

LEITFADEN

VERSICKERUNG

CHLORIDBELASTETER STRASSENWÄSSER



LEITFADEN

VERSICKERUNG

CHLORIDBELASTETER STRASSENWÄSSER

Verfasser:

Rechtsfragen:

Dr. Berthold Lindner
Heid und Partner Rechtsanwälte GmbH

Straßenwässer, Gewässerschutz:

DI Dr. Kiril Atanasoff-Kardjalieff
Zivilingenieur für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

DI Wolfgang Stundner
Zivilingenieur für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

Grundwasser:

Mag. Christian Wolf
Geologie & Grundwasser GmbH,
Ingenieurbüro für Technische Geologie

Pflanzenphysiologie:

DI Martin Kühnert
Sachverständiger für die Bewertung von Umweltschadstoffen

Mitglieder des Beirats:

MR DI Viktoria Reiss-Enz, MAS
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

DI Sandra Kainz
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Mag. Daniel Nestler
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

DI Michael Samek
Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

DI Johann Tatzber
Amt der NÖ LRG, Abteilung Wasserwirtschaft

Auftraggeber:

**BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION
UND TECHNOLOGIE**

Wien, Juli 2019

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	5
1.1	Allgemeines	5
1.2	Geltungsbereich	7
2	RECHTLICHE GRUNDLAGEN	8
2.1	Allgemeines	8
2.1.1	Planungsgrundsätze der WRRL und des WRG 1959	9
2.1.2	Schutzansprüche der QZV Chemie GW in Verbindung mit der GZÜV.....	9
2.1.3	Schutzansprüche der GWRL	10
2.1.4	QZV Chemie GW	10
2.1.5	Trinkwasser-RL und Trinkwasser-VO	11
2.1.6	Zulässige Beeinflussung bestehender Trinkwassernutzungen	12
2.1.7	Zulässige Beeinflussung bestehender Nutzwasserbrunnen.....	12
2.1.8	Zulässige Beeinflussungen von Waldgebieten.....	14
2.1.9	Zusammenfassung der erforderlichen Nachweise	15
2.2	Wasserrechtsgesetz (WRG 1959)	15
2.3	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW	18
2.4	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 (UVP-G 2000)	18
3	BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN	19
4	CHLORIDBEZOGENE GRUNDLAGEN	19
4.1	Arten und Einsatz chloridhaltiger Auftaumittel	19
4.2	Ermittlung der spezifischen Chloridmenge CIS als Bemessungswert	20
4.2.1	Chloridanteil im Streusalz	20
4.2.2	Streudaten	20
4.2.3	Diffuse Verluste.....	21
4.2.4	85%-Wert	21
4.2.5	Sprühnebel.....	23
5	BERECHNUNGSVERFAHREN	24
6	CHLORIDAUSBREITUNG IM GRUNDWASSER	25
6.1	Transport von Chlorid in das Grundwasser	25
6.2	Transport von Chlorid im Grundwasser	26
6.2.1	Advektion	27
6.2.2	Dispersion	28

6.3	Beurteilungsmatrix.....	32
7	MASSNAHMEN ZUR REDUKTION DER CHLORIDBELASTUNGEN IM GRUNDWASSER	33
8	QUELLENVERZEICHNIS	35
8.1	Gesetze, Verordnungen, Rechtsquellen, Normen	35
8.2	Literatur	35
ANHANG 1, BERECHNUNGEN bzw. ABSCHÄTZUNGEN DES CHLORIDTRANSPORTES IM GRUNDWASSER.....		38

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Salzverträglichkeit von Kulturpflanzen lt. FAO (1994) nach ÖWAV RB 407 (Tabelle 3) adaptiert	13
Tabelle 2:	Richtwerte für die Klassifizierung des Bewässerungswassers nach Chloridgehalt (ACHTNICH, 1980), Quelle: ÖWAV RB 407 (Tabelle 8).....	14
Tabelle 3:	Chloridverträglichkeit von Kulturpflanzen, Quelle: ÖWAV RB 407 (Tabelle 8)	14
Tabelle 4:	Auswertung der Chloridstremengen 2007-2018 mit dem Ergebnis der spezifischen Chloridstremenge CIS [kg/(m ² *p)] als Bemessungswert	22
Tabelle 5:	Querschnittsbedingte Sprühnebelanteile am Bemessungswert.....	24
Tabelle 6:	Parameter Advektion	28
Tabelle 7:	Parameter Dispersion.....	29

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Kumulativer Anteil der durch den Sprühnebel deponierten Streusalzmengen im Straßenrandbereich von 2 bis 40m (SIEGHARDT & WRESOWAR 2000)	23
Abbildung 2:	Konzeptionelles Modell – schematischer Talquerschnitt, Straßeneintrag und Transport von Salz ins und im Grundwasser (KOGSEDER 2008)	27
Abbildung 3:	Ursachen der Variabilität der Dispersion in verschiedenen Skalenebenen (RAUSCH, SCHÄFER, WAGNER, 2002)	28
Abbildung 4:	Abhängigkeit der Dispersivität von der Transportlänge (TU MÜNCHEN 2009).....	29
Abbildung 5:	Theoretische Querdispersion.....	30
Abbildung 6:	Impulsförmiger Eintrag in das Grundwasser (MULL und HOLLÄNDER 2002)	30
Abbildung 7:	Konzentration als Funktion der Zeit (MULL und HOLLÄNDER 2002)	31
Abbildung 8:	Vorgangsweise bei der Beurteilung der Ausbreitung von Chlorid im Grundwasser.....	32
Abbildung 9:	Solestreuer mit überbreitem Pflug	34

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ABGB	Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch
ABM	Autobahnmeisterei
BGBI	Bundesgesetzblatt
BVwG	Bundesverwaltungsgericht
BMLFUW	Bundesminister(ium) für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMVIT	Bundesminister(ium) für Verkehr, Innovation und Technik
CaCl ₂	Calciumchlorid
Cl ⁻	Chlorid
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
EuGH	Europäischer Gerichtshof
ForstG	Forstgesetz
FS30	Feuchtsalzgemisch mit 30 M-% Sole und 70 M-% Trockensalz
FS70	Feuchtsalzgemisch mit 70 M-% Sole und 30 M-% Trockensalz
GW	Grundwasser
GWRL	Grundwasserrichtlinie
GZÜV	Gewässerzustandsüberwachungsverordnung
iSd	im Sinne des
JDTV	jahresdurchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
Kfz	Kraftfahrzeug
NaCl	Natriumchlorid
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
QZV	Qualitätszielverordnung
RL	Richtlinie
RSC	Natrium-Carbonat-Restwert
SAR	Natrium-Adsorptionswert
UVP-G	Umweltverträglichkeitsgesetz
WRG	Wasserrechtsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1 EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Die Reinigung von Straßenwässern über eine Bodenfilterpassage gilt als Stand der Technik.

Chlorid, das im Winterdienst über die Salzstreuung in das Straßenwasser gelangt, kann mittels Bodenfilterpassage aus den anfallenden Straßenwässern nicht eliminiert bzw. im Bodenfilter rückgehalten werden. In den letzten Jahren hat daher die Beurteilung der Auswirkungen der Einleitung bzw. Einbringung chloridbelasteter Wässer auf die Qualität von Gewässern in Genehmigungsverfahren von hochrangigen Straßen an Bedeutung gewonnen.

Als Auftausalz kommen Natriumchlorid (idF kurz: NaCl) als Salz, befeuchtetes NaCl oder NaCl-Sole zum Einsatz. Calciumchlorid (idF kurz: CaCl₂) wird nur mehr unter besonderen Bedingungen eingesetzt.

Der Einsatz der verschiedenen auftauenden Streumittel (als Trockensalz, als Feuchtsalz mit differenzierten Soleanteilen bzw. reiner Sole) ist von den klimatischen Bedingungen am Ausbringungsort (Temperatur, Schneefall usw.) abhängig.

Bei der Bewertung der Auswirkungen von Chlorid auf das Grundwasser stellt die Ökologie im Gegensatz zur Einleitung von Chlorid in Oberflächengewässer kein beurteilungsrelevantes Kriterium dar.

Wo keine Möglichkeit besteht, Winterstraßenwässer in Vorfluter abzuleiten, ist eine Versickerung der Straßenwässer unumgänglich. Um die Gefahr einer Überfrachtung von Grundwasseraquiferen zu vermeiden, müssen vor allem die hydrogeologischen Verhältnisse bekannt sein (Boden, Schichtaufbau, Durchlässigkeit, Geschwindigkeit des Grundwassers etc.). Ergänzend sind allfällige Einschränkungen wie z.B. durch Schutz- oder Schongebiete, die qualitative Vorbelastung und Grundwassernutzungen zu beachten.

Die Einleitung von Straßenwässern in das Grundwasser darf nicht dazu führen, dass die in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser, BGBl II 98/2010 (QZV Chemie GW), zuletzt geändert durch BGBl. II 461/2010, festgelegten Qualitätsziele nicht erreicht werden. Fremde Rechte gemäß § 12 Abs. 1 WRG 1959 (z.B. Nutz- oder Trinkwasserentnahmen) sind bei der Bewilligung von Wasserbenutzungen zu berücksichtigen.

Bei der Anwendung dieses Leitfadens sind folgende Aspekte zu beachten:

- Angesichts der komplexen Zusammenhänge von Grundwasserführung, Untergrundaufbau, hydrogeologischen Verhältnissen etc. wird die Ermittlung der Auswirkung von Chlorid bei einer Straßenwasserversickerung weiterhin, wenn auch eingeschränkt, im Ermessensspielraum der Planenden und Sachverständigen bleiben.

- Der gute chemische Zustand im Grundwasser wird für den Parameter Chlorid in Spalte 1 der Anlage 1 der QZV Chemie GW festgelegt. Dieser Wert gilt als Schwellenwert und nicht als Grenzwert. In § 7 Abs. 2 der QZV Chemie GW ist festgelegt:

...Wird ein Schwellenwert bei Eintritt in das Grundwasser überschritten, ist zu prüfen, ob eine Verschlechterung bzw. eine Verschmutzung des Grundwassers gegeben ist.

- Der Nachweis, dass die Vorgaben der QZV Chemie GW eingehalten werden können, erfolgt über eine Immissionsberechnung, die auf der Menge der auf die Straßenoberfläche im Winterdienst aufgebrauchten Streumittel (Streudaten) beruht. Die Streumittelmenge kann unter anderem je nach klimatischer Region, Exposition des Straßenabschnittes und „Strenge“ des Winters sehr stark variieren. Tabelle 4, S. 22 zeigt Streudaten der Straßenmeistereien im hochrangigen Straßennetz, Planungstätigkeiten in den entsprechenden Regionen sind die ausgewiesenen Bemessungswerte zugrunde zu legen. In Planungsregionen, zu denen in Tabelle 4, S. 22 keine Streudaten vorliegen, sind aktuelle Streumengen bei den lokalen Straßenmeistereien zu erheben.
- Bei Betrachtung der Chloridausbreitung im Grundwasser über mehrere Jahre kann bei der Anwendung numerischer Grundwassermodelle von der Heranziehung des Bemessungswertes gemäß Tabelle 4, S. 22 abgewichen werden. Die gewählten Eingangs- bzw. Berechnungswerte sind fachlich zu begründen.
- Mit linearen Versickerungsanlagen quer zur Grundwasserströmungsrichtung kann eine gleichmäßige Verteilung des Chlorids erreicht und eine lokale hohe Chloridkonzentration vermeiden werden.
- Die Transportgleichung zur Beschreibung des Stofftransportes von Chlorid im Grundwasser wird im Allgemeinen numerisch gelöst, jedoch können in vergleichsweise homogenen Systemen auch analytische Lösungen (Excel sheets) verwendet und zu einer ersten Abschätzung des Stofftransports herangezogen werden. Die angeführten analytischen Lösungsansätze können ausschließlich in Porenaquiferen eingesetzt werden, in welchen das Gesetz von Darcy Gültigkeit hat. Die Kenntnis der wichtigsten hydrogeologischen Parameter ist erforderlich. Bei den vorgestellten Berechnungsmethoden zur gegenständlichen Fragestellung können grundsätzlich drei Lösungsansätze angeführt werden. Dabei wird einerseits unterschieden, ob es sich um eine tatsächliche Versickerung von Wässern (Excel sheets Beispiel 1 + 2), oder ob es sich lediglich um die Versickerung von diffusen Einträgen durch Sprühnebel handelt (Excel sheet Beispiel 3). Außerdem ist zu unterscheiden, ob die mittlere oder die maximale Chloridkonzentration berechnet wird. Im Nahbereich (< 150 m) der gegenständlichen Trasse erscheint bei gerin-

gen Flurabständen die Angabe einer mittleren Konzentration nicht sinnvoll, da hier entsprechend dem zu erwartenden Eintrag in das Grundwasser kurzzeitige Konzentrationsspitzen zu erwarten sind. Hierzu ist die Berechnung eines kurzzeitigen (impulsförmigen) Eintrages (Einzelergebnis) in das Grundwasser vorzunehmen. Für Entfernungen > 150 m zum Emittenten wird die Berechnung der mittleren Konzentrationsänderung für einen zu definierenden Zeitraum empfohlen. Für den ausschließlichen Eintrag des Chlorids über den Sprühnebel liegt zudem ein weiterer (dritter) Lösungsansatz vor.

- Die Ergebnisse der Berechnung nach dem vorliegenden Leitfaden sind jedenfalls einer Plausibilitätsprüfung (z.B. Eingangsparameter) zu unterziehen.

Anhang 1 beinhaltet ein von Mag. Wolf entwickeltes Berechnungs- bzw. Abschätzungsverfahren zur Ermittlung vorhabensbedingter Chloridbelastungen im Grundwasser (Porengrundwasserkörper).

1.2 Geltungsbereich

Der Leitfaden findet ausschließlich bei der Versickerung von chloridbelasteten Wässern in Grundwasseraquifere Anwendung.

Der Leitfaden gilt für Straßen (ausgenommen Tunnel) mit einer jahresdurchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (JDTV) von über 15.000 Kfz/24h

- bei Neubauten
- bei Umbauten mit maßgeblichen Auswirkungen auf das Grundwasser
- bei Neubauten von Anschlussstellen, Park- und Rastplätzen, Verkehrskontrollplätzen

Der Leitfaden kann sinngemäß auch für Straßen mit einer JDTV bis 15.000 Kfz/24h angewandt werden.

In Gebieten ohne weitgehend zusammenhängenden Grundwasseraquifer bzw. in wasserwirtschaftlich relevanten Bereichen (z.B. Schutz- und Schongebiete, Einzugsgebiete von Wasserversorgungen) können Maßnahmen erforderlich sein, welche über die Anforderungen dieses Leitfadens hinausgehen.

Im vorliegenden Leitfaden wird ausschließlich die Auswirkung der Einleitung von Chlorid aus Auftausalzen auf das Grundwasser bzw. den Zustand von Grundwasserkörpern behandelt. Alternative Auftaumittel wie etwa solche mit organischen Inhaltsstoffen sind nicht umfasst. Die wasserrechtliche Bewilligungsfähigkeit des Einsatzes alternativer Auftaumittel bei deren Versickerung ist im Einzelfall zu prüfen.

Der Leitfaden kann auch zur Betrachtung der Auswirkungen des Sprühnebels auf das Grundwasser im UVP-Verfahren herangezogen werden.

Für die beigefügten Excel sheets müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein:

- Geltung des Darcy'schen Gesetzes, Vorhandensein eines entsprechenden Porengrundwasserkörpers
- Durchlässigkeitsbeiwerte $> 1 \cdot 10^{-5}$ m/s
- Kenntnisse der hydrogeologischen Verhältnisse

Mit dem vorgeschlagenen Berechnungsmodell ist eine qualifizierte Abschätzung des Chloridtransportes im Grundwasser möglich.

2 RECHTLICHE GRUNDLAGEN

2.1 Allgemeines

Die für die Anwendung des Leitfadens für AuftraggeberInnen, PlanerInnen und BehördenvertreterInnen relevanten rechtlichen Bestimmungen sind nachstehend zusammenfassend dargelegt. Die Gesetzestexte zum WRG 1959, UVP-G 2000 und zur QZV Chemie GW können in der geltenden Fassung auf www.ris.bka.gv.at/Bundesrecht eingesehen werden. Es ist festzuhalten, dass sich die nachfolgende Darstellung auf die Einbringung in das Grundwasser bezieht, für die Einbringung chloridbelasteter Wässer in Oberflächengewässer gelten teilweise abweichende Bestimmungen.

Grundwasserrichtlinie

GWRL

Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12.12.2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung, ABI L 372, 19.

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser

QZV Chemie GW

BGBl. II 98/2010 idF BGBl. II 461/2010

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung

GZÜV

BGBl. II 479/2006 idF BGBl. II 363/2016

Trinkwasserrichtlinie

Trinkwasser-RL

Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, ABI 330, 32.

Trinkwasserverordnung

Trinkwasser-VO

BGBl. II Nr. 304/2001, i.d.F. BGBl. II 362/2017

Die wesentlichen Zielvorgaben im Wasserrecht sind einerseits ein nachhaltiger Grundwasserschutz zur Sicherung der Trinkwasserversorgung und andererseits der Schutz bestehender Rechte, respektive Wasserentnahmen.

Derzeit gibt es keinen verbindlichen Immissions- oder Emissionsgrenzwert für Chlorid im Grundwasser.

Allerdings wird lt. § 4 QZV Chemie GW der gute chemische Zustand im Grundwasser für Schadstoffe durch in Anlage 1 Spalte 1 festgesetzte Schwellenwerte festgelegt. Für den Parameter Chlorid bedeutet dies eine maximale Konzentration von 180 mg/l. Weiters wird entsprechend § 5 Abs. 2 Ziff. d) festgelegt, dass

"...sich ein Grundwasserkörper in einem guten chemischen Zustand befindet, wenn keine Anzeichen für etwaige Salz- oder andere Intrusionen in den Grundwasserkörper gegeben sind...."

Die Festlegung einer max. zulässigen Chloridkonzentration im Grundwasser ist demnach für die Bewertung der Auswirkung der Straßenentwässerung auf den Grundwasserkörper zwingend erforderlich. Folgende rechtliche Rahmenbedingungen mit den daraus abgeleiteten max. zulässigen Chloridkonzentrationen im Grundwasser sind für die Bewertung zu beachten:

2.1.1 Planungsgrundsätze der WRRL und des WRG 1959

In der WRRL und im WRG 1959 sind Vorsorge- und Minimierungsgebote bzw. Verschlechterungsverbote für den Grundwasserkörper als repräsentative Einheit definiert. Der Beurteilungsrahmen ist daher generalisierend angesetzt und nicht auf einer punktuellen oder eng isolierten Betrachtung der einzelnen Versickerungsstellen. Sofern den Schutzansprüchen der QZV Chemie GW Rechnung getragen wird, sind auch die Vorgaben der Vorsorge- und Minimierungsgebote bzw. des Verschlechterungsverbots erfüllt. In diesem Fall sind daher im wasserrechtlichen Bewilligungsverfahren für Straßenentwässerungen keine Nachweise erforderlich.

2.1.2 Schutzansprüche der QZV Chemie GW in Verbindung mit der GZÜV

In diesen rechtlichen Vorgaben sind Schwellenwerte für Handlungspflichten festgelegt. In der QZV Chemie GW ist für Chlorid ein Wert als Ausgangspunkt für eine Trendumkehr definiert (150 mg/l), dessen Überschreitung in einem Grundwasserkörper die Verpflichtung zur Setzung von Maßnahmen gemäß § 33f WRG 1959 auslöst. Lt. § 12 (1) der QZV Chemie GW hat der Landeshauptmann bei der Erlassung von konkreten Programmen für ein voraussichtliches Maßnahmengebiet gemäß § 33f Abs. 4 WRG 1959 die geeigneten Maßnahmen für die Bewirtschaftung auszuwählen (z. B. Nutzungsbeschränkungen oder Reinhaltemaßnahmen).

Dieser Schwellenwert für die Trendumkehr hat zwar keinen direkten Bezug zur Beurteilung der Einleitung von Chlorid in den Grundwasserkörper, im Geneh-

migungsverfahren ist allerdings zu prüfen, ob durch die geplante Einleitung aus der Straßenentwässerung eine wasserwirtschaftliche Handlungsverpflichtung für den Grundwasserkörper ausgelöst oder erschwert wird.

2.1.3 Schutzansprüche der GWRL

In der GWRL ist das Verfahren für die Beurteilung des chemischen Zustandes des Grundwasserkörpers geregelt. Weiters werden Kriterien für die Ermittlung und Umkehrung signifikanter Trends mit Ausgangspunkten für die Trendumkehr festgelegt. Chlorid ist ein Parameter für die Beurteilung des Grundwasserkörpers. Die Festlegung des Schwellenwertes für Chlorid erfolgt durch die QZV Chemie GW. Die Berücksichtigung der GWRL erfolgt daher im Wasserrechtsverfahren durch Einhaltung der Vorgaben der QZV Chemie GW.

2.1.4 QZV Chemie GW

Die QZV Chemie GW legt den guten chemischen Zustand sowie die im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot maßgeblichen Kriterien zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung fest.

Die Verordnung regelt einerseits die Kriterien für den guten chemischen Zustand im Grundwasser, die Bestimmung von Trends und den Ausgangspunkten für die Trendumkehr und andererseits Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch Schadstoffe und Verschlechterung. Der Ausgangspunkt für die Trendumkehr wird hierbei für den Parameter Chlorid mit 150 mg/l sowie der Schwellenwert mit 180 mg/l festgelegt. Verbindliche Grenzwerte stellen diese jedoch nicht dar.

In der GZÜV sind die Grundwasserkörper, die Anzahl und Kriterien der Messstellen, die zu überwachenden Parameter, die Zeiträume und Frequenz der Messungen sowie die Datenauswertung definiert. Die Daten für die bestehenden Messstellen können digital beim Umweltbundesamt www.uba.at erhoben werden. In der QZV Chemie GW ist u.a. festgelegt, dass

- die Grundwasserbeschaffenheit an einer Messstelle als gefährdet gilt, wenn das arithmetische Mittel der Jahresmittelwerte der Messungen im Beurteilungszeitraum (der zumindest letzten drei Jahre) den Schwellenwert überschreitet

und dass

- sich der Grundwasserkörper in einem guten Zustand befindet, wenn die Gefährdung des Grundwasserkörpers an nicht mehr als 50 % der Messstellen im Grundwasserkörper gegeben ist

oder

- der Grundwasserkörper andererseits als Maßnahmengebiet auszuweisen ist, wenn im Beurteilungszeitraum an gleichzeitig 50% oder mehr der Messstellen des Grundwasserkörpers die Grundwasserbeschaffenheit als gefährdet ausgewiesen wird.

Weiters enthält die QZV Chemie GW Bestimmungen, denen zufolge jede Form der Einbringung von Stoffen in das Grundwasser, die eine für den Geschmack des Grundwassers abträgliche Wirkung haben, einer Bewilligung nach Maßgabe des § 32 WRG 1959 erfordern. Chlorid zählt hierbei zu den Stoffen, die den Geschmack des Grundwassers nachteilig beeinträchtigen können.

Eine generelle Bewilligungspflicht für die Versickerung von Straßenwässern in Bezug auf den Chloridgehalt ist dadurch aber nicht gegeben, da gemäß § 32 (1) WRG 1959 eine bloß geringfügige Einwirkung wasserrechtlich bewilligungsfrei gestellt ist.

Im wasserrechtlichen Verfahren für die Straßenentwässerung ist daher entsprechend der QZV Chemie GW unter Berücksichtigung des § 32 (1) WRG 1959 die Bewilligungspflicht der Versickerung chloridhaltiger Straßenwässer zu prüfen.

Betreffend Chlorid wird in der QZV Chemie GW weiters angeführt, dass die Einbringung von Chlorid mit einer Konzentration unter 180 mg/l bei Eintritt in das Grundwasser (Emissionsansatz) zu keiner Verschmutzung des Grundwasserkörpers führt und daher bewilligungsfähig ist. Wird der Wert von 180 mg/l Chlorid bei Eintritt in das Grundwasser (Emissionsansatz) überschritten, ist die Prüfung der Verschlechterung bzw. einer Verschmutzung des Grundwassers (Immissionsansatz) erforderlich. Eine Bewilligungsfähigkeit ist dann gegeben, wenn der gute chemische Zustand im Grundwasserkörper entsprechend den Bestimmungen der QZV Chemie GW nachgewiesen wird. Da Chlorid bei der Versickerung über die Bodenkörperpassage nicht zurückgehalten werden kann, ist eine Überschreitung des Schwellenwertes von 180 mg/l Chlorid nach der Bodenkörperpassage bzw. vor dem Eintritt in den Grundwasserkörper – und damit eine Verschmutzung des Grundwasserkörpers - praktisch immer gegeben. Der Nachweis ist daher zu führen, dass mit dem Chlorideintrag keine Verschlechterung des Grundwasserkörpers erfolgt (Erhalt des guten chemischen Zustandes).

Über einen Nachweis, dass keine wasserwirtschaftliche Handlungsverpflichtung (Beobachtungsgebiet oder voraussichtliches Maßnahmengebiet) für den Grundwasserkörper ausgelöst wird, ist im Einzelfall in Abhängigkeit der Chloridkonzentrationen im Grundwasserkörper und der Trassenlage zu entscheiden.

2.1.5 Trinkwasser-RL und Trinkwasser-VO

In der Trinkwasser-RL ist ein Indikatorwert für Chlorid mit 250 mg/l festgelegt, der an der Stelle Gültigkeit hat, wo das Trinkwasser für den Verbrauch angeboten wird (Austritt aus Zapfstellen, Entnahmestellen am Tankfahrzeug etc.).

In der Trinkwasser-VO ist ein Indikatorwert für Chlorid mit 200 mg/l festgelegt, der wie bei der Trinkwasser-RL an der Stelle Gültigkeit hat, wo das Trinkwasser für den Verbrauch angeboten wird.

Da die Trinkwasser-RL und die Trinkwasser-VO sich mit einem Indikatorwert an den Betreiber von Wasserversorgungsanlagen mit dem Zweck des Schutzes des Wassers als Lebensmittel richten, ist der direkte Ansatz der obigen Indikatorwerte für die Beurteilung der Chlorideinleitung aus Straßenwässern in den Grundwasserkörper nicht zulässig.

2.1.6 Zulässige Beeinflussung bestehender Trinkwassernutzungen

Für bestehende rechtmäßig geübte öffentliche und private Trinkwassernutzungen ist eine mögliche Beeinträchtigung der Grundwasserentnahme durch den Chlorideintrag von der Straßenentwässerung zu prüfen. In Hinblick darauf, dass eine Trinkwassergewinnung ohne spezielle Aufbereitung zur Reduktion von Chlorid anzustreben ist, könnte im Analogieschluss zur Trinkwasser-VO und unter Berücksichtigung der QZV Chemie GW ein Maximalwert von 180 mg/l Chlorid (entspricht dem Schwellenwert der QZV Chemie GW) als Richtwert im Grundwasserkörper angesetzt werden.

Diffuse Gewässerverunreinigungen sind nicht bewilligungspflichtig iSd § 32 iVm § 12 Abs. 1 WRG 1959. Da jedoch auch diffuse Chlorideinträge aus anderen Quellen auftreten können, muss dafür anhand der konkreten Rahmenbedingungen ein ausreichender Puffer berücksichtigt werden. Damit kann die zukünftige Nutzung des Grundwassers von bestehenden Trinkwassernutzungen sichergestellt werden.

2.1.7 Zulässige Beeinflussung bestehender Nutzwasserbrunnen

Für bestehende rechtmäßig geübte Nutzwasserbrunnen ist ebenso wie für Trinkwasserbrunnen eine mögliche Beeinträchtigung der Grundwasserentnahme durch den Chlorideintrag aus der Straßenentwässerung zu prüfen. Es ist dabei sicherzustellen, dass die bestehende Grundwasserqualität für die rechtmäßig geübte Grundwassernutzung nicht nachteilig beeinträchtigt wird.

Als Maßstab für die Festlegung eines Richtwertes für die zulässige Beeinflussung einer Nutzwasserentnahme durch Chlorid ist die Chloridverträglichkeit der Kulturpflanzen heranzuziehen. Die Einhaltung eines Richtwertes von 200 mg/l Chlorid für den Schutz weniger salzempfindlicher landwirtschaftlicher Kulturen ist ausreichend. Bei salzempfindlichen Sonderkulturen wie z.B. Wein- und Obstbau können an ungünstigen Standorten bereits bei einer Chloridkonzentration von unter 100 -150 mg/l Schäden an den Kulturpflanzen auftreten. Lt. ÖWAV Regelblatt 407 (ÖWAV, 2016) ist nur Bewässerungswasser mit einem Chloridgehalt unter 70 mg/l für nahezu alle Pflanzen geeignet. Bei Chloridgehalten zwischen 70 und 140 mg/l ist das Wasser für chloridverträgliche Pflanzen geeignet; chloridempfindliche Pflanzen zeigen bereits leichte bis mittlere Schäden.

Salzempfindlich sind viele Sonderkulturen (v.a. Obst), **mäßig salzempfindlich** viele Gemüsearten, Wein und Mais. Als **wenig empfindlich** gelten z.B. Getreide und Rüben (siehe Tabelle 3, S. 14).

Tabelle 1: Salzverträglichkeit von Kulturpflanzen lt. FAO (1994) nach ÖWAV RB 407 (Tabelle 3) adaptiert

Verträglichkeitsklasse	Pflanze
EMPFINDLICH	Apfel, Birne, Brombeere, Erdbeere, Gartenbohne, Himbeere, Johannisbeere, Karotte, Kirsche, Marille, Pastinak, Pfirsich, Zwetschke, Zwiebel
MÄSSIG EMPFINDLICH	Blumenkohl, Brokkoli, Erbse, Fuchsschwanz, Grünkohl, Gurke, Kartoffel, Knäuelgras, Kohl, Kohlrabi, Kopfsalat, Kürbis, Lein, Luzerne, Mais, Pferdebohne, Radieschen, Rosenkohl, Rotklee, Sellerie, Silomais, Sonnenblume, Spinat, Tomate, Tresse, Weintraube, Weiße Rübe, Weißklee, Wicke, Wiesenlieschgras, Zuckermais
MÄSSIG TOLERANT	Durum, Weizen, Futtergerste, Hafer, Kürbis, Raps, Raygras, Roggen, Rote Rübe, Sojabohne, Triticale, Weizen, Wiesenschwingelgras, Zucchini
TOLERANT	Gerste, Spargel, Zuckerrübe

Einige mehrjährige Kulturpflanzen, insbesondere aus der Gruppe der Obstbäume und Sträucher sowie die Weinrebe, werden durch höhere Chloridgehalte im Bewässerungswasser geschädigt, da Chlorid in den Blättern akkumuliert wird. Auf den Boden wirkt sich dagegen das Chloridion nicht nachteilig verändernd aus, weshalb es auch bei der überwiegenden bodenbezogenen Klassifizierung der Wasserqualität meist unberücksichtigt bleibt.

Neben den genannten Obstarten können auch einige Acker- und Gemüsekulturen chloridempfindlich sein (chloridreiches Bewässerungswasser verringert z. B. den Stärkegehalt bei Kartoffeln).

Tabelle 2: Richtwerte für die Klassifizierung des Bewässerungswassers nach Chloridgehalt (ACHTNICH, 1980), Quelle: ÖWAV RB 407 (Tabelle 8)

Einstufung	Chloridgehalt	
	mmol/l	mg/l (ca.)
Wasser ist geeignet für nahezu alle Pflanzen.	< 2	< 70
Wasser ist geeignet für chloridverträgliche Pflanzen. Chloridempfindliche Pflanzen zeigen leichte bis mittlere Schäden.	2–4	140
Wasser ist geeignet für gut chloridverträgliche Pflanzen. Weniger chloridverträgliche Pflanzen zeigen leichte bis mittlere Schäden.	4–8	140–280
Wasser ist noch geeignet für gut chloridverträgliche Pflanzen, die jedoch leichte bis mittlere Schäden aufweisen können.	> 8	> 280

Tabelle 3: Chloridverträglichkeit von Kulturpflanzen, Quelle: ÖWAV RB 407 (Tabelle 8)

Pflanzenart	Maximal zulässiger Chloridgehalt im Bewässerungswasser	
	mmol/l	mg/l
Beerenfrüchte	3,3 – 6,7	115 – 240
Erdbeeren	3,3 – 5,0	115 – 180
Steinobst	5,0 – 17,0	180 - 600
Weinreben	6,7 – 27,0	240 - 960

Grundsätzlich muss berücksichtigt werden, dass nicht nur der Chloridgehalt allein für die Eignung als Bewässerungswasser aussagekräftig ist, sondern neben dem SAR Wert, der RSC (Natrium-Carbonat-Restwert), die Bodenart und der Gesamtsalzgehalt aus dem Bodenwasserextrakt.

Für die Beurteilung der Auswirkungen eines Chlorideintrages von Straßenwässern auf die Nutzwasserversorgung von salzempfindlichen Pflanzen (Sonderkulturen) wird daher die Beiziehung eines / einer landwirtschaftlichen Sachverständigen im Genehmigungsverfahren angeraten.

2.1.8 Zulässige Beeinflussungen von Waldgebieten

Forstliche Nutzungen sind auf eine mögliche Beeinträchtigung bestehender Wasserrechte (Nutzwasserbrunnen) zu prüfen. Würde durch Chlorideinträge die Produktionskraft des Waldbodens wesentlich geschwächt oder vernichtet, oder der Bewuchs einer flächenhaften Gefährdung ausgesetzt, dann verstößt dies gegen die Bestimmungen § 16 ForstG und erfüllt den strafbaren Tatbestand der Waldverwüstung.

Unter ungünstigen Bedingungen können auch bereits bei Chloridkonzentrationen von unter 100 mg/l im pflanzenverfügbaren Grund- oder Bodenwasser Schäden am Bewuchs auftreten. Bei möglichen direkten Beeinflussungen (Versickerung von chloridhaltigen Straßenabwässern in Waldgebieten) oder indirekten Chlorideinträgen in Wald (über pflanzenverfügbares Grundwasser) ist jedenfalls die Beiziehung eines / einer forstlichen Sachverständigen im Genehmigungsverfahren erforderlich. Hinweis: bei mittleren Flurabständen von weniger als 6 m ist zu prüfen, ob Grundwasser in Abhängigkeit von der Tiefe

des durchwurzelbaren Bodens und vom kapillaren Grundwasseraufstieg pflanzenverfügbar ist.

2.1.9 Zusammenfassung der erforderlichen Nachweise

➤ **Planungsgrundsätze der WRRL und des WRG 1959:**

Keine gesonderten Nachweise erforderlich

➤ **QZV Chemie GW:**

Ein Nachweis, dass keine wasserwirtschaftliche Handlungsverpflichtung (Beobachtungsgebiet oder voraussichtliches Maßnahmengebiet) für den Grundwasserkörper ausgelöst wird, ist im Einzelfall in Abhängigkeit von den Chloridkonzentrationen im Grundwasserkörper und der Trassenlage erforderlich.

Durch die Überschreitung des Schwellenwertes von 180 mg/l Chlorid nach einer Bodenpassage und vor dem Eintritt in den Grundwasserkörper ist der Nachweis zu führen, dass keine Verschlechterung des Grundwasserkörpers (Erhaltung des guten Zustandes) erfolgt.

Ausgangspunkt für Trendumkehr: 150 mg/l

Schwellenwert: 180 mg/l

➤ **Trinkwasser-RL und Trinkwasser-VO:**

Keine gesonderten Nachweise erforderlich

➤ **Zulässige Beeinflussung bestehender Nutzwasserbrunnen und Forst:**

Berechnung der Chloridkonzentration an der Nutzwasserentnahmestelle.

Richtwert für gering salzempfindliche Kulturen: 200 mg/l (siehe Kapitel 2.1.7).

Für salzempfindliche Kulturen und Forstflächen wird kein Richtwert festgesetzt, sondern die konkrete Prüfung möglicher Beeinträchtigungen durch Sachverständige empfohlen.

2.2 **Wasserrechtsgesetz (WRG 1959)**

Reinhaltungsziel nach § 30 Abs 1 WRG 1959

Gemäß § 30 Abs 1 WRG 1959 sind alle Gewässer (Oberflächengewässer und Grundwasser) im Rahmen des öffentlichen Interesses und nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen so reinzuhalten und zu schützen, dass die in dieser Bestimmung genannten Beeinträchtigungen vermieden werden. Grundwasser ist so reinzuhalten, dass es als Trinkwasser verwendet werden kann. Grundwasser ist weiters so zu schützen, dass eine schrittweise Reduzierung der

Verschmutzung des Grundwassers und Verhinderung der weiteren Verschmutzung sichergestellt wird. Dies gilt unabhängig von der derzeit vorhandenen Beschaffenheit des Gewässers. Diese Bestimmung erfasst daher auch bereits beeinträchtigte Gewässer.

Umweltziele für Grundwasser nach § 30c WRG 1959

§ 30c Abs 1 WRG 1959 sieht vor, dass Grundwasser derart zu schützen, zu verbessern und zu sanieren ist, dass eine Verschlechterung des jeweiligen Zustands verhindert wird. Zudem sollte bis spätestens 22. Dezember 2015 der gute Zustand erreicht werden. Der gute Zustand im Grundwasser ist dann erreicht, wenn sich der Grundwasserkörper zumindest in einem guten mengenmäßigen und einem guten chemischen Zustand befindet. Damit wird in § 30c Abs 1 WRG 1959 das sogenannte "Verschlechterungsverbot" für Oberflächen-gewässer normiert.

Fremde Rechte nach § 12 Abs 2 WRG 1959

Neben dem Reinhaltungsziel des § 30 Abs 1 WRG 1959 gilt es bei der zu bewilligenden Wasserbenutzung die Wahrung der geschützten öffentlichen Interessen (§105 WRG) und der fremden Rechte zu berücksichtigen (§ 12 Abs 1 WRG 1959). Zu den bewilligungspflichtigen Wasserbenutzungen gehören in Zusammenhang mit Straßenbauvorhaben insbesondere gezielte Einleitungen in Gewässer gemäß § 32 WRG 1959.

Fremde Rechte sind:

- rechtmäßig geübte Wassernutzungen,
- Nutzungsbefugnisse nach § 5 Abs 2 WRG 1959 und das Grundeigentum.

Bei der Verletzung dieser Rechte gibt es keine Geringfügigkeitsgrenze. Bereits eine bloß geringfügige Verletzung von Rechten Dritter in qualitativer oder quantitativer Hinsicht stellt grundsätzlich eine der Erteilung einer wasserrechtlichen Bewilligung entgegenstehende Rechtsverletzung dar. Kommt es durch ein Vorhaben zu einer Verletzung derartiger Rechte kann die Bewilligungsfähigkeit nur durch die Zustimmung des Dritten oder durch die Einräumung von Zwangsrechten (jeweils unter Einhaltung der sonst maßgeblichen Bewilligungsvoraussetzungen) hergestellt werden.

Allgemeine Sorgfaltspflicht nach § 31 WRG 1959

Gemäß § 31 WRG 1959 hat jedermann, dessen Anlagen, Maßnahmen oder Unterlassungen eine Einwirkung auf Gewässer herbeiführen können, mit der iSd § 1297 ABGB, zutreffendenfalls mit der iSd § 1299 ABGB gebotenen Sorgfalt seine Anlagen so herzustellen, instand zu halten und zu betreiben oder sich so zu verhalten, dass eine Gewässerverunreinigung vermieden wird, die den Bestimmungen des § 30 WRG 1959 zuwiderläuft und nicht durch eine

wasserrechtliche Bewilligung gedeckt ist. Gegebenenfalls kann die Behörde unmittelbar auf Kosten des Verpflichteten tätig werden.

Bewilligungspflicht nach § 32 WRG 1959

Nach § 32 Abs 2 lit c WRG 1959 bedürfen Maßnahmen, die zur Folge haben, dass durch Eindringen (Versickern) von Stoffen in den Boden das Grundwasser verunreinigt wird der wasserrechtlichen Bewilligung, sofern es sich nicht um bloß geringfügige Einwirkungen handelt. Dieser Bewilligungstatbestand erfasst auch Einleitungen ins Grundwasser nach Bodenpassage. Bei der Bewilligung sind die Vorgaben der nachstehend genannten Verordnungen und die Bewilligungsvoraussetzungen der §§ 104 ff WRG 1959 zu beachten.

§ 32a WRG 1959 sieht Einbringungsbeschränkungen und -verbote für bestimmte Stoffe in Gewässer vor. Nähere Bestimmungen zur Einbringung ins Grundwasser finden sich in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser.

Interessenabwägung nach § 104a WRG 1959

§ 104a WRG 1959 regelt die Vorgehensweise bei Vorhaben, die den Gewässerzustand negativ beeinträchtigen. Dabei sind Vorhaben, bei denen durch Änderungen des Wasserspiegels von Grundwasserkörpern (Z 1) mit einem Nichterreichen eines guten Grundwasserzustandes, eines guten ökologischen Zustands oder gegebenenfalls eines guten ökologischen Potentials (lit a) oder mit einer Verschlechterung des Zustands eines Grundwasserkörpers (lit b) zu rechnen ist, jedenfalls Vorhaben, bei denen Auswirkungen auf öffentliche Rücksichten zu erwarten sind (§ 104a Abs 1 Z 2 WRG 1959). Sollte dies zutreffen, kann eine Bewilligung dennoch unter den in Abs 2 dieser Bestimmung vorgesehenen Voraussetzungen (Prüfung der öffentlichen Interessen) erteilt werden. Gemäß Abs. 3 ist im Rahmen der Überprüfung der öffentlichen Interessen, insbesondere hinsichtlich der Vereinbarkeit des Vorhabens mit wasserwirtschaftlichen Planungen und Zielen, das wasserwirtschaftliche Planungsorgan nachweislich beizuziehen. Der gute Zustand des Grundwassers ist anhand der QZV Chemie GW zu beurteilen.

Keine Ausnahmegewilligung gibt es dagegen für den Fall des Nichterreichens bzw. einer Verschlechterung des guten chemischen Zustands.

Antragsunterlagen

§ 103 WRG 1959 regelt, welche Unterlagen einem Ansuchen auf Erteilung einer wasserrechtlichen Bewilligung anzuschließen sind. Diese Auflistung ist nicht abschließend, generell empfiehlt es sich, den Umfang der einzureichenden Unterlagen vorab mit der Behörde abzuklären. Verwiesen wird dazu auf die Leitlinie „UVP-Verfahren und Wasserrecht für Straßenbauvorhaben“ (BMVIT, 2014).

Überprüfung nach § 134 WRG 1959

Wasserberechtigte haben das Maß ihrer Einwirkung auf ein Gewässer sowie den Betriebszustand und die Wirksamkeit der bewilligten Abwasserreinigungsanlagen auf ihre Kosten überprüfen zu lassen. Diese Überprüfungen haben grundsätzlich in Zeitabständen von höchstens fünf Jahren zu erfolgen (§ 134 Abs 2, 3 WRG 1959), wobei § 8 QZV Chemie GW für Einleitungen in das Grundwasser ein kürzeres Intervall von vier Jahren vorsieht.

2.3 Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW

Die Verordnung enthält die zentralen Regelungen in Bezug den guten chemischen Zustand des Grundwassers. Ziel dieser Verordnung ist die Bezeichnung des guten chemischen Zustands sowie der im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot maßgeblichen Kriterien zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung durch Festlegung von

- Schwellenwerten für Schadstoffe
- Kriterien für die Ermittlung und Beurteilung der Messergebnisse
- Kriterien für die Ermittlung signifikanter und anhaltender steigender Trends
- Maßnahmen zu Schadstoffeintragsminimierung
- Pflichten zur Untersuchung und Überwachung der Einbringung von bestimmten Stoffen
- Mindestanforderungen an den Inhalt von Bewilligungsbescheiden

Maßgeblich für den Parameter Chlorid sind die Bestimmungen § 5 sowie der im Anhang 1 abgebildete Schwellenwert von 180 mg/l und der Ausgangspunkt für die Trendumkehr von 150 mg/l.

Wesentliche Bedeutung hat die QZV Chemie GW im Zusammenhang mit der Frage, ob eine Verschlechterung des guten Zustands des Grundwasserkörpers oder eine Verschmutzung des Grundwassers eintritt (§§ 104a iVm § 30c WRG 1959).

2.4 Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 (UVP-G 2000)

Neben den im WRG 1959 und den darauf erlassenen Verordnungen festgelegten Bewilligungsvoraussetzungen sind im UVP-Verfahren nach dem dritten Abschnitt die in § 24f UVP-G 2000 geregelten Genehmigungsvoraussetzungen zu prüfen. Dabei sind Emissionen von Schadstoffen nach dem Stand der Technik zu begrenzen und die Immissionsbelastung zu schützender Güter möglichst gering zu halten. Für die Bewilligung der Ableitung chloridbelasteter Wässer bedeutet dies, dass – sofern die übrigen Bewilligungsvoraussetzungen gegeben sind – über den Stand der Technik hinausgehende Minimie-

rungsmaßnahmen nicht erforderlich sind, wenn eine Gefährdung der in § 24f Abs 1 Z 2 UVP-G 2000 genannten Schutzgüter vermieden wird.

Abzustellen ist auf voraussichtliche Beeinträchtigungen. "Worst case"-Szenarien oder hypothetische Beeinträchtigungen sind der Beurteilung nicht zugrunde zu legen (BVwG 21.08.2017, W143 201-7269-2).

3 BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN

Zur Beurteilung der Zulässigkeit der Einleitung von chloridbelasteten Straßenwässern in das Grundwasser müssen folgende Daten vorliegen:

- Meteorologische und hydrologische Daten
- Daten über die hydrogeologische Beschaffenheit des Grundwasser-aquifers
- Vorbelastung des Grundwassers
- Streufläche und Streumenge
- Anlagenverhältnisse der Straße und Angaben über das Entwässerungssystem
- Grundwassernutzungen im Umfeld/Abstrom der Versickerungsanlagen
- Eintrag durch Sprühnebel (Anteil an Streumenge)

Anhand der Daten über die hydrogeologische Beschaffenheit des Grundwasseraquifers kann festgelegt werden, inwieweit die in Kapitel 5 beschriebene Methodik zur Ermittlung eines vorhabensbedingten Eintrags von Chloriden ins Grundwasser anzuwenden ist. Sollte kein Porengrundwasserkörper (Geltung des Darcy'schen Gesetzes) mit Durchlässigkeitsbeiwerten $> 1 \cdot 10^{-5}$ m/s vorliegen, so ist eine Einzelfallbeurteilung vorzunehmen.

Die dem vorliegenden Leitfaden gemäß Tabelle 4, S. 22 zugrundeliegenden Streudaten für das hochrangige Straßennetz (bis zum Frühjahr 2018) basieren auf den von der ASFNAG zur Verfügung gestellten Daten. Können dieser Tabelle keine Angaben über die ausgebrachten Mengen von Streumitteln entnommen werden, so sind diese anhand von Aufzeichnungen der lokalen Straßenmeistereien zu ermitteln.

4 CHLORIDBEZOGENE GRUNDLAGEN

4.1 Arten und Einsatz chloridhaltiger Auftaumittel

In Österreich kommt vornehmlich Natriumchlorid (idF kurz: NaCl) als Auftausalz zur Verwendung. Ausgebracht wird es über Streufahrzeuge als be-

feuchtetes NaCl mit differenziertem Soleanteil oder reiner NaCl-Sole. Der Einsatz von NaCl-Sole hat seit etwa 2010 den Einsatz von Trockensalz weitgehend ersetzt. So erfolgt die Streuung vielfach mit umgebauten Streufahrzeugen für FS 50 und FS 70 (Soleanteil 50 bzw. 70%), teilweise bereits auch mit FS100 (reine Solestreuung).

Calciumchlorid (CaCl_2) wird nur mehr unter besonderen Bedingungen eingesetzt.

4.2 Ermittlung der spezifischen Chloridmenge CIS als Bemessungswert

Für die Berechnung der zu erwartenden einleitungsbedingten Chloridimmission ist die Ermittlung der spezifischen Chloridmenge CIS als Bemessungswert erforderlich. Dabei sind folgende Parameter zu berücksichtigen:

- Chloridanteil im Streumittel
- Streudaten
- Diffuse Verluste
- 85%-Wert

4.2.1 Chloridanteil im Streusalz

Streumittel kommen in unterschiedlichen Reinheitsgraden zum Einsatz. Aus den Salzstreumitteln ist daher der Chloridanteil im Streusalz zu berechnen.

- Natriumchlorid wird mit unterschiedlichen Reinheitsgraden vertrieben. Bei 100%iger Reinheit beträgt der Chloridanteil 60,7%. Bei 95%iger Reinheit beträgt der Chloridgehalt $60,7\% \cdot 0,95 = 57,7\%$. Daraus ergibt sich für die Berechnung der Chloridmenge ein Umrechnungsfaktor von ca. 0,58.
- Calciumchlorid wird in Form von 78%igem CaCl_2 eingesetzt. Unter Berücksichtigung von Schwankungen des CaCl_2 -Gehaltes und Unreinheiten ergibt sich daraus für die Berechnung der Chloridmenge ein Umrechnungsfaktor von ca. 0,49.

4.2.2 Streudaten

Von der ASFINAG wurden für jede Autobahnmeisterei die in ihrem Zuständigkeitsbereich über die gesamte Winterperiode aufgebrauchte Salzstreuemenge ermittelt. Die Daten stehen für 11 Winterperioden von 2007/2008 bis 2017/2018 zur Verfügung. Anhand der statistisch bereinigten Daten wurde im jeweiligen Zuständigkeitsbereich der Autobahnmeisterei auf Grundlage der gesamten Straßeneinzugsfläche und unter Berücksichtigung des Chloridanteiles (siehe Kapitel 4.2.1) die flächenspezifische Chloridstreuemenge über die gesamte Winterperiode [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{p})$] berechnet. In Tabelle 4, S. 22 sind diese Daten für jede Autobahnmeisterei für die 11 Winterperioden dargestellt. Zur

Verdeutlichung des starken Unterschiedes zwischen milden und strengen Wintern sind zusätzlich die im betrachteten Zeitraum aufgetretenen Maxima, Minima sowie die Mittelwerte angegeben.

4.2.3 Diffuse Verluste

Vom aufgebrachtem Streusalz gelangt nicht die gesamte Streumenge in die Entwässerungseinrichtungen entlang der Straße (Sammelkanäle, Mulden etc.). Durch diffuse Verluste wie z.B. Verschleppung durch Kfz, Anhaften an Pflanzen Straßenbegleitgrün und an Straßensicherungseinrichtungen (z.B.: Leitschienen, Leitpflöcke, Wegweiser) reduziert sich der Chlorideintrag in die Entwässerungseinrichtungen. Erfahrungsgemäß kann ein Anteil von 10% als diffuser Verlust angesetzt werden. Für die Ermittlung der spezifischen Chloridstreumenge C_{ls} als Bemessungswert wurde daher der Maximalwert der 11-Jahresreihe um einen diffusen Anteil von 10% reduziert (siehe Tabelle 4, S. 22).

Zusätzlich zu den diffusen Verlusten ist jener Anteil der Streumenge zu betrachten, welcher als Sprühnebel (siehe Kapitel 4.2.5) außerhalb der von der Straßenentwässerung erfassten Einzugsgebiete über Böschungen und angrenzendes Gelände versickert.

Messungen bzw. Praxiserfahrungen können aus LEONARDI (1985), AMUNDSEN et.al. (2010), LÖFGREN (2001) bzw. LUNDMARK und OLOFSON (2007) entnommen werden.

4.2.4 85%-Wert

Die Zielvorgaben eines nachhaltigen Gewässerschutzes könnten mit dem Ansatz des Maximalwerts der vorliegenden 11-Jahresreihe als Bemessungswert der spezifischen Chloridstreumenge C_{ls} jedenfalls erreicht werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Auftretswahrscheinlichkeit von Winterperioden mit diesem hohen Streumittelwert gering ist, kann ein ausreichender Gewässerschutz bei längerfristiger Betrachtung auch mit einem niedrigeren Bemessungswert erreicht werden. In Anlehnung an Technische Regelwerke (z.B. ATV-DVWK-A 198) ist es vertretbar, statt des reduzierten Maximalwerts, den 85%-Wert als Bemessungswert der spezifischen Chloridstreumenge C_{ls} heranzuziehen. Der 85%-Wert entspricht in etwa dem Mittelwert plus der statistischen Standardabweichung der Messwerte. Damit ist gewährleistet, dass einzelne aufgetretene Spitzenwerte zwar statistisch erfasst werden, nicht aber als solche in vollem Umfang für die Immissionsbetrachtung herangezogen werden.

Der in der Tabelle 4, S. 22 für die spezifischen Chloridstreumenge C_{ls} angegebene Bemessungswert wurde nach nachstehender Formel ermittelt:

$$C_{ls} = \text{Max}_{11\text{-Jahresreihe}} * 0,9_{\text{diffuse Verluste}} * 0,85_{85\%\text{-Wert}}$$

LEITFADEN
VERSICKERUNG CHLORIDBELASTETER STRASSENWÄSSER

Tabelle 4: Auswertung der Chloridstromengen 2007-2018 mit dem Ergebnis der spezifischen Chloridstrommenge CIS [kg/(m²*p)] als Bemessungswert

ABM	Chloridanteil der Stromengen 2007-18 [kg/(m ² .p)]											Ermittlung Bemessungswert Cl _s [kg/(m ² .p)]					
	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	Min	Max	MW	Max. abzgl. 15%	Diffuse Verluste 10%	Bemessungswert
Region Nord																	
ABM-St. Pölten	1,31	2,05	2,16	1,21	0,82	1,89	0,56	0,88	0,77	1,12	1,29	0,56	2,16	1,41	1,84	0,18	1,65
ABM-Haag	0,82	1,51	1,35	1,38	0,74	1,75	0,48	0,92	0,56	1,13	1,24	0,48	1,75	1,19	1,49	0,15	1,34
ABM-Ybbs	0,88	1,81	2,15	0,99	0,75	1,71	0,39	0,94	0,50	1,09	1,19	0,39	2,15	1,24	1,83	0,18	1,64
ABM-Ansfelden	0,72	1,13	1,47	1,26	0,86	1,71	0,51	0,94	0,93	1,25	1,14	0,51	1,71	1,19	1,45	0,15	1,31
ABM-Ried	0,61	1,05	1,68	1,67	0,83	1,85	0,34	0,74	0,87	1,13	1,37	0,34	1,85	1,21	1,57	0,16	1,42
ABM-Wels	1,24	1,40	1,68	2,00	1,00	1,80	0,56	0,85	0,67	1,06	1,06	0,56	2,00	1,33	1,70	0,17	1,53
ABM-Seewalchen	1,15	1,78	1,55	1,52	1,15	1,89	0,83	1,41	1,09	1,52	1,83	0,83	1,89	1,57	1,60	0,16	1,44
ABM-Kalwang	1,43	2,42	1,61	1,88	1,78	1,91	1,19	1,81	1,21	1,41	1,59	1,19	2,42	1,82	2,06	0,21	1,85
ABM-Ardning	2,62	3,97	3,05	2,73	3,56	3,18	1,58	2,77	2,16	2,65	3,37	1,58	3,97	3,16	3,37	0,34	3,04
Region Ost																	
ABM-Kaisermühlen	0,77	1,53	1,54	1,22	0,73	2,05	0,39	0,62	0,55	0,70	0,64	0,39	2,05	1,07	1,75	0,17	1,57
ABM-Inzersdorf	0,39	0,55	1,00	0,68	0,48	1,58	0,34	0,61	0,47	0,80	0,89	0,34	1,58	0,78	1,34	0,13	1,21
ABM-Pressbaum	2,48	4,06	3,34	1,64	1,02	3,82	0,65	1,51	0,97	1,45	1,58	0,65	4,06	2,25	3,45	0,35	3,11
ABM-Oeynhausen	1,06	1,57	1,43	0,82	0,45	1,58	0,54	0,53	0,51	0,70	0,60	0,45	1,58	0,98	1,34	0,13	1,21
ABM-Schwechat	0,59	0,86	1,19	0,87	0,64	1,29	0,50	0,58	0,41	0,67	0,49	0,41	1,29	0,81	1,09	0,11	0,98
ABM-Alland	2,33	4,90	3,81	1,96	1,79	4,85	0,91	2,13	1,12	1,76	2,17	0,91	4,90	2,77	4,17	0,42	3,75
ABM-Stockerau	0,64	1,10	1,55	1,65	0,56	1,52	0,38	0,38	0,36	0,72	0,81	0,36	1,65	0,97	1,40	0,14	1,26
ABM-Jettsdorf					0,38	1,09	0,31	0,44	0,37	0,64	0,77	0,31	1,09	0,57	0,93	0,09	0,84
ABM-Neutal	0,70	1,11	0,78	0,68	0,42	1,06	0,37	0,39	0,39	0,45	0,85	0,37	1,11	0,72	0,94	0,09	0,85
ABM-Eisenstadt	0,49	1,00	0,83	0,77	0,32	1,71	0,39	0,31	0,46	0,69	0,79	0,31	1,71	0,77	1,45	0,15	1,31
ABM-Pamdorf	0,64	1,12	0,96	0,96	0,59	1,86	0,43	0,89	0,64	1,14	1,06	0,43	1,86	1,03	1,58	0,16	1,42
Region Süd																	
ABM-Warth	1,31	2,14	1,66	1,35	1,02	2,32	1,15	0,99	0,89	1,29	1,77	0,89	2,32	1,59	1,97	0,20	1,77
ABM-Markt Allhau	0,89	1,70	1,95	1,65	1,12	2,52	1,59	1,26	0,87	1,42	2,25	0,87	2,52	1,72	2,14	0,21	1,93
ABM-Mürzzuschlag	0,97	2,34	1,80	1,48	2,75	2,36	0,82	1,49	0,96	1,41	1,43	0,82	2,75	1,78	2,34	0,23	2,10
ABM-Bruck / Mur	1,12	2,28	2,06	1,60	2,18	2,08	1,20	1,38	0,84	1,13	1,77	0,84	2,28	1,76	1,94	0,19	1,74
ABM-Knittelfeld	0,83	1,57	1,11	0,61	1,08	1,27	0,59	0,42	0,59	0,53	1,22	0,42	1,57	0,98	1,33	0,13	1,20
ABM-Unterswald	2,21	3,37	3,71	1,57	1,49	3,65	1,98	1,35	1,11	1,01	2,00	1,01	3,71	2,35	3,15	0,32	2,84
ABM-Ilz	0,70	1,20	1,23	0,84	0,56	1,55	0,74	0,52	0,59	0,66	1,12	0,52	1,55	0,97	1,31	0,13	1,18
ABM-Lebring	0,26	1,37	1,51	0,77	0,77	1,22	0,85	0,57	0,50	0,42	1,36	0,26	1,51	0,96	1,28	0,13	1,16
ABM-Graz / Raaba	0,41	0,84	1,18	0,94	0,71	1,38	0,80	0,45	0,47	0,42	0,98	0,41	1,38	0,86	1,17	0,12	1,06
ABM-Guggenbach	1,08	1,94	1,85	1,33	1,44	1,81	1,28	0,99	0,93	0,80	1,47	0,80	1,94	1,49	1,65	0,16	1,48
Region West																	
ABM-Liefering	0,93	1,50	1,30	1,30	1,11	1,84	0,48	1,02	0,83	1,20	1,51	0,48	1,84	1,30	1,57	0,16	1,41
ABM-Golling	0,96	1,47	0,72	1,28	1,32	1,60	0,53	1,32	0,94	1,46	1,85	0,53	1,85	1,34	1,57	0,16	1,41
ABM-Flachau	2,56	3,96	2,71	2,36	3,16	3,74	2,29	2,74	2,31	2,87	3,56	2,29	3,96	3,23	3,37	0,34	3,03
ABM-St. Michael	1,43	2,45	0,15	1,44	1,71	1,73	1,59	1,51	1,10	1,32	2,41	0,15	2,45	1,68	2,08	0,21	1,87
ABM-Wolfsberg	0,93	2,28	1,78	1,08	1,08	2,00	0,96	0,78	0,78	0,52	1,86	0,52	2,28	1,40	1,94	0,19	1,74
ABM-Villach	0,81	2,45	2,18	1,58	1,20	2,50	1,38	0,96	1,13	0,78	2,09	0,78	2,50	1,71	2,12	0,21	1,91
ABM-Lieserhofen	0,55	1,76	1,08	1,07	0,80	1,49	1,15	0,37	0,67	0,50	1,44	0,37	1,76	1,09	1,50	0,15	1,35
ABM-Klagenfurt	0,41	1,36	1,72	1,14	1,45	2,72	1,01	1,03	0,72	0,66	1,22	0,41	2,72	1,34	2,31	0,23	2,08
ASG																	
ABM Imst	0,89	2,14	0,89	0,97	2,41	1,88	0,65	1,38	1,23	1,52	2,27	0,65	2,41	1,62	2,05	0,20	1,84
ABM Vomp	0,98	1,63	1,23	1,25	2,03	1,60	0,72	1,34	1,39	1,35	1,44	0,72	2,03	1,49	1,73	0,17	1,55
ABM Plon	1,77	3,14	1,98	2,46	4,25	3,52	2,37	2,75	2,31	2,89	3,35	1,77	4,25	3,08	3,61	0,36	3,25
ABM St. Jakob	1,52	1,49	1,51	1,55	5,16	4,51	2,76	3,41	3,59	3,80	4,97	1,49	5,16	3,43	4,39	0,44	3,95
ABM Hohenems	0,37	2,10	1,52	1,44	1,71	3,10	1,08	2,05	1,41	1,55	1,19	0,37	3,10	1,75	2,64	0,26	2,37

4.2.5 Sprühnebel

Als Sprühnebel bezeichnet man jene Gischt, die sich hinter Fahrzeugen abhängig von deren Geschwindigkeit und auch abhängig von der Nässe der Fahrbahn bildet. Ein Großteil dieses Sprühnebels fällt wieder auf die Fahrbahn zurück bzw. verbleibt in jenem Bereich des Straßenquerschnitts, der von der Straßenentwässerung erfasst ist. Abhängig vom Straßenquerschnitt gelangt ein Teil des Sprühnebels auf Flächen außerhalb des Einzugsgebietes der Straßenentwässerung. Dieser Anteil am Streumittel gelangt weitgehend zur Versickerung, auch nachdem Teile davon an Pflanzen oder an Straßenausstattung (Verkehrszeichen, Leitschienen, etc.) angehaftet war.

Der verfrachteten Sprühnebel wird in Abhängigkeit von der Tröpfchengröße, Luftströmung und den Verkehrsverhältnissen einige Meter bis an die 100 m weit transportiert (SIEGHARDT & WRESOWAR 2000). Innerhalb der ersten 10 m werden ca. 90 % des mit dem Sprühnebel verfrachteten Streusalzes deponiert (siehe Abbildung 1).

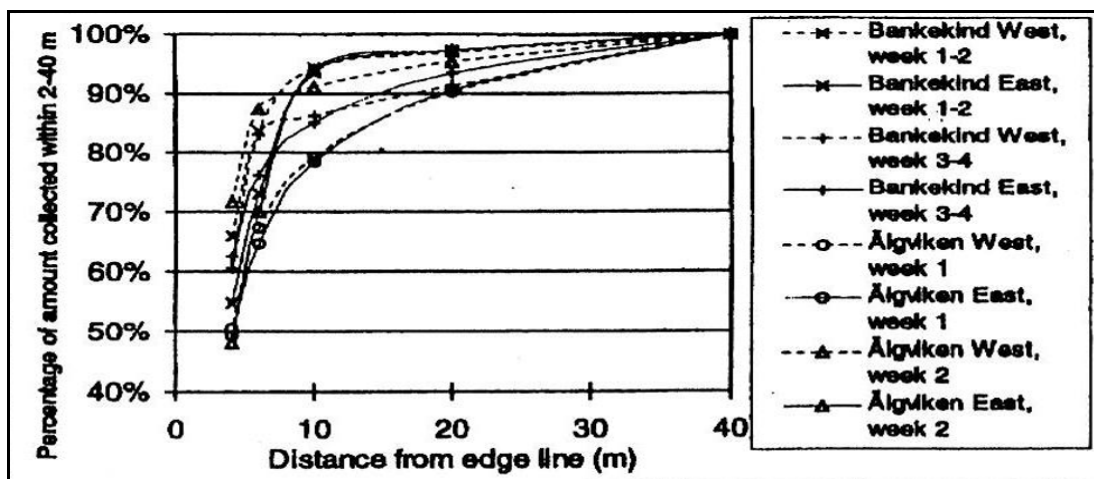


Abbildung 1: Kumulativer Anteil der durch den Sprühnebel deponierten Streusalzmengen im Straßenrandbereich von 2 bis 40m (SIEGHARDT & WRESOWAR 2000)

Die Messungen, die Abbildung 1 zugrunde liegen, erfolgten an Straßen mit vorwiegender Trockenstreuung. Durch zunehmenden Einsatz von Feuchtsalz bzw. Sole in Kombination mit einer verbesserten Streutechnik hat sich der Anteil des Sprühnebels an der gesamten Streumenge reduziert.

Das Ausmaß und die räumliche Ausdehnung des Sprühnebeleintrags hängen von folgenden lokalen Faktoren ab:

- Straßeneigenschaften: Belag, Querschnitt
- Verkehrsverhältnisse: Fahrzeugart, Geschwindigkeit, Intensität
- Entwässerungssystem
- Streusalzeinsatz: Menge, Methode

- Klima: Niederschlag, Temperatur, Wind
- Topographie

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Faktoren kann der Anteil des Sprühnebels am Bemessungswert für charakteristische Querschnitte gemäß Tabelle 5 angenommen werden.

Tabelle 5: Querschnittsbedingte Sprühnebelanteile am Bemessungswert

Querschnittselemente	Sprühnebelanteil	Anmerkung
Fahrbahn in Dammlage	25 %	
Fahrbahn in Dammlage	20 %	Sammlung der Straßenwässer am Böschungsfuß
Fahrbahn auf Geländeniveau	20 %	
Fahrbahn im Einschnitt	15 %	
Fahrbahn mit einseitigem Lärmschutz	10 %	Auf Lärmschutz auftreffender Sprühnebel wird in Straßenentwässerung gesammelt
Fahrbahn mit beidseitigem Lärmschutz	5 %	Auf Lärmschutz auftreffender Sprühnebel wird beidseitig in Straßenentwässerung gesammelt
Fahrbahn beidseitig im Einschnitt bzw. zwischen Steilwänden/Felsböschungen	2 %	Auf abgedichteten Einschnittsböschungen/Steilwänden auftreffender Sprühnebel wird in Straßenentwässerung gesammelt
Fahrbahn im Tunnel / Einhausung	0 %	

Zu den dargestellten Sprühnebelanteilen ist festzustellen, dass diese entsprechend der vorherrschenden Windrichtung bzw. allfällig vorgesehener Geschwindigkeitsbeschränkungen abgemindert werden können.

5 BERECHNUNGSVERFAHREN

Es hat sich gezeigt, dass in vielen Fällen die Kosten für die Erstellung eines numerischen Grundwassermodells aufgrund des dafür erforderlichen Aufwandes im Vergleich unverhältnismäßig hoch sind. Es wird daher empfohlen, mit einfacheren Methoden vorhabensbedingte Beeinträchtigungen der Grundwas-

serqualität abzuschätzen, sofern dies aus wasserwirtschaftlicher Sicht vertretbar erscheint.

Dazu wird

- mit einer Matrix (siehe Abbildung 8, S. 32) geprüft, ob und unter welchen Rahmenbedingungen die Anwendung einer vereinfachten Methode zur Abschätzung der Auswirkungen eines Chlorideintrags aus Straßenwässern ins Grundwasser möglich ist,
- festgelegt, welche Grundlagendaten für eine vereinfachte Abschätzung zu erheben sind,
- definiert, wie eine vereinfachte Abschätzung durchzuführen ist,
- festgelegt, welche Aussagen aus dem Ergebnis der vereinfachten Abschätzung möglich sind.

Mit der gegenständlichen Ausarbeitung soll PlanerInnen ein Instrumentarium zur Verfügung gestellt werden, um die technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Beurteilung des Eintrags von Chlorid aus Straßenwässern ins Grundwasser besser beurteilen zu können. Im gegenständlichen Leitfaden sind die Anforderungen für die Ausarbeitung eines wasserrechtlich bewilligungsfähigen Einreichprojekts bei Anwendung eines vereinfachten Abschätzungsverfahrens zusammengestellt.

Das Berechnungs- bzw. das Abschätzungsverfahren ist in Anhang 1 enthalten.

6 CHLORIDAUSBREITUNG IM GRUNDWASSER

6.1 Transport von Chlorid in das Grundwasser

Bei der Salzstreuung gelangt Chlorid durch das Abfließen von Tauwasser bzw. Niederschlag, Verwehung des trockenen Salzes, durch Ablagern von Räum Schnee von Verkehrsflächen und durch Verluste bei Lagerung und Verteilung in den Straßenrandbereich bzw., wenn vorhanden, in Entwässerungseinrichtungen. Über die Entwässerungseinrichtungen wird das Schmelzwasser in Oberflächengewässer eingeleitet oder versickert.

Sprühnebel und Trockendeposition gelangen durch den Fahrtwind in den Straßenrandbereich und können vom Entwässerungssystem nicht abgefangen werden. Nach Schätzungen kann davon ausgegangen werden, dass bis zu 25 % (siehe Tabelle 5, S. 24) des ausgebrachten Streusalzes bzw. der Sole mit dem Sprühnebel in die Straßenrandböden transportiert wird.

Im Altschnee wird das Tausalz durch lange Frostperioden akkumuliert, dadurch können nach Tauwetterperioden kurzfristig große Mengen Chlorid im Sickerwasser anfallen.

Chlorid infiltriert mit dem Niederschlags- bzw. Schmelzwasser in den Boden. Bei steilen Straßenrändern und eher undurchlässigen Böden dominiert der Oberflächenabfluss. Auch bei gefrorenem Boden ist die Infiltrationsrate sehr gering. Durch den direkten Oberflächenabfluss kann das Straßenwasser in Oberflächengewässer gelangen oder in größerer Entfernung zur Straße infiltrieren und versickern.

Der Chloridtransport in der ungesättigten Zone hängt von bodenphysikalischen Parametern, der Vegetation, Tiefe und Schwankung des Grundwasserspiegels und den klimatischen Faktoren ab. Das Chlorid wird in der ungesättigten Zone zwischengespeichert. Durch erhöhte Infiltration (Regen- oder Tauwetter) kann das Chlorid rasch innerhalb weniger Tage aus dem Boden ausgewaschen werden und gelangt so in den Grundwasserkörper. Insbesondere bei Versickerungsanlagen, bei welchen eine konzentrierte Versickerung von Straßenwasser erfolgt, ist mit einem sehr raschen Transport des Chlorids von der ungesättigten Zone in das Grundwasser zu rechnen.

Das Ausmaß und die räumliche Ausdehnung der Chloridbelastung hängen von folgenden lokalen Faktoren ab:

- Straßeneigenschaften: Belag, Querschnitt
- Verkehrsverhältnisse: Fahrzeugart, Geschwindigkeit, Intensität
- Entwässerungssystem
- Streusalzeinsatz: Menge, Methode
- Bodenart
- Hydrogeologie: Grundwasserneubildung, Aquifereigenschaften, Fließgeschwindigkeit, Flurabstand
- Klima: Niederschlag, Temperatur, Wind
- