

# Isotopenmethoden zur Ursachenfeststellung bei Wasserschäden

## Mittels isotopischer Untersuchung zur Ursache für den Wasserschaden

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. Darüber hinaus begünstigen feuchte Flächen die Schimmelbildung, was sich negativ auf die Gesundheit der Hausbewohner auswirken kann.

Um wirkungsvolle Maßnahmen gegen Wasserschäden treffen zu können, ist es unumgänglich die spezifische Ursache zu kennen. Im Bereich der Umweltanalytik und Hydrologie ist die chemisch-isotopische Analyse von Wasser und der im Wasser gelösten Gase und Mineralien seit vielen Jahren angewandte Praxis.

Die in der Umweltanalytik und Hydrologie angewendeten analytischen Verfahren und Bewertungsmuster lassen sich bei durch Wasser verursachten Gebäudeschäden aufgrund der ähnlich ablaufenden Prozesse häufig übertragen und bieten so eine elegante und meist kostengünstige Analyse der den Schaden verursachenden Vorgänge. In diesem Artikel wird an einem Beispiel aufgezeigt, wie über die isotopische Untersuchung des Wassers aus einem Gebäudeschaden die Herkunft des Wassers und damit die Ursache für den Wasserschaden ermittelt werden konnte. Dabei wird zu Beginn das für die Auswertung benötigte Basiswissen kurz erläutert.

### GRUNDLAGEN

Isotope sind Atome des gleichen Elements mit unterschiedlicher Neutronenzahl. Zum Beispiel besteht ein „herkömmliches“ Wasserstoffatom ( $^1\text{H}$ ) aus einem positiv geladenen Proton (mit dem Atomgewicht  $\approx 1$  u) und einem negativ geladenen und deutlich leichterem Elektron (Atomgewicht  $\approx 0,0005$  u). Das viel seltener vorkommende Wasserstoffisotop Deuterium ( $^2\text{H}$ ) enthält im Atomkern zusätzlich ein ungeladenes Neutron (Atomgewicht ebenfalls  $\approx 1$  u).

Da die Isotope eines Elements häufig 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 der selteneren Isotope ins Verhältnis zu der Anzahl der häufigeren Isotope gesetzt, im Fall des

Wasserstoffs also  $^2\text{H}/^1\text{H}$ . Um verschiedene Isotopenverhältnisse miteinander vergleichen zu können, werden gemessene Isotopenverhältnisse 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 „ $\delta$ -Notation“, wobei diese, aufgrund der geringen Abweichungen und um handhabbare Werte zu erhalten, noch mit 1000 multipliziert wird und in ‰ angegeben wird:

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

Durch die gleiche Ladung verhält sich ein Isotop chemisch gleich wie die anderen Atome eines Elements, d.h. es geht die gleichen chemischen Verbindungen mit den Atomen anderer Elemente ein. Da aber Isotope ein anderes Atomgewicht besitzen,

verhalten sie sich physikalisch leicht anders. Dies führt zum Beispiel bei Phasenänderungen (z.B. Verdunstung und Kondensation) zu einer Veränderung der Isotopenverhältnisse. So verdunsten z.B. aus einem Wasserkörper vorzugsweise die Wassermoleküle mit leichten Isotopen, während sich Wassermoleküle, die zum Beispiel  $^2\text{H}$  statt  $^1\text{H}$  enthalten oder  $^{18}\text{O}$  statt dem herkömmlichen  $^{16}\text{O}$ , in dem verbleibenden Wasserkörper anreichern. Diese Veränderungen der Isotopenverhältnisse bezeichnet man als „Isotopenfraktionierung“.

Generell und bei Wasser im Speziellen ist die Isotopenfraktionierung durch Temperatur gesteuert. Aus dem in unseren Breiten vorliegendem Jahresgang der Lufttemperatur resultiert daher auch ein Jahresgang der Isotopensignaturen im Niederschlag (Abbildung 1). So weist der Niederschlag in den kalten Wintermonaten deutlich negativere  $\delta$ -Werte auf als in den wärmeren

