Getreidesilos aus verzinktem Stahl

Die ökologische Lösung

Technische Information
für Behörden, Gemeinden, Planer und Bauherren

Stahl Wirtschaftsvereinigung Stahl
[InitiativeZink Zn30]
WVMETALLE

1 Einführung

Einzelsilos und Siloanlagen aus Stahlblech ermöglichen die wirtschaftliche und hygienische Lagerung von Getreide während seiner Nutzung und Verarbeitung. Der Einsatz bandverzinkter Bleche für Zylinder und Dachflächen stellt einen wirksamen Korrosionsschutz und damit eine lange Lebensdauer der Silos und Anlagen sicher.

Während die Vorteile von Metallen im Hinblick auf ihre ökobilanziellen Eigenschaften und Recyclingfähigkeit zumeist bekannt sind, gibt es bezüglich der Wirkungen von Metallen beim Einsatz unter Witterungsbedingungen immer wieder Informationsdefizite.

Die vorliegende Unterlage gibt Behörden, Gemeinden, Planern und Bauherren Hilfestellung bei der Bewertung der tatsächlichen Umweltwirkungen. Sie verdeutlicht die technischen Zusammenhänge der Witterungseigenschaften von Zinkoberflächen und die Wirkung von Zink in Oberflächengewässer, Böden und Grundwasser. Darüber hinaus informiert sie über die rechtlichen Grundlagen für die ortsnahe Versickerung von Niederschlagswasser sowie dessen Einleitung in das Grundwasser.

Abb. 1: Einzelsilo als Vorratsspeicher eines landwirtschaftlichen Betriebs

Abb. 2: Siloanlage zur Lagerung von Gerstenmalz in einer Brauerei

2 Getreide-Siloanlagen

Einsatzbereiche

Getreide-Siloanlagen dienen der Lagerung von Getreide in Landwirtschaft, Landhandel und Getreide verarbeitender Industrie, z. B. Mehlmühlen, Brauereien, Futtermittelhersteller, etc., wie auch der Zwischenlagerung während des Transports, z. B. in Häfen. Darüber hinaus kommen solche Silos auch zur Lagerung von Holzpellets bei der Holzpelletherstellung und bei Großheizanlagen für Verbrauchermärkte, Gärtnereien und Nahwärmenetzen zum Einsatz.

Früher wurde das Getreide in der Regel bei den Landwirten direkt auf dem Hof auf Bühnen gelagert. Im Zuge der Vergrößerung der landwirtschaftlichen Betriebe erfolgte die Lagerung zunehmend in Hallen oder in Holz- bzw. Betonsilos, die sowohl innen als auch außen aufgestellt wurden. Bei den heutigen Betriebsgrößen und den Eigenschaften aktueller Werkstoffe sind Stahlsilos für die Innen- und Außenaufstellung zumeist die wirtschaftlichste Lösung zur fachgerechten Lagerung von Getreide.

Ausführungen

Stahlsilos werden weltweit von zahlreichen Produzenten hergestellt und angeboten. Sie finden als Einzelsilos, aber auch in komplexen Siloanlagen Verwendung, **Abb. 1 und 2**. Mit modernen Stahlsorten kann bei relativ geringem Materialeinsatz kostengünstig und auf technisch ideale Weise Lagerraum für Getreide geschaffen werden. Ein langlebiger Korrosionsschutz ist durch die beidseitige Verzinkung der verwendeten Stahlbleche sichergestellt.

Gefertigt wird der Körper bzw. Zylinder eines Silos aus einzelnen bandverzinkten Stahlblechen. Diese werden in der Regel in gewellter Ausführung, in einigen Fällen auch ungewellt als glatte Bleche eingesetzt. Eine entsprechende Anzahl von Blechen wird zu einem Ring verschraubt, wor-

aus sich Durchmesser und Grundfläche des Silos ergeben. Für das gewünschte Volumen werden entsprechend viele Ringe übereinander montiert.

Das Dach des Silos besteht aus Stahlblechsegmenten, die den Zylinder nach oben wasserdicht, jedoch nicht luftdicht abschließen. Die Dachbleche haben entweder ebenfalls einen Zink- oder einen Aluminium-Zink-Überzug. Optional werden diese Bleche zusätzlich farblich beschichtet.

Zur Aufnahme der vertikalen Lasten aus Eigengewicht des Dachs, Schnee sowie Befüll- und Entleervorgang werden Stützen an die Silos gebaut. Die aus Stahlblech gekanteten Stützen sind abhängig von der Dicke band- oder stückverzinkt.

Größen

Stahlsilos werden in Größen zwischen 5 m^3 und inzwischen bis über 40.000 m^3 errichtet. Silos dieser Größen haben eine runde Grundfläche mit Durchmessern zwischen 1,70 m und bis über 40 m. Die am häufigsten genutzte Siloform ist zylindrisch mit einem flachen Boden, da diese Variante ein optimales Verhältnis zwischen Wirtschaftlichkeit und Lagerkapazität bietet. In Einzel- oder Sonderfällen werden auch eckige Silos mit quadratischer oder rechteckiger Grundfläche sowohl für die Innen- als auch zur Außenaufstellung eingesetzt.

Des Weiteren gibt es Getreide-Stahlsilos, an denen direkt ein Trichter zum einfacheren Entnehmen des Getreides montiert ist. Die Trichter sind mit Auslaufneigungen für unterschiedliche Schüttgüter zwischen 27 und 67 Grad erhältlich.

