

Isotopenanwendung bei Wasserschäden



WASSER

GEOTHERMIE

MARKIERVERSUCHE

SCHADSTOFFE

FILTERTECHNIK

LEBENSMITTEL

NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

ISOTOPE

GASE

FESTSTOFFE

ANALYTIK

HYDROISOTOP GMBH
Woelkestraße 9
85301 Schweitenkirchen

Tel. +49 (0)8444 / 92890
Fax +49 (0)8444-928929
eMail info@hydroisotop.de
Web: www.hydroisotop.de

akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018

Isotopie & Chemie in Umwelthydrologie & Lebensmittel



Wasserschäden

Das Auftreten von Wasserschäden an Gebäuden ist nicht nur ärgerlich, darüber hinaus kann das eindringende Wasser auch beträchtliche Folgeschäden an der Bausubstanz nach sich ziehen. Außerdem begünstigen feuchte Flächen die Schimmelbildung, was sich negativ auf die Gesundheit der Hausbewohner auswirken kann. Um wirkungsvolle Maßnahmen gegen Wasserschäden einleiten zu können, ist es unumgänglich die spezifische Ursache des Schadens zu kennen.

Im Bereich der Umweltanalytik und Hydrologie ist die chemisch-isotopische Analyse von Wasser sowie der im Wasser gelösten Gase und Mineralien seit vielen Jahren angewandte Praxis. Die in der Umweltanalytik und Hydrologie verwendeten analytischen Verfahren und Bewertungsmuster lassen sich aufgrund ähnlich ablaufender Prozesse häufig auf durch Wasser verursachte Gebäudeschäden übertragen. Damit ist die Isotopenanalytik von Wasserschäden eine elegante, kaum invasive und meist kostengünstige Methode zur Herkunftsbestimmung.

Beim Auftreten von Wasserschäden, z.B. an Gebäuden, ist es häufig von Interesse, die genaue Schadursache zu kennen. Dabei kann eine Untersuchung des Schadwassers helfen herauszufinden, ob der Ursprung des Schadwasser auf Leitungs- oder Niederschlagswasser zurückzuführen ist.

Eine einfache und gängige Methode ist hier eine Analyse der stabilen Wasserisotope Deuterium ($\delta^2\text{H}$) und Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$), bei der das Schadwasser und die in Verdacht stehenden Wässer (Referenzproben) analysiert werden.

Allgemeine Grundlagen

Isotope sind Atome des gleichen chemischen Elements, besitzen aber eine unterschiedliche Neutronenzahl. So besteht zum Beispiel ein „herkömmliches“ Wasserstoffatom (^1H) aus einem positiv geladenen Proton (mit dem Atomgewicht ≈ 1 u) und einem negativ geladenen und deutlich leichteren Elektron (Atomgewicht $\approx 0,0005$ u). Folglich hat das Wasserstoffisotop ^1H ein Atomgewicht von etwa 1 u. Das viel seltener vorkommende Wasserstoffisotop Deuterium (^2H) enthält im Atomkern zusätzlich ein ungeladenes Neutron (Atomgewicht ebenfalls ≈ 1 u). Dementsprechend hat das Wasserstoffisotop Deuterium ein Atomgewicht von etwa 2 u.

Da die Isotope eines Elements meist sehr viel seltener sind als die „herkömmlichen“ Atome eines Elements hat es sich etabliert, die jeweiligen Isotopenhäufigkeiten in Isotopenverhältnissen (R) anzugeben. Dabei wird die Anzahl des selteneren Isotops ins Verhältnis zu der Anzahl des häufigeren Isotops gesetzt, im Fall des Wasserstoffs also $^2\text{H}/^1\text{H}$. Um verschiedene Isotopenverhältnisse miteinander vergleichen zu können, werden gemessene Isotopenverhältnisse einer Probe relativ zu dem Verhältnis eines Standards (für Wasser in der Regel das „Vienna Standard Mean Ocean Water“ - VSMOW) gesetzt und mit 1 subtrahiert. Daraus ergibt sich die sogenannte „ δ -Notation“, wobei diese, aufgrund der geringen Abweichungen und um handhabbare Werte zu erhalten, noch mit 1000 multipliziert wird und in ‰ angegeben wird:

$$\delta^2\text{H} = \left(\frac{R_{\text{Probe}}}{R_{\text{Standard}}} - 1 \right) * 1000 \quad (\text{‰})$$



Isotopenfraktionierung

Durch das unterschiedliche Atomgewicht verhalten sich Isotope physikalisch leicht anders. Dies führt bei Phasenänderungen (z.B. Verdunstung und Kondensation) zu einer Veränderung der Isotopenverhältnisse. So verdunsten aus einem Wasserkörper vorzugsweise Wassermoleküle mit leichten Isotopen, während sich die „schweren“ Moleküle im verbleibenden Wasserkörper anreichern. Diese Veränderungen der Isotopenverhältnisse bezeichnet man als „Isotopenfraktionierung“.

Generell und bei Wasser im Speziellen ist die Isotopenfraktionierung temperaturabhängig. Aus dem in unseren Breiten vorliegenden Jahresgang der Lufttemperatur resultiert daher ein Jahresgang der Isotopensignaturen im Niederschlag (Abbildung 1). So weist der Niederschlag in den kalten Wintermonaten deutlich negativere δ -Werte auf als in den wärmeren Sommermonaten.

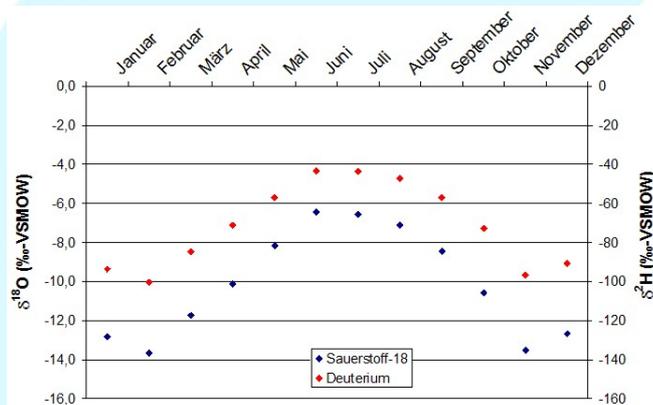


Abbildung 1: Jahresgang der Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte im Niederschlag in Schweitenkirchen, gemittelt aus Monatswerten der Jahre 1999 - 2015.

Auch regional unterscheiden sich die im Niederschlag vorliegenden Isotopenverhältnisse aufgrund von Temperatur, Höhenlage und Herkunft der niederschlagbringenden Luftmassen. Werden die Isotopenverhältnisse von Sauerstoff und Wasserstoff des Niederschlags im sogenannten Sauerstoff-18-Deuterium-Diagramm gegeneinander aufgetragen, streuen, trotz der großen Variation der Isotopenverhältnisse des Niederschlags weltweit, die entsprechenden δ -

Werte im Bereich einer Geraden, der mittleren globalen Niederschlagsgeraden (GMWL, Abbildung 2). Der Achsenabschnitt der GMWL von 10 (‰) wird als „Deuteriumexzess“ (d) bezeichnet (siehe Formel in Abbildung 2). Weicht der Deuteriumexzess einer Wasserprobe deutlich von 10 ‰ ab, liegt diese also unter oder oberhalb der GMWL, weist dies auf Phasenveränderungen des Wassers hin.

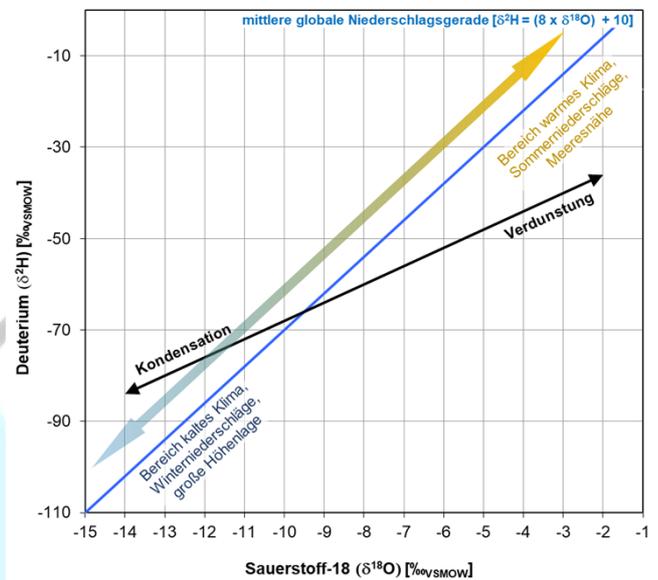


Abbildung 2: Sauerstoff-18-Deuterium Diagramm. Mit eingezeichnet ist die GMWL sowie Wertebereiche von unter unterschiedlichen Bedingungen gefallenen Niederschlägen und der durch diese Niederschläge gebildete Wasserreservoir, ebenso wie die typische Veränderung der Isotopensignaturen durch Verdunstung und Kondensation

Durch die Isotopenfraktionierung weisen Wasserkörper wie Grundwasser und das meist daraus gewonnene Leitungswasser regional unterschiedliche δ -Werte auf.

Wie die folgenden Beispiele zeigen, werden die aus den oben beschriebenen Effekten entstandenen unterschiedlichen Isotopensignaturen für die Bewertung der Herkunft und Veränderung von Wasser zu Hilfe genommen.



Probenahme

Probenahme: Benötigtes Probenvolumen und Probenart

Als Probenvolumen für die Isotopenanalyse der Wasserproben an einem modernen Massenspektrometer oder Laserabsorptionsspektroskop werden nur einige wenige Milliliter flüssiges Wasser benötigt. Liegt genügend freies Wasser vor, wird das Probenahmegefäß bei der Probenahme optimalerweise 2-3 mal mit dem Wasser ausgespült. Die Probenahme muss dabei mit sauberen Gefäßen aus zum Beispiel PE oder Glas vorgenommen werden.

Alternativ können auch Wischproben, bei denen zum Beispiel ein Wasserfilm mit einem sauberen und trockenen Papiertuch aufgenommen wurde, verarbeitet werden. Das Papiertuch muss dann nach der Probenahme luftdicht gegen Verdunstung geschützt (zum Beispiel in einem Fläschchen oder in einer Tüte eingeschweißt) verpackt werden.

Die Schadwassergewinnung kann alternativ auch aus zugesandten Materialproben erfolgen. Das Schadwasser kann dabei direkt aus durchfeuchtem Baumaterial, beispielsweise aus feuchtem Dämmmaterial, gewonnen werden. Auch hier müssen die Proben nach der Probenahme einzeln verpackt gegen Verdunstung geschützt werden. Im Labor wird dann das Schadwasser entweder durch unmittelbares Auspressen oder aber über Absorbergel aus dem Baumaterial extrahiert und auf dessen isotopische Zusammensetzung hin untersucht.

Ist die unmittelbare Gewinnung von flüssigen Schadwasserproben nicht möglich, weil die Feuchtigkeit in Bauteilen oder Baustoffen gebunden ist, können von uns die erforderlichen Utensilien zur Probengewinnung bereitgestellt werden. Dazu wird aufbereitetes Kieselgel in Kunststoff-Röhrchen gefüllt (Abbildung 6) und luftdicht verpackt an Sie verschickt.



Abbildung 6: Silikagel und Absorberröhrchen.

Diese Absorberröhrchen werden dann in Bohrlöchern in den feuchten Baustoff oder Bauteil - beispielsweise Mauerwerk - eingeführt und luftdicht abgeschlossen. Nach 10-14 Tagen hat das Kieselgel in der Regel ausreichend Feuchtigkeit absorbiert, sodass die Absorberröhrchen - wiederum luftdicht verschlossen - an uns zur Schadwassergewinnung und Analyse geschickt werden können. Im Labor wird das vom Silikagel aufgenommene Wasser isotopisch analysiert.

Bei verunreinigten Proben ist in der Regel eine Vorbehandlung, wie Filtration oder eine wiederholte Behandlung mit Aktivkohle vonnöten, um diese anschließend isotopisch analysieren zu können. Häufig sind auch abhängig von der Probenmatrix pH-Wert-Stabilisierungen der Wasserproben notwendig.



Fallbeispiele

Durch die Übereinstimmung oder Abweichung der Isotopensignaturen von Schadwasser und Referenzwasser kann häufig die Ursache von Wasserschäden eingegrenzt werden. Auch Verdunstungsprozesse, welchen das Wasser aus Wasserschäden charakteristischerweise unterliegt und welche zu einer Isotopenfraktionierung im Schadwasser führen, müssen dabei berücksichtigt werden. Die Rückprojektion des Deuterium-Sauerstoff-18-Wertepaares entlang einer Verdunstungsgeraden (typischerweise mit der Steigung 4) auf die mittlere globale Niederschlagsgerade lässt häufig Rückschlüsse auf die Herkunft des Schadwassers und damit der Ursache des Wasserschadens zu.

Beispiel 1: Wo kam das Wasser in die Lokomotive?