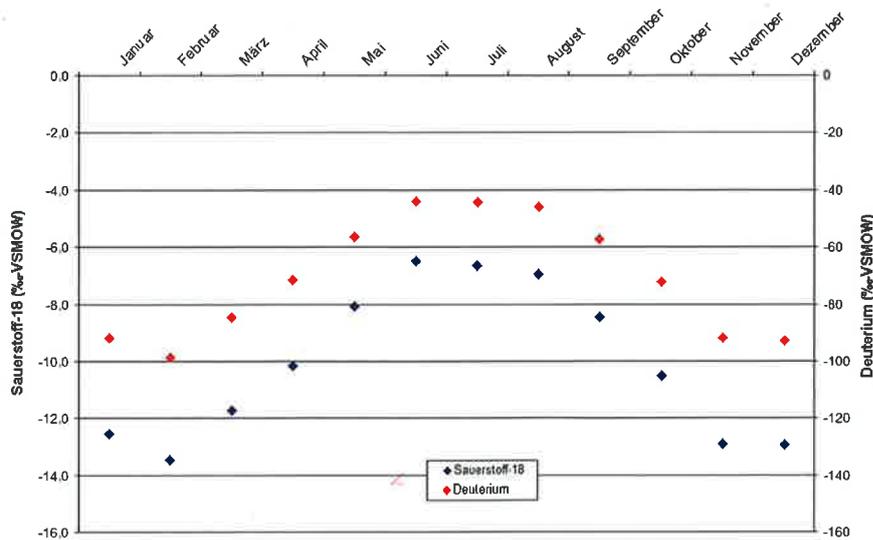


Abbildung 1: Jahresgang der Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte im Niederschlag in Schwei-tenkirchen, gemittelt aus Monatswerten der Jahre 1999 – 2013.

Sommermonaten. Auch regional unterscheiden sich die im Niederschlag vorliegenden Isotopenverhältnisse aufgrund der Temperatur, Höhenlage und Herkunft der Niederschlag bringenden 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  $\delta$ -Werte im Bereich einer Geraden  $\delta^2H = 8 \cdot \delta^{18O} + 10$ , der sogenannten globalen mittleren Niederschlagsgeraden (GMWL). Der Achsenabschnitt der GMWL von 10 (‰) wird als „Deuteriumexzess“ ( $d$ ) bezeichnet. Weicht der Deuteriumexzess  $d$  einer Wasserprobe deutlich von 10 ‰ ab weist dies auf Phasenveränderungen (Verdunstung: niedrigere  $d$ -Werte, Kondensation: höhere  $d$ -Werte) der Wasserprobe hin.

In den Untergrund versickernder Niederschlag stellt die Neubildung von Grundwasser dar. Dabei vermischen sich im Grundwasser die Isotopensignaturen des Niederschlags zu einem Mittelwert, welcher dem langjährigen Jahresmittelwert der Isotopenverhältnisse des Niederschlags entspricht und somit meist nahe der GMWL liegt. Je länger ein Grundwasser im Untergrund verbleibt und je weniger Einfluss von Oberflächengewässern und oberflächennah fließendem Grundwasser besteht, desto konstanter sind dessen  $\delta$ -Werte.

In weiten Teilen Österreichs, z.B. Großraum Linz und Salzburg, wird das Leitungswasser aus solchen Grundwasser-vorkommen gewonnen, welche aufgrund der relativ hohen Verweilzeit des Wassers im Untergrund zeitlich konstante  $\delta$ -Werte aufweisen.

Im inneralpinen Raum sowie in den Tälern der Voralpen wird dagegen das Trinkwasser meist aus Quellen gewonnen (z.B. Vorarlberg,

Tirol, aber auch Wien). Diese Quellen werden meist durch das Wasser der

Alpengletscher und somit eher aus Winterniederschlägen gespeist, welches sich durch charakteristische  $\delta$ -Werte ausweist.

### FALLBEISPIEL

Von 2013 - 2014 wurde in Oberösterreich der Neubau eines Schulgebäudes errichtet. Das Gebäude ist nicht unterkellert, besteht aus EG und OG und ist mit einer Flachdachkonstruktion überbaut (Abbildung 2). In der Küche EG kam es während der Inbetriebnahme eines Warmwasserspeichers im Juni 2014 zu einem Leitungswasserschaden. Im Zuge der Instandsetzungsarbeiten wurden im gesamten Gebäude im Bereich der Fußbodenkonstruktion auf der Bauwerksabdichtung stehendes Wasser und Durchfeuchtungen festgestellt. Weitere Wassereintritte wurden bei den folgenden Leckortungsarbeiten in verschiedenen Verrohrungen in Revisions-schächten und Technikräumen entdeckt. Da die eingesetzten Leckortungsverfahren



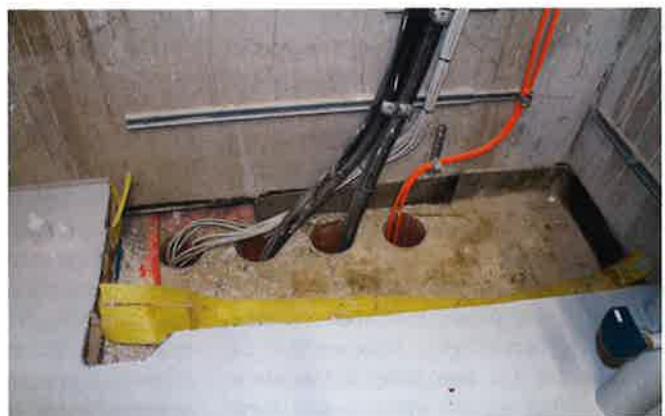
Abbildung 2: Schulgebäude mit Anbau (Bestand rechts): Schadenort Fußboden EG ca. Bildmitte, stehendes Wasser auf Abdichtung der Bodenplatte im gesamten Gebäude.