3 Niederschlagswasser

Entwässerung von Getreide-Siloanlagen

Das auf den Silodächern und an den -zylindern anfallende Niederschlagswasser wird üblicherweise ortsnah, d. h. in der unmittelbaren Umgebung der Silos versickert. Anzeige- bzw. Genehmigungspflichten und eventuelle Auflagen sind in Landeswassergesetzen oder in eigenen Niederschlagswasserfreistellungsverordnungen der Bundesländer definiert (siehe auch Abschnitt 6, Rechtliche Grundlagen). Bei Siloanlagen, die an Wasserläufen wie Flüssen und Kanälen oder Hafenbecken errichtet werden, ist unter bestimmten Voraussetzungen auch eine Einleitung des Niederschlagswassers in diese zulässig (Abschnitt 5, Rechtliche Grundlagen).

4 Zinkabschwemmungen

Chemismus und Mechanismus der Abschwemmungen

Als Zinkabschwemmung wird die (geringe) Menge an Zink bezeichnet, die von der Oberfläche eines verzinkten Bauteils, das der Atmosphäre ausgesetzt ist, durch Niederschlagswasser „abgewaschen“ wird und damit in die Umwelt gelangt. Grundsätzlich muss unterschieden werden zwischen Korrosion und Abschwemmung. Korrosion ist der Prozess, bei dem an der Bauteiloberfläche unter Einfluss von Wasser, Luftsauerstoff und Kohlendioxid Zink oxidiert wird. Dabei bildet sich an der Oberfläche eine „Patina“ aus verschiedenen Zinkverbindungen. Abschwemmung findet demgegenüber an der Oberfläche der Patina statt, also an der Grenzfläche zwischen Patina und Atmosphäre. Die Zinkionen aus der Patina werden zu einem geringen Teil im Niederschlagswasser gelöst und von der Oberfläche entfernt. Sobald sich die Patina gebildet hat, verlangsamt sich der Korrosionsprozess an der Grenzfläche zwischen Metall und Patina deutlich, da die oxidierenden Bestandteile dann durch die Patina durchdiffundieren müssen, um an die Metalloberfläche zu gelangen. Nach längerer Zeit gleichen sich die Geschwindigkeiten

Exkurs 1: Vorteile ortsnaher Niederschlagswasserversickerung

Niederschlag ist Teil des natürlichen Wasserkreislaufs. Gelangt er durch Versickerung in den Boden, wird er auf natürlichem Wege gereinigt, sickert ins Grundwasser und kann so als Trinkwasser wiederverwendet werden. Durch Bodenversiegelung wird die Grundwasserneubildung verringert und der natürliche Wasserkreislauf behindert. Wird Boden versiegelt, kann an diesen Stellen kein Regen mehr versickern und nur noch wenig Wasser verdunsten. Der Großteil fließt an der Oberfläche ab. Wird der vermehrte Oberflächenabfluss direkt der Kanalisation zugeführt, kann es bei intensivem Regen zu Hochwasser, zu Überflutungen im Kanalnetz und zu Überlastungen der Kläranlagen kommen, die dann kurzzeitig ungeklärtes Wasser in die Gewässer leiten.

Ansätze der naturverträglichen Regenwasserbewirtschaftung haben das Ziel, den natürlichen, örtlichen Wasserkreislauf möglichst wenig zu beeinflussen. Hierzu ist es erforderlich, anfallendes Niederschlagswasser dem direkten Abfluss zu entziehen. Der Grundgedanke besteht darin, Abflüsse am Entstehungsort oder in der näheren Umgebung zu vermeiden, zu verringern oder zu verzögern. Die Elemente der naturverträglichen Regenwasserbewirtschaftung wie reduzierte Versiegelung von Flächen, Regenwassernutzung, Verdunstung, Versickerung, Rezeption und ortsnahe Einleitung in oberirdische Gewässer beschränken sich nicht nur auf Neuplanungen, sondern werden verstärkt auch auf bestehende Bebauung angewandt.

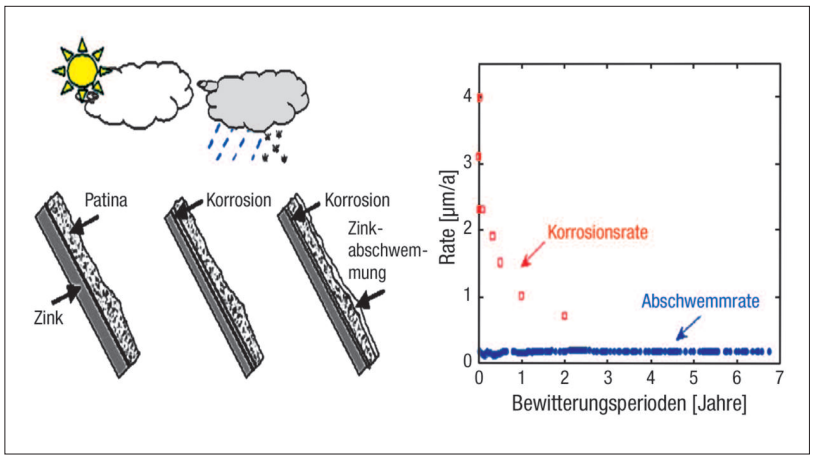

Abb. 3: Zusammenhang zwischen Zinkkorrosion und Zinkabschwemmung [1]

von Korrosionsreaktion und Abschwemmung an.

Die genannten Prozesse sind in **Abb. 3** schematisch dargestellt.

Einflussfaktoren

Wesentlicher Faktor, der die Korrosionsrate von Zink beeinflusst, ist die Schwefeldioxid-Konzentration in der Luft und die daraus resultierende Versauerung des Niederschlagswassers. Hier besteht eine fast lineare Abhängigkeit, die sich mit Formeln beschreiben lässt [2]. Da in den letzten Jahren und Jahrzehnten der „saure Regen“ deutlich abgenommen hat, sind auch die Abschwemmraten von Zink gesunken. Derzeit wird in Mitteleuropa von einer jährlichen Abschwemmung von 2-3 g/m²/a ausgegangen.