Nach der Revision einer Diesellok kam es zu einem Motorschaden infolge von Wasser im Dieselmotorkreislauf. Die Recherchen des Auftraggebers ergaben, dass es sich bei dem Wasser nur um fälschlicherweise eingebrachtes Leitungswasser handeln konnte. Die Frage war nun: Wo kam das Wasser in die Lokomotive: am Ort der Revision oder nach dem Transfer am geplanten Einsatzort?

Die Signaturen der beiden untersuchten Leitungswässer der in Frage kommenden Orte liegen wie erwartet auf der mittleren Niederschlagsgeraden. Aufgrund der deutlich unterschiedlichen Gewinnungsgebiete der beiden Leitungswässer (Bodenseewasser, d.h. Niederschlag der Alpen, und Talsperrenwasser aus Westdeutschland, d.h. feucht-mildes Atlantikklima) unterscheiden sich jedoch die Isotopensignaturen der beiden Leitungswasserproben deutlich voneinander (Abbildung 3).

Die aus dem Kraftstoffkreislauf der Lokomotive gewonnenen Wasserproben liegen ebenfalls im Bereich der GMWL, Evaporationseffekte sind somit ausgeschlossen.

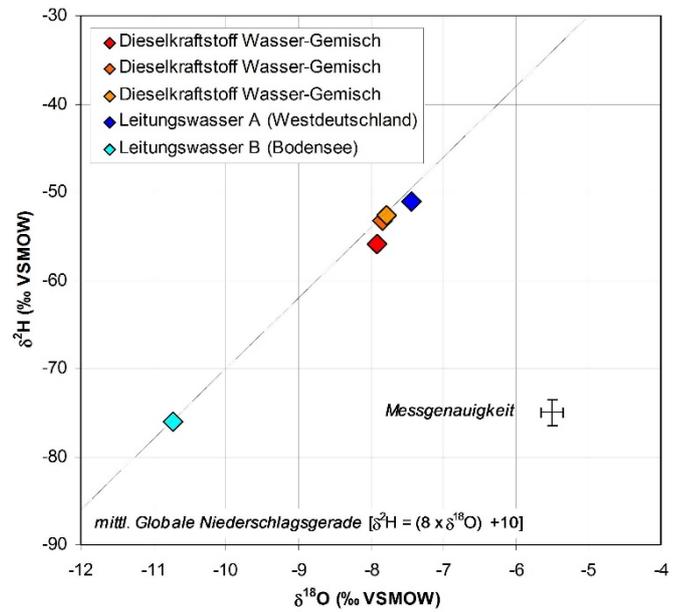


Abbildung 3: Darstellung von Sauerstoff-18 in Abhängigkeit von Deuterium. Mit dargestellt ist die mittlere globale Niederschlagsgerade der Relation $[\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10]$.

Die Signaturen der Schadwasserproben liegen zudem allesamt weit abseits der Probe des Leitungswassers vom Bodensee, welches darum als Schadensursache eindeutig ausgeschlossen werden kann. Die geringen, aber zum Teil signifikanten Abweichungen der Schadwasserproben von der Leitungswasserprobe aus Westdeutschland wurden auf Wechselwirkungen der Wasserisotope mit dem Dieselmotorkreislauf, insbesondere bei dessen Erwärmung, erklärt. Nichtsdestotrotz spiegelt die relativ große Übereinstimmung der Isotopenwerte die Herkunft des Schadwassers aus Westdeutschland wider und klärte so den Schadensort der Lokomotive.

Beispiel 2: Veränderung durch Verdunstung

Mehrere Räume im Erdgeschoss eines Gebäudes in Oberbayern zeigten Nässe im Fußbodenaufbau. Dabei war unklar, ob das Schadwasser durch Leitungswasser oder aber durch eindringenden Niederschlag verursacht wurde.



Fallbeispiele

Als Proben wurden Wischproben aus den Räumen sowie eine Probe des Leitungswassers aus dem betroffenen Objekt als Referenz genommen.

Die Wertepaare aller untersuchten Wasserproben unterscheiden sich signifikant von einander (Abbildung 4). Während die Leitungswasserprobe nahe der mittleren globalen Niederschlagsgeraden in einem Bereich liegt, welcher gut durchmischtem lokalem Grundwasser entspricht, liegen die Wertepaare der Schadwasserproben deutlich unterhalb der Niederschlagsgeraden.

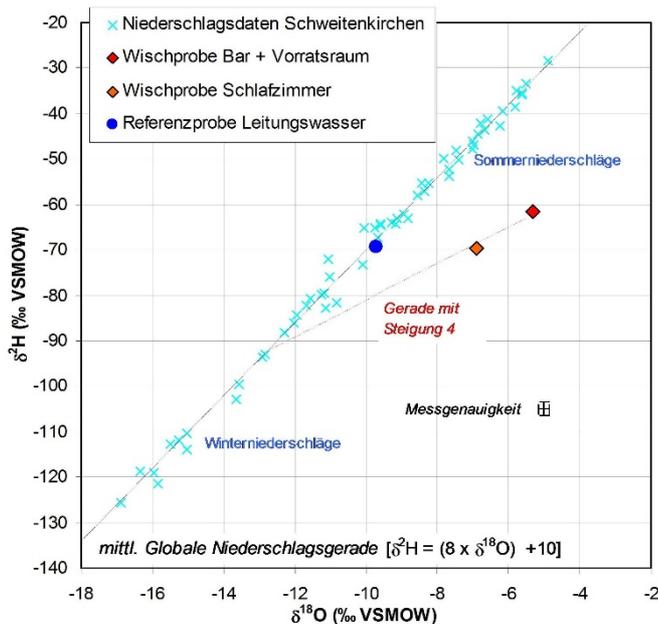


Abbildung 4: Darstellung von Sauerstoff-18 in Abhängigkeit von Deuterium der Proben aus Oberbayern. Mit dargestellt sind Niederschlagsdaten aus Schweitenkirchen sowie die mittlere globale Niederschlagsgerade der Relation $[\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10]$.

Mit der deutlichen Positionierung der Wertepaare unterhalb der GMWL und den negativen Deuteriumexzessen vom -3,9 ‰ und -14,7 ‰ zeigten die Isotopensignaturen die für Schadwasserproben häufig beobachtbaren Anzeichen isotopenfraktionierender Verdunstungseffekte. Die Projektion der Schadwasserproben entlang einer Geraden der Steigung 4 („Verdunstungsgerade“) auf die GMWL zeigt, dass beide Schadwasserproben auf der gleichen Geraden liegen.

Das offenbart, dass beide Schadwasserproben sehr wahrscheinlich auf die gleiche Schadensursache zurückzuführen sind.

Die gemeinsame Projektion der Schadwasserproben auf die Niederschlagsgerade liegt deutlich unterhalb der Signatur des Leitungswassers. Das Leitungswasser konnte daher als Ursache für den Schaden eindeutig ausgeschlossen werden. Vielmehr liegt die Projektion der Schadwasserproben in einem Bereich, welcher Niederschlägen aus den kühlen Wintermonaten entspricht. Die Ursache für das Wasser im Fußbodenaufbau wird daher auf eindringenden Niederschlag zurückgeführt.

Beispiel 3: Mehrere Schadensursachen

In einem öffentlichen Gebäude wurden in mehreren Räumen, über mehrere Stockwerke verteilt, feuchte Stellen im Mauerwerk und sogar Tropfstellen angetroffen. Als Schadensursache kamen sowohl Leitungs- bzw. Heizungswasser, als auch Niederschlag sowie eine Mischung der verschiedenen Wässer in Betracht. Für die Isotopenuntersuchungen wurden darum neben zwei Schadwasserproben (Tropfprobe und feuchtes Mauerwerk) Referenzproben des Leitungs- und Heizungswassers aus dem betroffenen Gebäude zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurde noch eine Probe eines Niederschlags genommen, nach welchem sich die Feuchte im Objekt ausgebreitet zu haben schien. Aus der Mauerwerksprobe wurde das Wasser für die Isotopenanalyse mittels thermischer Extraktion (siehe unten, Abschnitt „Benötigtes Probenvolumen und Probenart“) gewonnen und aufbereitet. Die Deuterium-Sauerstoff-18-Wertepaare sind in Abbildung 5 dargestellt.

Die Isotopensignatur des Leitungswassers liegt wie zu erwarten nahe der mittleren Niederschlagsgeraden. Die Isotopensignatur der Heizungswasserprobe ist praktisch identisch. Dies



Fallbeispiele und Kostenabschätzung

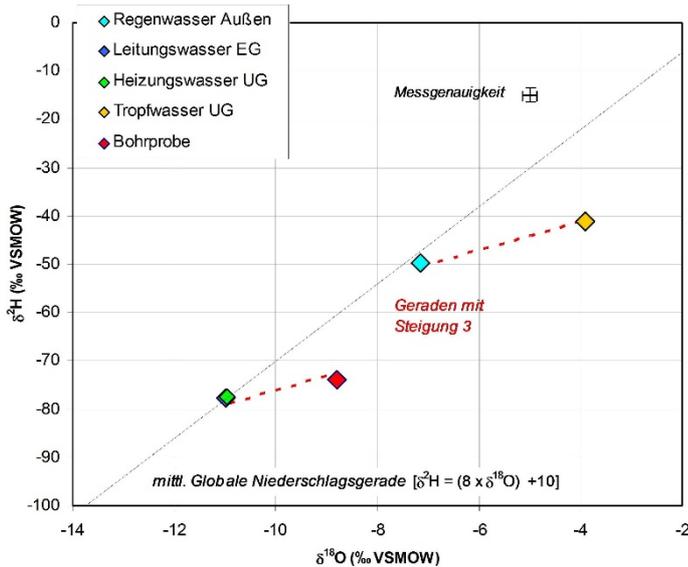


Abbildung 5: Darstellung von Sauerstoff-18 in Abhängigkeit von Deuterium. Mit dargestellt ist die mittlere globale Niederschlagsgerade der Relation $[\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10]$.

zeigt, dass das Heizungswasser mit Leitungswasser aufgefüllt wurde. Das Wertepaar der zur Verfügung gestellten Referenzprobe des Niederschlags liegt ebenfalls nahe der Niederschlagsgeraden, allerdings in einem Bereich deutlich oberhalb des Leitungs- und Heizungswassers.

Die Isotopensignaturen der beiden Schadwasserproben unterscheiden sich signifikant voneinander, kommen aber beide unterhalb der Niederschlagsgeraden zu liegen. Mit negativen Deuteriumexzessen von $-3,6\text{‰}$ bzw. $-9,7\text{‰}$ zeigen beide Schadwasserproben typischen Anzeichen isotopenfraktionierender Verdunstungsprozesse.

Werden die beiden Schadwasserproben entlang von Geraden mit der Steigung 3 (entsprechend verdunstungsbedingter Isotopenfraktionierung bei verdunstungsfördernden Bedingungen) auf die Niederschlagsgerade projiziert, ergibt sich für das Schadwasser aus der Bohrprobe eine Herkunft nahe der Referenzproben des Leitungs-

und Heizungswassers. Hier könnte also eine Herkunft des Schadwassers aus einer dieser Ursachen angenommen werden. Aufgrund der großen Ähnlichkeit der Isotopensignaturen von Leitungs- und Heizungswasser konnte eine weitergehende Unterscheidung der Ursache ausschließlich anhand der Isotopensignaturen nicht vorgenommen werden.

Die Rückprojektion der Schadwasserprobe „Tropfwasser UG“ entlang einer Geraden mit der Steigung 3 liegt im Bereich der Referenzprobe des Niederschlags. Dieses Schadwasser konnte damit auf eindringenden Niederschlag zurückgeführt werden. Eine Mischung der unterschiedlichen Schadwässer konnte nicht festgestellt werden. Im Gebäude lagen somit mehrere Schadensursachen vor.

Kostenabschätzung:

Die Kosten für die Analyse einer Wasserprobe auf Deuterium und Sauerstoff-18 liegen bei ca. 100,- €. Muss das Schadwasser erst aus Silikagel oder gar Baumaterial extrahiert und gegebenenfalls aufbereitet werden, erhöhen sich die Kosten entsprechend. Zusätzlich zur Schadwasserprobe werden für eine umfassende Interpretation noch Referenzproben der vermuteten Ursachenwässer benötigt. Für einfache Fälle mit 1 - 3 Proben können inkl. Schadensbericht so Kosten in Höhe von ca. 500,- € bis 800,- € angesetzt werden. Kompliziertere Fälle erfordern oft einen entsprechend größeren Probenumfang und eine komplexere Interpretation der Ergebnisse, welches sich dann in höheren Kosten widerspiegelt.



Kostenabschätzung

Allerdings können gerade Durchnässungsschäden schnell hohe Folgekosten verursachen. Das vorgestellte Verfahren kann die Bestimmung der Schadensursache deutlich vereinfachen und somit die Zuordnung der Verantwortlichkeiten ermöglichen. Es stellt daher, gegebenenfalls in Ergänzung zu herkömmlichen Leckortungsverfahren und Analysemethoden, eine wertvolle und vergleichsweise kostengünstige Hilfestellung im Schadensfall dar.