

Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen

FA 9.156

Forschungsstelle: BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH,
Koblenz

Bearbeiter: Braun, C. / Klute, M. / Reuter, C.
/ Rubbert, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale
Infrastruktur, Bonn

Abschluss: November 2017

1 Aufgabenstellung

Auftausalze werden zur Vermeidung von Schnee- und Eisglätte eingesetzt. Hierbei ist Natriumchlorid (NaCl) das am meisten verwendete Salz. Natriumchlorid ist in Wasser leicht löslich, es kann also davon ausgegangen werden, dass ausgebrachte Salze in den Wasserkreislauf gelangen. Mögliche Eintragspfade sind direkte Versickerung ins Grundwasser über Straßensbankette und Böschungen oder in Versickerungsanlagen sowie auch direkter Abfluss aus dem Entwässerungssystem zu Oberflächengewässern. Da die Salze im Grundwasser in der Regel sehr mobil sind, gelangt die eingetragene Stoffmenge früher oder später ebenfalls zu den Gewässern. Sowohl im Grundwasser als auch in den Oberflächengewässern können erhöhte Salzkonzentrationen zu einer Beeinträchtigung von Umwelt oder sonstigen Nutzungen (zum Beispiel Trinkwassergewinnung) führen.

Dieses Forschungsvorhaben befasst sich mit der Beschreibung der Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden unter Einsatz numerischer Modellierung. Zur Beschreibung und Erfassung des Transports des Tausalzes im Untergrund und in den RAS-Ew vorgeschriebenen technischen Entwässerungsanlagen wurden folgende Projektziele definiert und erreicht:

- Literaturlauswertung des Wissensstands zu gewässer-schutzrelevanten Wirkungen von Chlorid.
- Beschreibung und Modellierung der Transportpfade des auf Straßen ausgebrachten Tausalzes und der stattgefundenen Prozesse (wie zum Beispiel Verdünnung und Rückhalt). Bei der numerischen Modellierung wurden verschiedene Szenarien berücksichtigt:
 - Ortsverhältnisse, klimatische Bedingungen und die Menge des aufgebrachteten Tausalzes,
 - Konfiguration der Straße,
 - Ausbildung der Entwässerungseinrichtungen.
- Entwicklung eines Bewertungsverfahrens, um berechnete Chloridkonzentration mit vorgegebenen Grenzwerten oder Schwellenwerten zu vergleichen.

Das Hauptziel des Projekts ist es, herauszufinden, welche Versickerungs- und technischen Entwässerungseinrichtungen und welche Betriebsweisen die Konzentrationen von Tausalz in Gewässern unterschiedlicher Größe auf ein verträgliches Maß reduzieren können. An ausgewählten Punkten (zum Beispiel im Grundwasser oder im Fließgewässer) werden die berechneten

Salzfrachten und -konzentrationen immissionsbezogen bewertet. Als maßgebender Punkt im Fließgewässer wird in der Regel der unterstromige Pegel eines Gewässerkörpers betrachtet.

2 Untersuchungsmethodik

In einer Literaturstudie wurde der Wissensstand zum Transportverhalten von Tausalz und zu gewässerschutzrelevanten Wirkungen von Chlorid zusammengefasst, insbesondere zu Konzentrationsbereichen und zugehörigen Wirkungszeiträumen, die akute und chronische Toxizität für Gewässerorganismen auslösen. Weiterhin umfasste diese Literaturrecherche das Transportverhalten von Tausalz (Chlorid) von der Ausbringung auf der Straße bis zum Gewässer.

Weiter wurde der Transport von Tausalz von der Straße zum Gewässer mittels numerischer Modellrechnungen untersucht. In den Berechnungen wurde lediglich Chlorid betrachtet, da es sich in der Wasserwirtschaft als Leitparameter für Salze etabliert hat. Der Transport von Chlorid zu einem Gewässer nach dem Einsatz von Tausalz erfolgte auf mehreren Transportpfaden.

- Chloridtransport im Untergrund nach direkter Versickerung (zum Beispiel Bankette, Becken),
- Chloridtransport im Untergrund nach diffuser Verwehung und Versickerung,
- Chlorideintrag ins Gewässer über technische Straßenentwässerung.

