppen

Anorganische Schadstoffe unterliegen keinen natürlichen Abbauprozessen. Werden anorganische Schadstoffe durch Schadstoffminderungsprozesse wie z. B. Fällung oder Sorption festgelegt, ist durch die Prognose (Kapitel 3, Phase III) zu belegen, dass eine Remobilisierung auf Dauer ausgeschlossen werden kann. Die Prozesse der dauerhaften Immobilisierung müssen sicher nachgewiesen sein.

MNA kann in diesen Fällen im Sinne des Merkblatts nur unter der Voraussetzung zur Anwendung kommen, dass die Schadstoffquelle i. d. R. vollständig saniert wurde. Nicht abbaubare organische Schadstoffe sind analog zu betrachten.

Können diese Vorgaben nicht eingehalten werden, ist die MNA-Bearbeitung im Sinne dieses Merkblattes nicht möglich.

## 3 MNA-Konzept

Wird NA in der Altlastenbearbeitung berücksichtigt, soll die Erkundung, Bewertung und Überwachung der schadstoffmindernden Prozesse phasenweise durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise bietet sich auf Grund des im Vergleich zur konventionellen Altlastenbearbeitung erforderlichen erhöhten Aufwandes an. Vor Beginn der MNA-Bearbeitung ist auf Basis der Variantenstudie (SU) eine **Alternativmaßnahme** zur hinreichenden Gefahrenabwehr (Rückfallszenario) festzulegen, falls sich die Wirkung der schadstoffmindernden Prozesse als unzureichend erweisen sollte.

Das MNA-Konzept gliedert sich grundlegend in eine **NA-spezifische Erkundung** und **Bewertung** (Phasen I–III) sowie die **MNA-spezifische Überwachung** (Monitoring, Phase IV). Im Rahmen der NA-spezifischen Erkundung und Bewertung werden die Prozesse in drei Phasen sukzessive vertiefend erkundet und bewertet. Diese Phasen umfassen alle erforderlichen Maßnahmen, die für die hinreichende qualitative Abschätzung bzw. quantitative Beschreibung und Ermittlung von NA erforderlich sind. Nähere Angaben zu Untersuchungsmethoden und weitere Erläuterungen sind den Anhängen 2 und 3 zu entnehmen. Am Ende jeder Phase wird aufgrund der Erkundungsergebnisse entschieden, ob es sinnvoll und zielführend ist, das MNA-Konzept weiterzuverfolgen.

Spätestens am Ende der Phase III ist eine behördliche Entscheidung erforderlich, ob unter Einbeziehung der Verhältnismäßigkeit auf Basis der nachgewiesenen Schadstoffminderungsprozesse, der Prognose der Fahnenentwicklung und der Variantenstudie (SU) und des mit den Behörden abgestimmten MNA-spezifischen Überwachungsprogramms auf zusätzliche (Sanierungs-) Maßnahmen verzichtet werden kann und ein entsprechendes Monitoring in Phase IV durchgeführt werden soll.

Für den Einstieg in die MNA-Bearbeitung, ist vom Pflichtigen als Grundlage für die Abstimmung zwischen den Beteiligten (u. a. Behörden, Pflichtiger, Sachverständiger) und zumindest für die unmittelbar bevorstehende nächste Bearbeitungsphase ein auf den Einzelfall ausgerichteter MNA-Konzept vorzulegen, das neben dem groben Handlungsrahmen auch die durchzuführenden Untersuchungsmethoden enthält.

### **Phase I: Prüfung der Standortvoraussetzungen und qualitative Abschätzung des NA-Potenzials**

Im ersten Schritt ist, sofern nicht aus bereits vorliegenden Untersuchungen bekannt, durch eine **Erkundung der Schadstoffquelle (bzw. der ggf. verbliebenen kontaminierten Quellbereiche) und -fahne** abzuklären, ob einerseits die in Kapitel 2.4 genannten **Standortvoraussetzungen** zur Umsetzung von MNA eingehalten werden und andererseits ein **NA-Potenzial** am Standort vorliegt. Dies bezieht sich zunächst auf die qualitative Erfassung möglicher Prozesse der Schadstoffminderung und stellt somit die Erhebung des Ist-Zustandes dar.

Für diesen ersten Erkundungsschritt können i. d. R. gängige Untersuchungsverfahren der Altlastenbearbeitung angewandt werden (siehe auch Anhang 2 und 3). Am Ende von Phase I ist eine Bewertung der Ergebnisse vorzunehmen und zu entscheiden, ob das MNA-Konzept mit Phase II weiterverfolgt wird.

### **Phase II: Quantitative Erkundung und Bewertung der schadstoffmindernden Prozesse**

Kann am Standort ein Potenzial zur natürlichen Schadstoffminderung qualitativ belegt werden, sind in dieser Untersuchungsphase im Wesentlichen die einzelnen schadstoffmindernden Prozesse zu identifizieren sowie deren Ausmaß bzw. Wirksamkeit zur Schadstoffminderung zu erheben.

Der hydrogeologische Kenntnisstand aus Phase I wird erweitert und fließt in die Entwicklung des **Hydrogeologischen Modells** (HGM, Anhang 2) ein. Dies bedeutet im Einzelnen die Ermittlung und eine detaillierte Charakterisierung des Strömungsgeschehens sowie der Grundwasserleiter/-stauerkonfiguration.

Die **Schadstofffrachten** sind an Bilanzebenen (Fließquerschnitten) zu ermitteln und die **Frachtreduktion** zu quantifizieren. Die **Verdünnung** als limitierendes Entscheidungskriterium für MNA (siehe Kapitel 2.4) ist ebenfalls zu quantifizieren bzw. von anderen Schadstoffminderungsprozessen zu unterscheiden. Außer einer vertieften Charakterisierung der Redoxverhältnisse soll ergänzend zu den Untersuchungen in Phase I das Vorhandensein und die Aktivität von Mikroorganismen ermittelt und erste Rückschlüsse auf Abbauraten gezogen werden (siehe Anhang 2).

Zusätzlich zu den in der Altlastenbearbeitung gängigen Untersuchungsverfahren können in dieser Phase spezielle Untersuchungsmethoden (z. B. Isotopenuntersuchungen u. Mikrokosmenstudien) erforderlich werden (siehe Anhang 3).

Mit Hilfe der in Phase II erfassten Informationen sollte nach der qualitativen Beurteilung (Phase I) eine quantitative Bewertung der schadstoffmindernden Prozesse möglich sein. Ist die Wirksamkeit der Prozesse ausreichend, kann das MNA-Konzept mit Phase III fortgeführt werden.

### **Phase III: Modellierung und Prognose mit Erstellung des MNA-spezifischen Überwachungsprogramms und behördlicher Entscheidung**

In Phase III ist die **Prognose des Schadstoffverhaltens** zu erstellen. Hierzu müssen ggf. noch fehlende Informationen erhoben werden, um ein plausibles Prozessverständnis zu erreichen. Aus den Ergebnissen der NA-spezifischen Erkundung, dem entwickelten hydrogeologischen Modell sowie allen weiteren Daten und ermittelten Prozessen, insbesondere der Schadstoffausbreitung, soll ein **konzeptionelles Standortmodell** formuliert werden. Die Prognose des Schadstoffverhaltens sollte mittels eines **numerischen Modells** (Grundwasserströmungs-, Transport- und Reaktionsmodell) erfolgen. Das konzeptionelle Standortmodell dient dabei als die nichtmathematische Vorstufe und Grundlage der numerischen Model-

lierung. In einfachen Fällen kann alternativ auch eine verbalargumentative Prognose auf Basis des konzeptionellen Standortmodells und von Zeitreihenanalysen entwickelt werden.

Am Ende der Erkundungsphasen hat eine zusammenfassende Bewertung durch den Sachverständigen zu erfolgen. Diese ist der zuständigen Behörde zur Abstimmung und weiteren Entscheidung vorzulegen. Lassen alle Ergebnisse nach Abschluss der Untersuchungen in Phase III eine Umsetzung von MNA zu, sind von der Behörde entsprechende **Prüf- und Bewertungskriterien** für die Durchführung von MNA festzulegen. Diese umfassen das **Maßnahmenziel, Zwischenziele, tolerierbare Abweichungen von der Prognose und Abbruchkriterien**. Die Abbruchkriterien beinhalten auch die zur Umsetzung von MNA genannten Standortvoraussetzungen (Kapitel 2.4 z. B. Ausschluss mobiler Schadstoffphasen).

Anschließend ist in Abstimmung mit der Behörde ein **MNA-spezifisches Überwachungsprogramm** zu erstellen. Das Überwachungsprogramm ist im Sinne eines prozessorientierten Monitorings durchzuführen und soll die Überwachung der Schadstoffverteilung (einschließlich der Begrenzung der Fahne), des Schadstoffverhaltens mit Fahnenentwicklung und der maßgeblichen prozessrelevanten Parameter beinhalten. Dadurch können frühzeitig mögliche Änderungen der Schadstoffminderungsprozesse erkannt werden, um ggf. rechtzeitig weitere Maßnahmen ergreifen zu können. Dazu müssen Leitparameter, Messstellen, Probenahme-Methodik und -intervalle festgelegt werden.

Da bei MNA die Prozesse der Schadstoffminderung nicht beeinflussbar sind, ist die Dauer von MNA neben den Schadstoffminderungsprozessen insbesondere abhängig von

- den verbliebenen Restschadstoffmassen und
- dem festzulegenden und erforderlichen Maßnahmenziel.

Das Maßnahmenziel soll innerhalb **einer rückläufigen Entwicklung der Schadstofffahne** definiert werden und **mehrfach** anhand der Prognoseprüfung bestätigt werden. Zudem sollen sie in einem überschaubaren Zeitraum erreicht werden (ca. 10–30 Jahre). Lässt die Prognose des Schadstoffverhaltens deutlich längere Zeiträume erwarten und sind noch Restschadstoffmassen (Schadstoffquellen) vorhanden, sind weitere Maßnahmen an der Schadstoffquelle durchzuführen (z. B. Dekontamination).

### **Behördliche Entscheidung über die Durchführung von MNA**

Auf Grundlage der bisherigen Erkenntnisse ist von den zuständigen Behörden abschließend zu prüfen, ob die notwendigen Standortvoraussetzungen für MNA vorliegen (Kapitel 2.4) und die Entscheidung zu treffen, ob am Standort die natürliche Selbstreinigung (MNA) ausreicht und das MNA-spezifische Überwachungsprogramm geeignet ist, um entweder MNA in Verbindung mit einer technischen Sanierungsmaßnahme zur Gefahrenabwehr oder im Einzelfall als alleinige Maßnahme durchzuführen. Stellt sich aufgrund der bisherigen Erkenntnisse MNA als nicht zielführend heraus, ist die zuvor festgelegte Alternativmaßnahme umzusetzen.

Ergibt die Bewertung, dass die Standortgegebenheiten eine Einbeziehung von Prozessen zur Schadstoffminderung zulassen, schließt sich die Phase der MNA-spezifischen Überwachung an.

### **Phase IV: MNA-spezifische Überwachung mit Vergleich und Überprüfung der Prognose**

Diese Phase umfasst das eigentliche Monitoring mit der **Prognoseprüfung** anhand der gewonnenen Monitoring-Ergebnisse („Soll-Ist-Vergleich“) unter Berücksichtigung der festgelegten tolerablen Abweichungen von der Prognose und Prüfung der festgelegten Abbruchkriterien. Das Monitoring wird in Überwachungsphasen (MNA-Zyklen) unterteilt, in denen Parameterumfang, Probenahmeintervalle und -methodik sowie Messstellenauswahl bis zur erneuten Prognoseprüfung konstant bleiben. Der Parameterumfang und der Abstand zwischen diesen Phasen richten sich nach den in Phase I bis III ermittelten Prozessen, die für die Frachtreduktion maßgeblich sind. An den Monitoring-Ergebnissen jedes MNA-

Zyklus ist eine Prognoseprüfung mit Bewertung der relevanten schadstoffmindernden Prozesse und Überprüfung des Modells vorzunehmen. Je nach Ergebnis der Prüfung bzw. bei Abweichung der Ist-Werte von der Prognose und Überschreitung der tolerierbaren Abweichungen, ist eine Neubewertung der Prognose des Schadstoffverhaltens durchzuführen. Dazu soll in Abstimmung mit der Behörde ggf. das Überwachungsprogramm angepasst werden, um ergänzende Daten zu erhalten. Anschließend ist ggf. das Modell zu überarbeiten, die Prognose neu zu formulieren und das zukünftige Überwachungsprogramm anzupassen. Ergibt die Prüfung, dass das Maßnahmenziel nicht erreicht werden kann, ist die Alternativmaßnahme anzuwenden.