Es gibt aber noch eine Reihe weiterer Standortfaktoren, die ebenfalls Einfluss auf die Abschwemmrate haben können, insbesondere dann, wenn die Schwefeldioxid-Konzentration sehr niedrig ist. Dazu zählt insbesondere die jeweilige Klimazone, da die Abschwemmraten in feuchten, warmen Klimaten, in Meeresnähe und in industrieller Atmosphäre erhöht sind. Vor allem aber ist bei Dächern die Frage wichtig, welche Neigung das Dach hat (eine Fassade wird als Dach mit einer Neigung von 90° betrachtet) und wie das Gebäude zur Hauptwetterrichtung ausgerichtet ist. Insgesamt gilt: je niedriger die Dachneigung und je stärker die Zinkfläche zur Hauptwindrichtung ausgerichtet ist, desto höher ist die Abschwemmung. Auch hierzu liegen Untersuchungen vor, die in **Abb. 4** zusammengefasst sind.

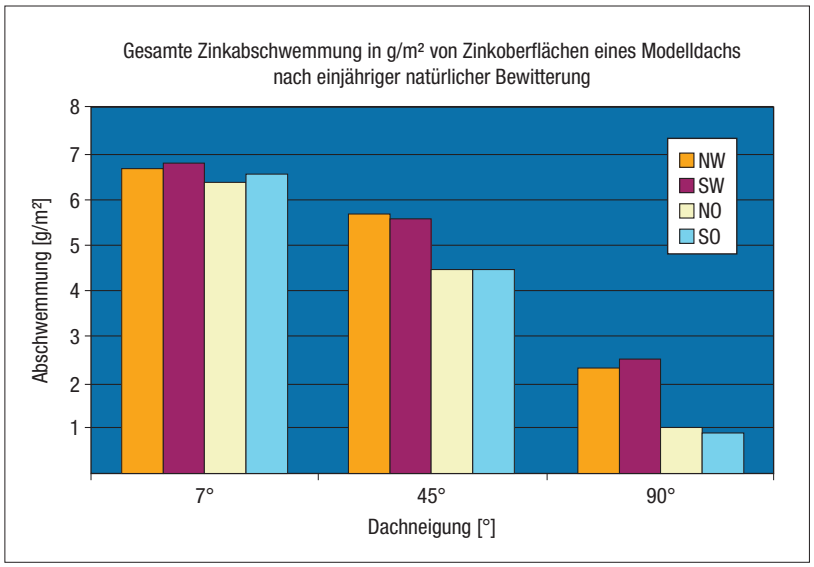

Abb. 4: Abhängigkeit der Zinkabschwemmung von der Dachneigung (90°: Fassade) und der Hauptwindrichtung nach [3]

5 Oberflächengewässer

Rechtliche Grundlagen

Rechtlich wird Niederschlagswasser von bebauten oder befestigten Flächen dem Abwasser zugeordnet und unterliegt somit den Bestimmungen zur Abwasserbeseitigung im Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Nach § 55 WHG kann Niederschlagswasser ortsnah versickert werden, direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden. Des Weiteren ist nach EU-Wasserrahmenrichtlinie der Eintrag von prioritären Stoffen, d. h. Schadstoffen, die ein erhebliches Risiko für die aquatische Umwelt darstellen, in Gewässer zu verringern oder ganz zu vermeiden. Zink zählt nicht zu den prioritären Stoffen. Umweltqualitätsnormen, d. h. Schwellenwerte, die nicht überschritten werden dürfen, um einen guten chemischen Zustand des Gewässers zu erreichen, sind in der Oberflächengewässerverordnung festgelegt. Für Zink gilt hier eine Umweltqualitätsnorm von 800 mg/kg im Schwebstoff oder im Sediment im Jahresdurchschnitt. Die kommunalen Behörden wenden bei Fragen zur Behandlung von Niederschlagswässern häufig auch das Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft (DWA) an. Hier ist insbesondere das Arbeitsblatt DWA-M 153 „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“ relevant. Entsprechend Ziffer 5.3.2. dieses Merkblatts können bei direkter Einleitung in ein Gewässer zinkbedeckte Dachflächen bis zu einer Größe von

Exkurs 2: Natürliches Vorkommen und Essenzialität von Zink

Natürliches Vorkommen von Zink

Zink ist eines der häufigsten natürlichen Elemente in der Erdkruste und damit ein fester Bestandteil der Natur. Die meisten Gesteine und viele Mineralien enthalten Zink in unterschiedlicher Konzentration. Zink kommt darüber hinaus auch in der Luft, im Wasser und im Boden vor. Diese Zinkgehalte werden „natürliche Hintergrundkonzentrationen" genannt. Sie schwanken in einem breiten Konzentrationsbereich.

Aufgrund natürlicher Erosionsprozesse wird ein kleiner Teil des Zinks in Boden, Gestein und Sediment ständig bewegt und transportiert. Regen, Schnee, Eis, Sonnenwärme und Wind lassen zinkhaltige Felsen und Böden erodieren. Wind und Wasser tragen minimale Mengen an Zink in Seen, Flüsse und das Meer ein, wo es sich im Sediment sammelt oder weitertransportiert wird. Naturereignisse wie Vulkanausbrüche, Waldbrände, Sandstürme und Gischt tragen ebenfalls zur ständigen Bewegung des Zinks damit zur natürlichen Hintergrundkonzentration bei [4].

An manchen Stellen liegt Zink durch natürliche geologische und geochemische Prozesse in höheren Konzentrationen von bis zu 15 % vor. In diesen Fällen spricht man von Zinkerzvorkommen.

Das in der Industrie verwendete Zink wird sowohl aus Erzen als auch aus recycelten Zinkprodukten gewonnen. Weltweit werden heute mehr als 4 Millionen Tonnen Zink aus Recyclingmaterialien wie zum Beispiel Schrotten erzeugt.