In den Modellberechnungen wurden keine realen Standorte abgebildet, sondern typische, verallgemeinerbare Situationen betrachtet. Für diese Situationen erfolgt eine Parameterstudie, um maßgebende Parameter und Prozesse des Chloridtransports zu identifizieren. Der Salztransport wurde nicht für reale Standorte modelliert, sondern es wurden Modellierungsberechnungen an mehreren repräsentativen Szenarien durchgeführt, die auf andere Fälle übertragen werden können. Dafür wurden unterschiedliche Kombinationen von Tausalzmengen, Straßenausbildung, Art der Entwässerung sowie hydrologischen und hydrogeologischen Ortseigenschaften ausgewählt und in den Modellen als Randbedingungen eingebaut. Die berechneten Szenarien erfolgen für Landstraßen und Autobahnen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Entwässerungssysteme. Die berechneten Szenarien umfassen weiterhin die ausgebrachte Tausalzmenge (mittlere und hohe Verhältnisse), unterschiedliche Entwässerungssysteme sowie verschiedene hydrologische und hydrogeologische Einflussfaktoren. Hier werden typische Verhältnisse für ein süddeutsches Mittelgebirgstal und eine norddeutsche Bachaue betrachtet.

Die Berechnungen zum Transport im Entwässerungssystem und im Untergrund erfolgen separat. Die numerischen Berechnungen des Chloridtransports im Untergrund wurden mit dem Programm FEFLOW durchgeführt. Hier wurde der Transport von Chlorid in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone betrachtet. Bei diesen Berechnungen stand der langfristige Transport von Chlorid im Vordergrund. Entsprechend wurden

hier keine Einzelereignisse (aus Niederschlag und Tausalzeinsatz) betrachtet, sondern mehrjährige Zeitserien.

Für die Berechnungen zum Transportpfad der technischen Straßenentwässerung wurde ein hydrologisches Modell verwendet (Eigenentwicklung). Dies beschreibt die unterschiedlichen Elemente der Straßenentwässerung über eine Kaskade vollständig durchmischter Speicherreaktoren. Die Eigenschaften jedes Speichers werden über seine Speicherkennlinie und die Abflusskennlinien für Auslässe beschrieben. Die Zuflüsse ergeben sich aus dem oberhalb gelegenen Modul oder den Randbedingungen in Form eines Niederschlagsereignisses. Die Definition der Kennlinien ist grundsätzlich nicht beschränkt, sodass beliebige Beckenformen und unterschiedliche Ausläufe und Drosselorgane abgebildet werden können. Das Programm ist modular aufgebaut und beinhaltet folgende Module, die je nach Ausbildung des Systems betrachtet werden können:

- Modul "Straße": Erfassung der Tausalzlösung und der Abflussbildung auf der Straße,
- Modul "Kanal": Transport der Straßenabläufe zur Regenwasserbehandlung,
- Modul "Absetzbecken" (RWB, Absetzbecken nach RAS-Ew) als Reinigungsstufe,
- Modul "Regenrückhaltebecken" (RRB) für die Zwischenspeicherung und Drosselung des Abflusses in den Vorfluter.

Innerhalb der Becken kann dabei eine Dichteschichtung infolge der Chloridkonzentration berücksichtigt werden. Der Schwerpunkt der Berechnungen des Chlorid-Transports in der technischen Straßenentwässerung liegt auf der Ermittlung von kurzzeitigen Belastungsspitzen. Hierzu erfolgt eine Berechnung von maßgebenden Einzelereignissen. Hierbei wurde ein maximaler Salztransportregen betrachtet. Dieser war so gewählt, dass der Niederschlag gerade ausreicht, um das sich auf der Straße befindliche Tausalz zu lösen und von der Straße abzuwaschen.

Die Berechnungsergebnisse der beiden Transportpfade lieferten jeweils einen Input (Wassermenge und Chloridkonzentration) zu einem Gewässer. Diese wurden dann an einem Auswertepunkt im Gewässer zusammengeführt. In der Regel liegt dieser Auswertepunkt am unterstromigen Ende des Gewässerkörpers. Zur Überlagerung von Konzentrationen aus Sickerwasser, Grundwasser, technischen Einleitungen und Oberflächengewässer wurden in einer Mischungsrechnung jeweils die Stoffgehalte und die Wassermengen berücksichtigt. Bei Betrachtung eines (Teil-)Einzugsgebiets eines Gewässers wurde dann zunächst der Zufluss im Gewässer und dessen Hintergrundkonzentration am oberstromigen Ende des Gewässers zusammen mit dem Austausch über den Transportpfad Untergrund betrachtet. Die Berechnung lieferte dann einen Gewässerabfluss und eine Hintergrundkonzentration am unterstromigen Ende. Danach erfolgte eine Berechnung der Mischungskonzentration am unterstromigen Ende des Gewässers mit der Einleitung aus dem technischen Entwässerungssystem. Neben den berechneten Komponenten (Wassermengen und Konzentrationen) aus den Transportpfaden Untergrund und technisches Entwässerungssystem gingen als Randbedingungen der Mischungsberechnung der Abfluss und die Hintergrundkonzentration des Gewässers in die Berechnung ein. Diese beiden Grö-

ßen wurden in einer Matrix berücksichtigt, um ein möglichst breites Anwendungsspektrum zu erreichen. Hierbei wurden die berechneten Zuflüsse (Menge und Konzentration) zum Gewässer mit einer frei wählbaren Matrix aus Abfluss und die Hintergrundkonzentration des Gewässers in der Mischungsrechnung betrachtet.

Bei dieser Auswertung wurden die berechneten Konzentrationen anhand der Werte aus der Oberflächengewässerverordnung hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Gewässerorganismen beurteilt (zum Beispiel Mittelwert der Konzentration ≤ 200 mg/l Chlorid für den guten Gewässerzustand). Sollte dieser aufgrund kurzfristiger Konzentrationsspitzen und entsprechender Vorbelastung den Wert überstiegen, kann eine kurzfristige (Dauer weniger als drei Tage) Konzentrationsbelastung von 400 – 600 mg/l Chlorid (je nach Kalkgehalt im Gewässer) noch akzeptiert werden.

3 Untersuchungsergebnisse

Erwartungsgemäß kann ein Transport über den Untergrund in der Regel zu einer chronischen Chlorid-Belastung im Gewässer führen, wobei zeitlich kurz andauernde Belastungsspitzen auf Einleitungen aus dem Entwässerungssystem zurückgeführt werden. Dementsprechend sind auch die maßgeblichen Eingangsgößen (zum Beispiel Tausalzeinsatz, hydrologische Verhältnisse) für den Transportpfad Untergrund durch langjährige Mittelwerte zu beschreiben; kurzzeitige Einzelereignisse spielen keine wesentliche Rolle. Beim Transportpfad der technischen Straßenentwässerung dagegen spielen aufgrund der wesentlich höheren Dynamik des Transportsystems solche Einzelereignisse die maßgebende Rolle.

Die Ergebnisse zum Transportpfad Untergrund zeigten deutliche Verdünnungs- und Dämpfungseffekte in berechneten Chloridkonzentrationen. So nahmen die berechneten Konzentrationen zwischen der Versickerungsstelle und dem Gewässer ca. um einen Faktor 20 bis 100 ab. Die Ursachen für die Verdünnung und Dämpfung in den berechneten Chlorid-Konzentrationen sind Mischungen des infiltrierten chloridhaltigen Wassers aus dem Straßenabfluss mit dem natürlichen Grundwasserstrom, Kapillarkräfte in der ungesättigten Bodenzone und Dispersion im gesättigten Grundwasserbereich. Untersucht wurden poröse und geklüftet poröse Grundwasserleiter. Karstaquifere wurden nicht behandelt; hier ist zu erwarten, dass die Verdünnungs- und Dämpfungseffekte deutlich geringer ausfallen. Bei den Effekten der Verdünnung und Dämpfung der Chloridkonzentrationen im Untergrund lag ein deutlicher Skaleneffekt vor. Im Nahbereich der Einleitung stellten sich nur geringe Vermischungseffekte ein; mit wachsender Betrachtungsskala stieg der Einfluss der Vermischung deutlich an. Die Berechnungen zeigten weiterhin, dass sich ein Jahresmittelwert der Chlorid-Konzentration im Gewässer, der auf Tausalzeinsatz und Transport im Untergrund zurückzuführen ist, gut mit einer vereinfachten Massenbilanz berechnen lässt. Die saisonalen Schwankungen in den berechneten Chlorid-Konzentrationen sind in aller Regel wegen der oben erwähnten Vermischungs- und Dämpfungseffekte nur sehr gering ausgeprägt. Nur in Sonderfällen (sehr geringe Entfernung der Straße zum Gewässer, kurze Fließzeiten, homogener Grundwasserleiter) treten noch spürbare saisonale Effekte in der berechneten Chlorid-Konzentration des Gewässers auf.