Grundsätzlich ist das MNA-Programm solange durchzuführen, bis das festgelegte Maßnahmenziel erreicht ist oder erkennbar ist, dass MNA nicht zum angestrebten Ziel führt bzw. Abbruchkriterien erfüllt werden und die Alternativmaßnahme des Rückfallszenarios zur Anwendung kommen muss.

In Abb. 1 sind die Phasen I bis IV des MNA-Konzepts sowie zum Vergleich die entsprechenden Schritte nach dem LABO-Positionspapier in einem Fließschema dargestellt. Detaillierte Angaben zur Vorgehensweise in den einzelnen Phasen sind im Anhang 2 enthalten.

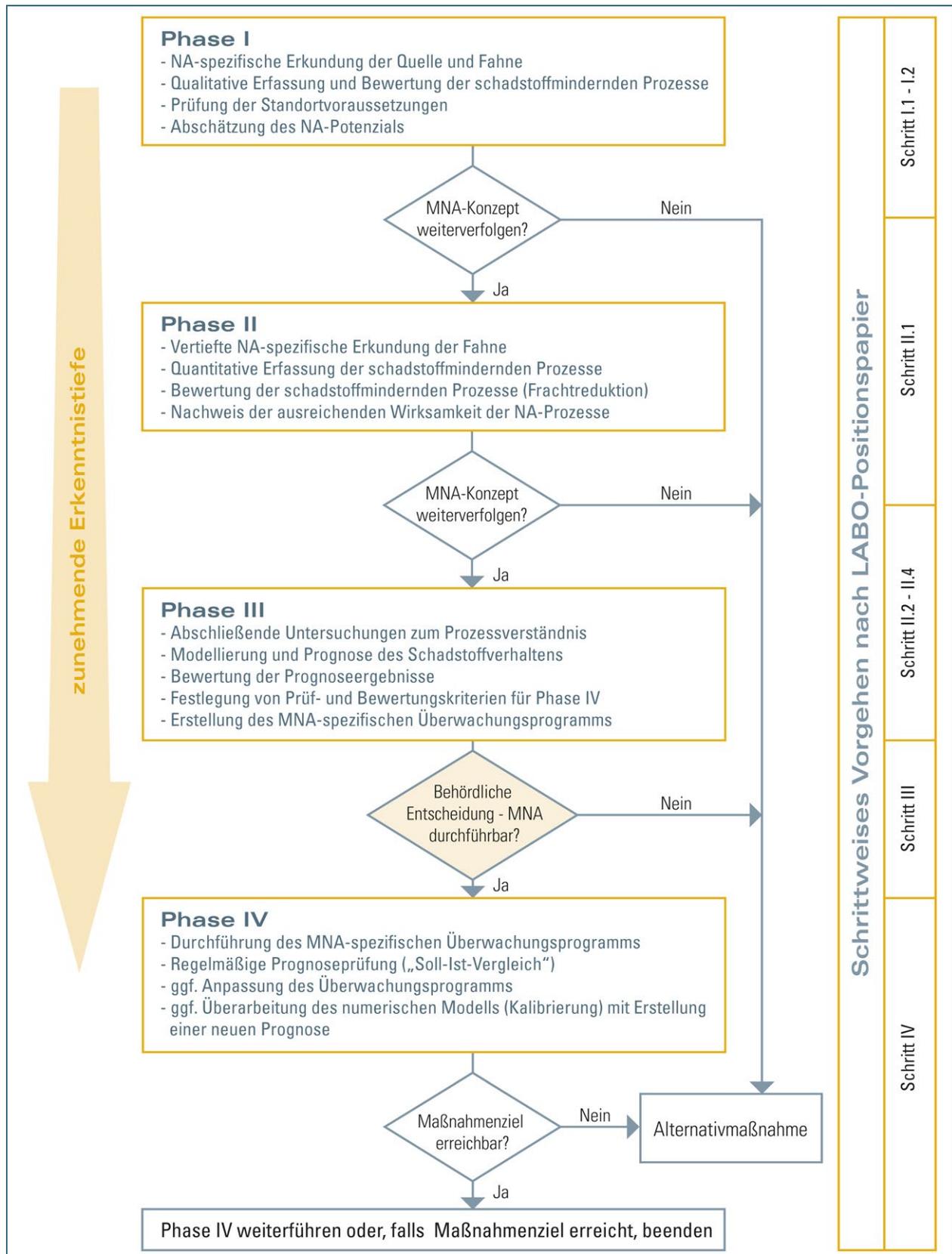


Abb. 1: Fließschema des MNA-Konzepts mit Darstellung der entsprechenden Schritte nach LABO-Positionspapier<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Zu Phase IV siehe auch Abb. 1, Anh. 2

## 4 Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Merkblatt werden Hinweise für die Erkundung, Bewertung und Überwachung von NA gegeben. Es gliedert sich in einen Textteil und vier Anhänge. In den Kapiteln 1 und 2 des Textteils werden Vorschläge zur Einbindung von NA in die Altlastenbearbeitung gegeben sowie die Rahmenbedingungen in rechtlicher und fachlicher Hinsicht beschrieben. Die phasenweise Durchführung der Erkundung, Bewertung und Überwachung schadstoffmindernder Prozesse ist in Kapitel 3 ausgeführt und als MNA-Konzept in Abb. 1 dargestellt.

In Anhang 1 werden Grundlagen der im Untergrund stattfindenden Prozesse, deren Verständnis für die Beurteilung von NA wesentlich ist, dargestellt.

Anhang 2 gibt Empfehlungen, wie nach derzeitigem Wissensstand, auf Schadstoffgruppen bezogen, durch praxisnahe Untersuchungen ein zielgerichtetes MNA-Konzept für die qualitative und quantitative Erfassung und Überwachung der Prozesse sowie zur Ermittlung der Prognose des zukünftigen Fahrenverhaltens erarbeitet werden kann. Der Untersuchungsumfang für den Einzelfall ist an den standortspezifischen Erfordernissen auszurichten.

In Anhang 3 sind, tabellarisch nach Themen geordnet, Methoden und Untersuchungsverfahren aus Anhang 2 sowie ergänzend weitere typische NA-Untersuchungen zusammengestellt, die bei der Bearbeitung eines MNA-Konzepts nach derzeitigem Wissensstand geeignet erscheinen. Diese Aufstellung umfasst Untersuchungen und Methoden zur Erkundung der Schadstofffahne und -quelle, Beurteilungshilfen zum hydrochemischen Grundwassermilieu sowie Nachweismethoden zum mikrobiellen Abbau.

Die Zusammenstellung der hier aufgeführten Methoden erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auswahl und Anwendung der Methoden sind immer auf den Einzelfall abgestimmt und in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielsetzung durchzuführen.

Die in den Anhängen 2 und 3 aufgeführten Untersuchungen, Beurteilungshilfen, Hinweise zu rechnerischen Abschätzungsmöglichkeiten und fachlich-methodischen Empfehlungen basieren u. a. auf Vollzugserfahrungen, auf Erkenntnissen aus dem BMBF Förderschwerpunkt KORA („Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden“), auf dem LABO Positionspapier (LABO 2009) sowie auch auf Ergebnissen und Erkenntnissen aus dem vom Bayerischen Arbeitskreis „Natürliches Reinigungsvermögen“ initiierten und fachlich begleiteten Bayerischen Forschungsverbundvorhaben "Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens" (BayFoNR, HANAUER ET AL. 2006, MARCZINEK ET AL. 2006, PRECHTEL ET AL. 2006, RÜTTINGER ET AL. 2006, WEBERT ET AL. 2006). Zudem sind aktuelle Erfahrungen von Ingenieurbüros eingeflossen.

Anhang 4 beinhaltet das Literatur- und Abkürzungsverzeichnis für alle Teile des Merkblatts.

### Impressum:

#### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0  
Telefax: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

#### Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

#### Bearbeitung:

Ref. 96 / Stefan Rüttinger

#### Bildnachweis:

LfU

#### Stand:

30. Juni 2015