keine eindeutigen Hinweise auf die Schadensursache liefern konnten und eine Durchfeuchtung des Fußbodenaufbaues im gesamten Gebäude durch das aus einem 25l-Speicher ausgetretene Wasser als unwahrscheinlich erschien, wurden Wasser- und Feststoffproben sowohl der verschiedenen Schadwässer als auch der durchfeuchteten Baustoffe, insbesondere aus dem Fußbodenaufbau, entnommen (Abbildung 3).

Aus den Feststoffproben wurde das Wasser vollständig thermisch extrahiert. An den Wasserproben wurden die  $\delta$ -Werte der Sauerstoff- und Wasserstoffisotopen bestimmt.

Diese wurden zur besseren Interpretation grafisch dargestellt (Abbildung 4). Durch Fraktionierungsprozesse veränderte Isotopenwerte liegen nicht auf der GMWL, sondern rechts (Verdunstung) oder links (Kondensation) davon. Zur Rekonstruktion,

Abbildung 3: Beispiele Probenahme: Schüttung unter Estrich (unten), Gipskartonplatten (rechts oben), stehendes Wasser aus Elektroverrohrungen (rechts unten).



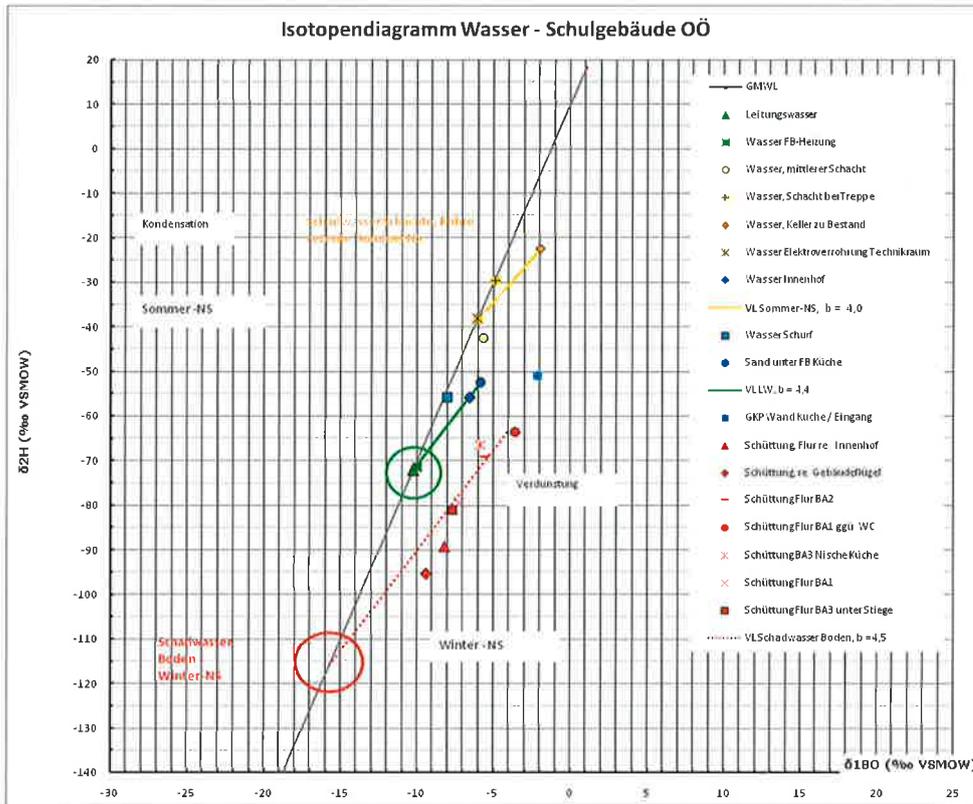


Abbildung 4: Grafische Darstellung der Sauerstoff-18 – und Deuterium – Isotopenverhältnisse sowie der GMWL (Globale meteorische Wasserlinie).

von welchem Wasser das Schadwasser ursprünglich abstammt, werden Verdunstungs- bzw. Kondensationsgeraden berechnet. Aus deren Schnittpunkt mit der GMWL erhält man das ursprüngliche Schadwasser.

Die Steigungen dieser Geraden hängen von Luftfeuchtigkeit und Temperatur während der Isotopenfraktionierungsprozesse ab. Darüber ist meist wenig bekannt, und diese Parameter unterliegen gerade bei Neubauten starken Schwankungen. Statt eines exakten „Schnittpunktes“ erhält man daher unter Einbeziehung baupraktischer Erfahrungen einen „Schnittbereich“, d.h. einen wahrscheinlichen Wertebereich für das ursprüngliche Schadwasser.

Wie zu erwarten, liegen die Werte für das Leitungswasser und das Wasser der Fußbodenheizung eng beieinander auf der GMWL (grüne Markierung).

Die Isotopenverhältnisse der Proben aus den Schächten / der Elektroverrohrung (gelbe Markierungen) weisen deutlich höhere  $\delta^2\text{H}$  und  $\delta^{18}\text{O}$  - Werte auf, die typisch für Niederschläge der warmen Jahreszeit sind. Diese Wasserproben stammen wahrscheinlich von unterschiedlichen rezente Sommerniederschlägen. Insbesondere die Wasserprobe aus dem Keller hat deutliche Verdunstungsverluste erlitten, was durch

den Ortsaugenschein (Wasser stand ursprünglich ca. dreimal so hoch wie während der Probenahme) bestätigt werden konnte.

Als Ursache wurden in der Folge vor Ort nicht verschlossene Leerrohre gefunden, durch die das Niederschlagswasser von außen eintreten konnte.

Die Isotopenwerte des oberflächennahen Grundwassers (Probe „Schurf“, blaue Markierungen) ähneln denen des Leitungswassers. Um das Gebäude befindet sich stark bindiger Boden, der Wasser nur schlecht versickern lässt.

Anhand der Isotopenwerte konnte daher nicht unterschieden werden, ob die im Sand aus dem Fußbodenaufbau der Küche angetroffene Feuchtigkeit auf Leitungswasser oder oberflächennahes Grundwasser / Mischungen aus verschiedenen Niederschlägen oder Mischungen aus beidem zurückzuführen ist. Jedenfalls besteht eine gute Korrelation zum Leitungswasser. Die Werte der Schadwasserproben aus dem Fußbodenaufbau (rote Markierungen) liegen alle rechts von der GMWL, d.h. sie haben Verdunstungsverluste erlitten. Dieses Schadwasser befand sich schon längere Zeit im Gebäude.

Rezente Leitungs- oder Niederschlagswassereintritte als Ursache für die Feuchtig-

keit im Fußbodenaufbau konnten daher mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Die – im Vergleich zum Leitungswasser – deutlich niedrigeren  $\delta^2\text{H}$  und  $\delta^{18}\text{O}$  - Werte des Wassers, von dem das Schadwasser ursprünglich abstammt (rote Markierung  $\delta^{18}\text{O} \sim -15$ ,  $\delta^2\text{H} \sim -115$ ), sind typisch für Winterniederschläge / Schnee. Im betreffenden Zeitraum Winter 2013/2014 wurden in der Region insbesondere im Januar 2014 ähnliche Niederschlagswerte gemessen.

Das Schadwasser im Fußboden konnte mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Eintritt von Niederschlagswasser während des Winters 2013/2014 zurückgeführt werden.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass es sich für die festgestellten Durchnässungen / Durchfeuchtungen bei den einzelnen betroffenen Bauteilen um drei kausal unterschiedliche Schadensursachen handelte:

- rezente Sommerniederschläge, die aufgrund unverschlossener Leerverrohrungen eingedrungen sind
- Leitungswasserschaden in der Küche
- Winterniederschläge, die bereits während der Rohbauphase in das Gebäude / den Fußboden eingedrungen sind

### KOSTEN:

Für einfache Fälle mit wenigen Proben können Kosten von ca. € 500 - € 1.000, angesetzt werden. Kompliziertere Fälle, wie das o.a. Beispiel, erfordern entsprechend umfangreichere Probenahmen und die Interpretation der Ergebnisse im Zusammenhang mit den vor Ort erhobenen, oft komplexen Sachverhalten oder Ergebnissen anderer Analyseverfahren.

Gerade Durchnässungsschäden können schnell hohe Folgekosten verursachen. Das vorgestellte Verfahren erleichtert die Bestimmung der Schadensursache und somit die Zuordnung der Verantwortlichkeiten. Es stellt daher, ggf. zusätzlich zu herkömmlichen Leckortungsverfahren, eine wertvolle und relativ kostengünstige Hilfestellung im Schadensfall dar.

Autoren: Dr. Stephan Huxol, Hydroisotop GmbH., Dr. Kerrin Lessel, SSP-ZT GmbH, Seekirchen am Wallersee  
Ansprechpartner: Dr. Wolfgang Gugler, wolfgang.gugler@sterkl.com

[www.sterkl.com](http://www.sterkl.com)  
[www.hydroisotop.de](http://www.hydroisotop.de)