Zink – lebensnotwendig für Menschen, Tiere und Pflanzen

Zink zählt zu den wichtigsten essenziellen – also lebensnotwendigen – Spurenelementen für Menschen, Tiere und Pflanzen. Sie nehmen diese Spurenelemente aus der Umwelt auf, also direkt aus der Luft, dem Wasser, dem Boden und der Nahrung. Nur dann, wenn die notwendige Versorgung mit Zink sichergestellt ist, verlaufen auch Wachstum und Entwicklung der Organismen optimal.

Jeder Mensch benötigt täglich 10 bis 15 Milligramm Zink pro Tag, um gesund zu bleiben. Zink ist an fast allen lebenswichtigen Stoffwechselfunktionen im Körper maßgeblich beteiligt [6]. Die Regeneration und die Wundheilung der Haut werden beispielsweise nachweislich durch Zink vorangetrieben. Während der Schwangerschaft sowie im Kleinkindalter und in der Pubertät trägt die Aufnahme von Zink zur gesunden Entwicklung bei.

Zink wird vom Menschen über die Nahrung aufgenommen. Insgesamt sind im Körper circa 2,5 Gramm Zink konstant enthalten. Überschüssiges Zink wird vom Körper nicht gespeichert. Auf natürlichem Weg wird kontinuierlich Zink durch Transpiration und Verdauung ausgeschieden.

Durch eine ausgewogene Ernährung wird der Zinkbedarf der Menschen hierzulande gedeckt. Weltweit leiden jedoch fast zwei Drittel der Bevölkerung an Zinkmangel, der sich unter anderem durch Zinkmangelerkrankungen bemerkbar macht.

500 m^2 innerhalb eines Gewässer- oder Uferabschnitts von 1.000 m Länge nicht-metallischen Dachflächen gleichgesetzt werden. Die Seitenwände von Getreidesilos sind mit ihrer Neigung von 90° keine Dachflächen. Seitenflächen werden – abhängig von der Ausrichtung zur Hauptwindrichtung – deutlich weniger benetzt als Dachflächen.

Hintergrundwerte „Zink in Oberflächengewässern"

Die Hintergrundkonzentrationen von Zink in Oberflächengewässern hängen von den jeweiligen natürlichen Gegebenheiten ab. Bedingt durch unterschiedliche geochemische Bedingungen gibt es große Unterschiede zwischen den Gewässern. Innerhalb der EU liegen die natürlichen Zinkkonzentrationen in Oberflächengewässern üblicherweise zwischen 2,5 und 12 µg total-Zn/l, die für Sedimente zwischen 70 und 175 mg/kg. Sie hängen unter anderem vom Zinkgehalt des Bodens oder des Gesteins ab, dem der Fluss entspringt oder den er durchläuft. Durchfließt er besonders zinkreiche Böden oder Gesteine, wie sie z. B. in Bergbauregionen wie dem Harz oder dem Sauerland vorkommen, so kann der natürliche Hintergrundwert noch höher liegen.

Durch den Einfluss des Menschen wird heute zusätzlich zu den natürlichen Gehalten weiteres Zink in die Oberflächengewässer eingetragen. Dabei sind die Einträge durch industrielle Aktivitäten in den vergangenen Jahrzehnten durch den Einbau von Reinigungssystemen erheblich reduziert worden. Inwieweit Zinkanwendungen zu einem Zinkeintrag in Oberflächengewässer führen, ist ebenfalls sehr genau untersucht worden. Im Jahr 2010 kam die EU-Kommission zu dem Schluss, dass Zinkanwendungen nicht per se ursächlich für regional höhere Zinkkonzentrationen in europäischen Oberflächengewässern sind [8].

Wirkung von Zink in Gewässern

Zink ist ein essenzielles Spurenelement, vergleichbar z. B. mit Eisen. Der Umwelteinfluss essenzieller Elemente kann nicht auf dieselbe Weise bewertet werden wie der von synthetischen, also künstlich hergestellten, chemischen Verbindungen. Zink kommt natürlich in der Umwelt vor und es ist unmöglich, es aus dieser zu entfernen. Das Erreichen eines solchen Ziels würde letztlich auf Grund der Essenzialität von Zink sogar zu schädlichen Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem führen. Mit anderen Worten: „weniger ist in diesem Fall nicht besser".

Bei essenziellen Elementen sind die Bewertungen von Umweltauswirkungen komplexer als bei nichtessenziellen Stoffen. Dies hängt mit mehreren Faktoren zusammen. Zum einen kommt Zink natürlich vor, d. h., es ist überall vorhanden und alle Organismen haben sich an das Vorhandensein von Zink „gewöhnt". Zum anderen ist Zink essenziell, d. h., die Organismen benötigen Zink, um ihre Funktionsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Sie haben die Fähigkeit zur Regulierung durch Aufnahme und Ausscheidung von Zink und damit zur Einhaltung eines bestimmten internen Gleichgewichtszustands. Dies bedeutet, dass nur in Umweltbereichen, in denen Zink in sehr hohen Konzentrationen vorkommt, sowie in solchen mit sehr niedrigen Konzentrationen, unerwünschte Effekte auftreten können. Der Bereich zwischen Minimum und Maximum wird oft als „optimales Fenster der Essenzialität" oder auch als „Wohlfühlkurve" bezeichnet, **Abb. 5** [4].

Des Weiteren geht Zink in Gewässern Wechselwirkungen mit anderen Bestandteilen des Wassers ein, wodurch nur ein Teil des Zinks für die Organismen „sichtbar", d. h. „bioverfügbar" ist.

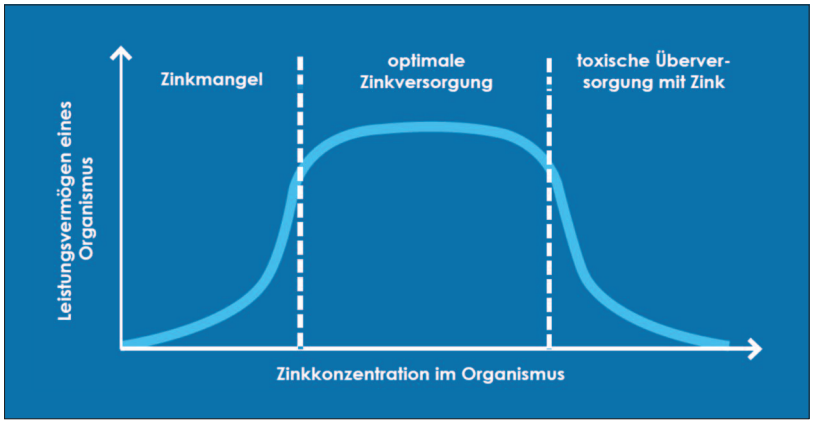

Abb. 5: Optimaler Konzentrationsbereich von essentiellen Elementen [4]

Exkurs 3: Bioverfügbarkeit

Als „bioverfügbar" wird der Teil eines Metalls bezeichnet, der auch tatsächlich von Organismen aufgenommen und verarbeitet werden kann. Bei Zink ist dies üblicherweise das nichtkomplexierte, freie Ion (Zn^{2+}). Da Zink jedoch immer mit verschiedenen Bestandteilen von Wasser, Boden und Sediment in Wechselwirkung tritt, ist es in vielen unterschiedlichen Formen (Komplexen) anzutreffen. Nur ein kleiner Anteil liegt als bioverfügbares Ion Zn^{2+} vor. Und nur dieser Teil darf bei der Abschätzung der Umweltwirkung berücksichtigt werden.

Der bioverfügbare Anteil hängt von den Umgebungsbedingungen ab. Ein Anstieg des pH-Werts, der Alkalinität (des Säurebindungsvermögens) oder der Menge an natürlichen organischen Bestandteilen kann beispielsweise dazu führen, dass die Bioverfügbarkeit von Zink durch weitere Komplexierung verringert wird. In ähnlicher Weise kann die Bioverfügbarkeit von Zink auch durch Anwesenheit anderer positiv geladener Ionen (Kalzium, Magnesium, Natrium usw.) sinken. **Abb. 6** stellt schematisch die verschiedenen Wechselwirkungen in Gewässern dar [4].

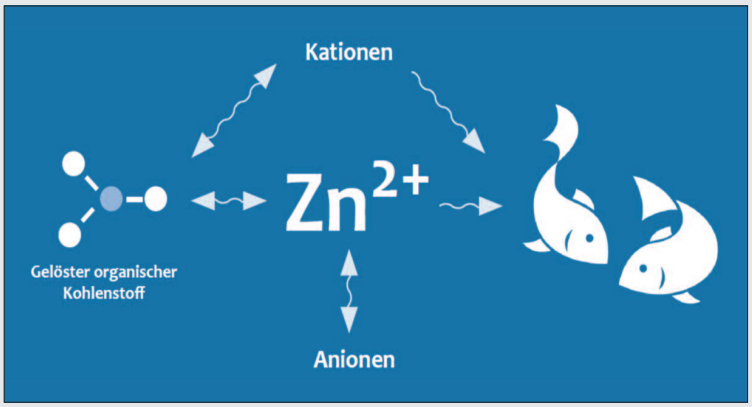

Abb. 6: Wechselwirkungen von Zink mit anderen Verbindungen im Wasser („Biotic Ligand Model") [4]

Ein weiterer wichtiger Punkt, der bei der Beurteilung der Umweltwirkung berücksichtigt werden muss, ist die Verdünnung, sobald ein zinkhaltiger Teilstrom ins Gewässer gelangt.

6 Boden und Grundwasser

Rechtliche Grundlagen

Nach § 55 WHG kann Niederschlagswasser ortsnah versickert werden, soweit dem weder wasserrechtliche noch sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften wie auch wasserwirtschaftliche Belange entgegenstehen. Nach § 46 WHG bedarf das Einleiten von Niederschlagswasser in das Grundwasser keiner wasserrechtlichen Erlaubnis, sofern es „schadlos“ ist. Genauere Ausführungen und Genehmigungspflichten definieren die einzelnen Bundesländer in Landeswassergesetzen oder in eigenen Niederschlagswasserfreistellungsverordnungen. Unterhalb von Versickerungsanlagen werden oft mangels anderer Regelungen die Vorschriften der Bundesbodenschutzverordnung zur Beurteilung des Wirkungspfads Boden-Grundwasser angewendet. Für Zink gilt hier ein Prüfwert, d. h. eine Belastungsschwelle, ab der eine einzelfallbezogene Prüfung indiziert ist, von 500 µg/l. Zink gehört nach der Grundwasserverordnung wie viele andere Metalle zu den Stoffen, deren Eintrag in das Grundwasser zu begrenzen ist. Einen Grenzwert gibt die Grundwasserverordnung, wie auch die Trinkwasserverordnung hierzu jedoch nicht vor.

Wie bei der Einleitung in Oberflächengewässer ist auch bei der Versickerung das Arbeitsblatt DWA-M 153 „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“ relevant [11]. Bei der Versickerung liegt die Bagatellgrenze bei einer Fläche von 50 m^2, wobei die Dachentwässerung ausgenommen ist. Hinweise zu Planung, Bau und Betrieb von Versickerungsanlagen gibt das DWA-Merkblatt A 138 [12].

Hintergrundwerte „Zink in Böden und Grundwasser“

Die natürlichen Zinkgehalte in Böden variieren stark in Abhängigkeit vom Bodentyp und den weiteren Bodencharakteristika [8], [10]. Besonders Lehm und organische Bestandteile haben großen Einfluss auf die Zinkkonzentration. Europäische Böden, die keine zusätzlichen Zinkeinträge durch den Menschen erfahren haben, weisen durchschnittliche Zinkkonzentrationen von 50 bis 100 mg/kg mit einer Bandbreite von 1 bis 8.900 mg/kg auf.

Eine umfangreiche niederländische Studie [9] hat gezeigt, dass der Zinkgehalt im Wesentlichen durch den Bodentyp bestimmt wird. Besonders niedrige Zinkgehalte wiesen Sandböden auf (geringe Anteile an Lehm und organischen Bestandteilen), während die höchsten Zinkkonzentrationen in Lehm- und Torfböden gefunden wurden (hohe Anteile an Lehm und organischen Bestandteilen).

Auch in den hiesigen Grundwasserkörpern kommt Zink in unterschiedlichen Konzentrationen vor. In einer umfassenden Studie [7] wurden die Grundwasserkörper Deutschlands charakterisiert und bundesweite Spannweiten der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit ausgewiesen. Ziel war die Ableitung der natürlichen Hintergrundwerte für Hauptinhalts-, Nebeninhalts- und Spurenstoffe. Grundlage waren vorhandene Grundwasserdaten der Bundesländer.

Zur Ausweisung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit ist es entsprechend dieser Studie unerlässlich, die geogenen und anthropogenen Faktoren zu beschreiben, die für die im Grundwasser auftretenden Lösungsinhalte verantwortlich sind. Im Allgemeinen machen nur einige wenige Inhaltsstoffe mehr als 99 % des Lösungsinhalts des Grundwassers aus. Die Wasserparameter pH-Wert, Redoxpotential bzw. Sauerstoffkonzentration, aber auch die Summe der gelösten Salze (Ionenstärke ausgedrückt durch die elektrische Leitfähigkeit), bestimmen die Stoffverteilung im Grundwasser [7].

Zink ist dispers verteilt und in den meisten Gesteinen verbreitet. Erhöhte Konzentrationen zeigen insbesondere Tonsteine. Für die Rohwässer deutscher Wasserwerke wurden mittlere Zinkgehalte zwischen 27 und 117 µg Zn/l gemessen. Konzentrationen bis 1.000 µg Zn/l traten in der Oxidationszone sulfidischer Erzlagerstätten auf [7].

Wirkung von Zink in Böden

In Böden wird Zink stark an Mineralphasen gebunden (Adsorption an Oxide, Kieselsäure, Karbonat, Lehmpartikel) sowie an organische Stoffe. Die Neigung zur Adsorption scheint mit steigendem pH-Wert zuzunehmen. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Zink in Sedimenten und Böden bevorzugt Komplexe bildet, wodurch seine Bioverfügbarkeit und damit auch seine potenzielle Toxizität für Organismen abnimmt. Die Abschätzung des bioverfügbaren Anteils von Zink in Sedimenten und Böden erfolgt grundsätzlich nach einem ähnlichen Prinzip wie für den Teilraum Wasser. Jedoch sind hierbei zusätzliche Rahmenbedingungen zu berücksichtigen: In Sedimenten neigt Zink zur Komplexbildung mit Eisen- und Manganoxiden (Mineralen) oder mit organischen Stoffen. In anaeroben Sedimenten reagiert Zink mit Sulfiden [4].

Praktische Untersuchungen haben gezeigt, dass Zink bei der Versickerung in den obersten Zentimetern des Bodens gebunden wird. Um dieses Zink zu remobilisieren, müssten deutliche Veränderungen des Bodencharakters stattfinden. Abschätzungen über Säulenversuche haben bestätigt, dass bei Eintrag von Wasser mit Zinkgehalten, wie sie im Niederschlagswasser von Zinkdächern typischerweise auftreten, in einen durchschnittlichen Boden erst nach deutlich über 100 Jahren ein Durchbruch ins Grundwasser zu erwarten ist [5].

Für Grundwasser stellt sich die Situation ähnlich dar wie für Oberflächengewässer. Zink wirkt auch hier als natürliches, essenzielles Element, bei dem Parameter wie Bioverfügbarkeit und Verdünnung eine wesentliche Rolle spielen.

7 Weitere Aspekte nachhaltigen Silobaus

Haltbarkeit

Verzinkte Stahlsilos sind sehr langlebig und äußerst wartungsarm. Das verzinkte Stahlblech bildet im Laufe der Zeit durch die eintretende Oberflächenkorrosion eine zusätzliche stabile Schutzschicht, die so genannte Patina aus, siehe auch Abschnitt 4. Dies führt dazu, dass der Zinkabtrag wesentlich minimiert wird. Somit sind Standzeiten von über 25 Jahren zu erreichen. Die Oberfläche des Stahlblechs bleibt über die Lebensdauer der Siloanlage unbehandelt, weitere Instandhaltungsarbeiten sind nicht erforderlich. Zusatzanstriche wie Schutzlacke oder Imprägnierungen entfallen. Das schnelle „Vergrauen" der Siloanlage durch Umwelteinflüsse führt dazu, dass sich die Siloanlage schon nach kurzer Zeit in das Landschaftsbild einfügt und keine Blendungen durch Spiegelungen des Sonnenlichts auftreten.

Flächenverbrauch

Durch die Ausnutzung der statisch möglichen Silohöhe sind Flächenverbrauch und Bodenversiegelung bei verzinkten Stahlblechsilos gegenüber der Lagerung in Flachlagern deutlich geringer. Die benötigten Fundamente sind nur unwesentlich größer als die Lagerfläche und können auf ein Minimum beschränkt werden, **Abb. 7**.

Getreidehygiene

Grundsätzlich ist das Getreide vor Verunreinigungen zu schützen, da diese in die Nahrungskette gelangen können. Verzinkte Stahlsilos bieten sicheren Schutz vor Verunreinigungen, wie sie bei einer unsachgemäßen Lagerung in Flachlagern entstehen können. Flachlagerhallen können nur mit sehr hohem Aufwand vor Tierbefall (Nagern, Katzen und Vögel) geschützt werden. Diese hinterlassen Kot im Getreide, der in die Nahrungskette des Menschen oder des Nutztiers gelangen kann. Ebenso wird das Flachlager häufig maschinell mit Hilfe von Traktoren oder Radladern befüllt und entleert. Diese verunreinigen Lager und Getreide durch Abgasemissionen, Reifenabrieb, Bremsstaub oder Lecköle. Verzinkte Stahlsilos vermindern durch ihre geschlossene Hülle diese Risiken wirksam, und ermöglichen eine hygienische Lagerung des Getreides.

Abb. 7: Silo zur Getreidelagerung in der Landwirtschaft

Getreidehaltbarkeit

Während der Lagerperiode muss für die Belüftung und Auffrischung des Getreides gesorgt werden. Während in Flachlagern sehr oft große Mengen an Konservierungsstoffen zugesetzt werden müssen, ist es in verzinkten Stahlblechsilos wesentlich einfacher, geeignete Kaltbelüftungen zu verwirklichen. Durch Zuführung von kühler Frischluft kann das Getreide über längere Zeit lagerfähig gehalten werden und Schimmelbildung und Pilzbefall deutlich reduziert werden. Zusatzstoffe wie Säuren sind im Regelfall nicht notwendig, was der Getreidequalität zugutekommt. Die Kontrolle der Silotemperatur während des Lagerprozesses ist in Stahlblechsilos kostengünstig einzubringen und gewährleistet die genaue Prozessüberwachung und -steuerung.

Rückbaufähigkeit

Die Rückbaufähigkeit von Getreidesiloanlagen aus Stahl ist äußerst einfach. Durch das modulare Baukastensystem ist der Rückbau nahezu bis zu Einzelteilen möglich. Durch den geringen Flächenbedarf hält sich auch der Rückbau der versiegelten Fläche in Grenzen. Verzinkte Stahlblechsilos werden ohne die Verwendung von Kunststoffen hergestellt und sind dadurch umweltfreundlich gegenüber Silobehältern aus GFK- Materialien. Zudem kann die Metallkonstruktion vollständig recycelt werden.

Ökobilanz, Recycling

Ausgangsmaterial für die Herstellung der Zylinder und Dächer von Stahlsilos ist üblicherweise

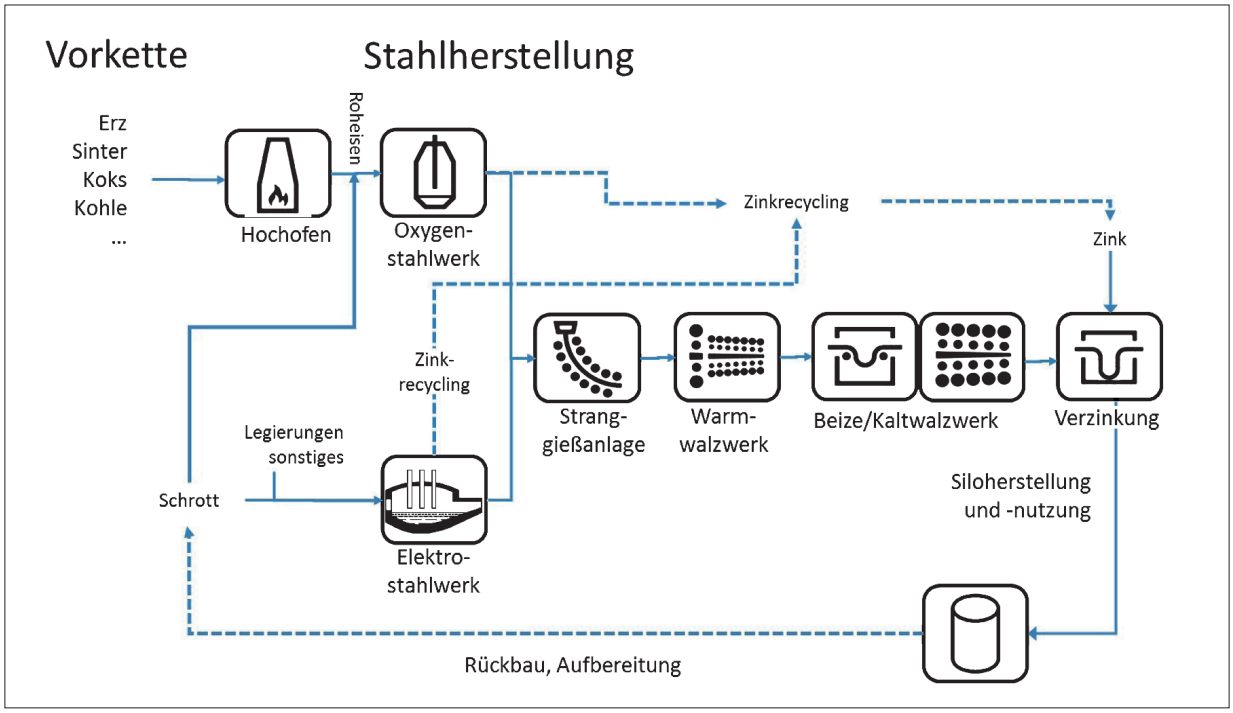

Abb. 8: Stahlkreislauf

bandverzinktes Kaltfeinblech mit Blechdicken von 0,75 bis 3,5 mm. Für die Stützen wird band- oder auch stückverzinktes Material in Dicken von 2 bis 6 mm eingesetzt.

Mit dem Ende der Nutzungsdauer von meist deutlich mehr als 25 Jahren werden die ausgedienten Silos zurückgebaut und sowohl Stahl als auch Zink als Schrott der Wiederverwertung, dem Recycling, zurückgeführt. Dabei kommt verzinkter Stahlschrott als Sekundärrohstoff in beiden Routen der Stahlherstellung zum Einsatz, **Abb. 8**.

Bei der Hochofen-Route wird Roheisen aus Erzen erschmolzen. Beim anschließenden „Frischen" im Oxygenstahlwerk wird Sauerstoff in die Schmelze geblasen, wodurch unerwünschte Begleitelemente entfernt werden. Zur Nutzung dieser Wärmeenergie wird der Schmelze gezielt Stahlschrott zugesetzt, der dadurch material- und energieeffizient wiederverwertet wird. Bei der Elektroofen-Route wird ausschließlich vorsortierter Stahlschrott direkt im Lichtbogen eingeschmolzen. Aufgrund der chemisch-physikalischen Eigenschaften von Stahl findet dieses Recycling ohne jeglichen Qualitätsverlust statt, wobei auch mehrere Recyclingzyklen durchlaufen werden können (Multirecycling nach Neugebauer und Finkbeiner [13]). Nachfolgend entstehen in diversen Weiterverarbeitungsstufen neue Stahlerzeugnisse, u. a. auch Bleche für Siloanlagen. Der Stoffkreislauf ist somit vollständig geschlossen.

Das Recycling einer Tonne Schrottes hilft ca. 1,3 t Eisenerz, 650 kg Kohle, 300 kg Kalkstein und weitere Rohstoffe einzusparen. Daneben werden ca. 1 Tonne CO_2-Emissionen vermieden. Auf beiden Routen des Stahlrecyclings wird das mit dem verzinkten Stahl in den Prozess eingetragene Zink verdampft und als Stahlwerksstaub aus dem Ofen ausgetragen. Der zinkhaltige Flugstaub wird in der Zinkindustrie im so genannten Wälzverfahren weiter angereichert und steht dann als „Wälzoxid" der Primärzinkgewinnung als wertvoller Rohstoff zur Verfügung. Mit einem Zinkgehalt von über 50 % ersetzt Wälzoxid hier einen Teil des Erzkonzentrats und ist deshalb eine ökologische Alternative zu Erzabbau und Transport [14], [15].

8 Literatur

[1] Odnevall Wallinder, I.; Bertling, S.; Leygraf, C.: Kupfer- und Zinkabschwemmungen von Metalldächern – Forschung schließt Wissenslücken bei realen Massenströmen. In: wlb Wasser, Luft, Boden, Jg. 49 (2005), Heft 1/2, S. 15–18

[2] Odnevall Wallinder, I.; Verbiest, P.; He, W.; Leygraf, C.: The Influence of Patina Age and Pollutant Levels on the Run off Rate of Zinc from Roofing Materials. In: Corrosion Science, Vol. 40 (1998), S. 1977–1982

[3] Odnevall Wallinder, I.; Verbiest, P.; He, W.; Leygraf, C.: Effects of Exposure Direction and Inclination on the Runoff Rates of Zinc and Copper Roofs. In: Corrosion Science, Vol. 42 (2000), S. 1471–1487

[4] Zinc in the Environment – Understanding the Science. International Zinc Association (IZA), 2015

[5] Bertling, S.; Odnevall Wallinder, I.; Leygraf, C.; Berggren, D.: Environmental Effects of Zinc Runoff from Roofing Materials – A New Multidisciplinary Approach. In: Townsend, H. E. (Hrsg.): Outdoor Atmospheric Corrosion, ASTM STP 1421, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, 2002, S. 200 ff.

[6] Kaur, K.; Gupta, R.; Saraf, S. A.; Saraf, S. K.: Zinc – The Metal of Life. In: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Vol.13 (2014), S. 358–376

[7] Kunkel, R.; Voigt, H.-J.; Wendland, F.; Hannappel, S.: Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band/Volume 47, 2004

[8] European Union Risk Assessment Report „ZINC METAL". European Commission Joint Research Centre Institute for Health and Consumer Protection, 2010

[9] Cleven, R. M. F. J.; Janus, J. A.; Annema, J. A.; Slooff, W.: Integrated Criteria Document Zinc. RIVM report 710401028. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM). Bilthoven, Niederlande, 1993

[10] Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), 2003

[11] Merkblatt DWA-M 153: Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2012

[12] Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2005

[13] Neugebauer, S.; Finkbeiner, M.: Ökobilanz nach ISO 14040/44 für das Multirecycling von Stahl, 2012

[14] Grund, S.: Recycling von Zink aus verzinktem Stahl. In: EU-Recycling, Jg. 32 (2015), Heft 08, S. 30–31

[15] Zinc Environmental Profile – 2015 Update. International Zinc Association (IZA), 2015

Wirtschaftsvereinigung Stahl
Abt. Marketing
Sohnstraße 65
40237 Düsseldorf

Fon +49 (0) 211 6707-967
Fax +49 (0) 211 6707-344

Mail marketing@stahl-online.de
Web www.stahl-online.de

Initiative Zink

Am Bonneshof 5
40474 Düsseldorf

Fon +49 (0) 211 4796-166
Fax +49 (0) 211 4796-25166

Mail informationen@initiative-zink.de
Web www.initiative-zink.de

WirtschaftsVereinigung Metalle
Abt. Umwelt
Wallstrasse 58/59
10179 Berlin

Fon +49 (0) 30 726207-120
Fax +49 (0) 30 726207-25120

Mail info@wvmetalle.de
Web www.wvmetalle.de

Düsseldorf/Berlin 2017