Die Berechnungen zum Transportpfad der technischen Entwässerung können aus der Vielzahl der Eingangsparameter sensitive und weniger sensitive Größen hinsichtlich des Transportverhaltens identifizieren. Es zeigte sich, dass sowohl die Regencharakteristik als auch die Systemskalierung (zum Beispiel Größe des Einzugsgebiets der Entwässerung und der Anteil des technisch gefassten Wassers) nur einen geringen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse besitzen. Dagegen haben die Stremengen und die betrachteten maximalen Konzentrationen im Straßenablauf erwartungsgemäß eine sehr starke Auswirkung auf die Berechnungsergebnisse. Weiterhin werden insbesondere die Möglichkeiten des Rückhalts und der Verdünnung von Tausalz in unterschiedlichen Beckenanlagen der technischen Straßenentwässerung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ausgestaltung der Becken (Volumina, Geometrie, Drosselorgane, Dauerstau) einen deutlichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse hat. Im Einzelnen ergaben sich hier folgende Punkte:

- Die Dichteschichtung beeinflusst die Speicherung maßgeblich in Regenrückhaltebecken (RRB) mit Dauerstau.
- Bei ungesteuerten Drosselorganen sind große flache Becken bei flacherer Drosselkennlinie günstiger als kleine tiefe Becken bei gleichem Volumen.
- Mit einem Dauerstau kann ein erheblicher Anteil der Tausalzmenge temporär zurückgehalten werden. Dies ermöglicht eine Bewirtschaftung bei entsprechend ausgerüsteten Becken.
- Ungesteuert verursacht der Dauerstau eine Verschleppung des Salzaustrags bis weit nach Ende der Streuperiode.

In den durchgeführten Simulationen in der technischen Entwässerungseinrichtung wurden Verdünnungen der Chloridkonzentration (Verhältnis Konzentration im Straßenablauf zur Konzentration an der Einleitungsstelle ins Gewässer) von Faktoren von ca. 2-10 berechnet.

4 Folgerungen für die Praxis

Die durchgeführten Modellberechnungen zeigten, dass Tausalz beim Transport im Untergrund deutlich stärker verdünnt wird als beim Transport im technischen Entwässerungssystem.

Die Berechnungen zeigten weiterhin, dass sich Chloridkonzentrationen, die auf Tausalzeinsatz und Transport im Untergrund zurückzuführen sind, gut mit einer einfachen Massenbilanz berechnen lassen. Die saisonalen Schwankungen in den berechneten Chloridkonzentrationen sind in aller Regel sehr gering. Somit kann in vielen Fällen auf eine numerische Modellierung des Transportpfads Untergrund verzichtet und stattdessen eine vereinfachte Massenbilanzierung verwendet werden. Ausnahmen hiervon bilden einerseits Systeme, in denen die betrachtete Straße über eine längere Strecke mehr oder weniger parallel nahe (ca. weniger als 50-100 m) am Gewässer verläuft, und andererseits Karstaquifere, in denen die Dämpfungs- und Verdünnungseffekte deutlich geringer ausgeprägt sind. Das in der Oberflächengewässerverordnung genannte Kriterium hinsichtlich der maximalen Chloridbelastung für den guten Zustand eines Gewässers (< 200 mg/l als Mittelwert der letzten drei

Jahre) zielt allein auf längerfristige Mittelwerte ab. Diese sollten in aller Regel gut mit einer vereinfachten Bilanzbetrachtung ermittelbar sein.

Sollte sich dieser Wert bei entsprechender Vorbelastung des Gewässers und zu erwartenden Konzentrationsspitzen aus Einleitungen des technischen Entwässerungssystems nicht einhalten lassen, kann eine kurzfristige (Dauer weniger als drei Tage) Konzentrationsbelastung von 400-600 mg/l Chlorid (je nach Kalkgehalt im Gewässer) noch akzeptiert werden. Für diesen Nachweis sind Berechnungen des Transports von Chlorid in der technischen Straßenentwässerung notwendig.

Die Berechnungen zum technischen Entwässerungssystem ergaben, dass durch die Ausgestaltung der Becken (Volumina, Geometrie, Drosselorgane, Dauerstau) die Chloridfracht in der Einleitung ins Gewässer beeinflussbar ist. Zur Dämpfung der temporären Spitzen in der Chloridbelastung tragen Rückhaltebecken mit möglichst großem Volumen und möglichst kleinen Drosselabflüssen bei niedrigen Füllständen und ein verzögertes Erreichen des maximalen Drosselabflusses bei. Andererseits bewirkt dies eine Vergrößerung der Zeitspanne, innerhalb derer Tausalz in das Gewässer eingetragen wird.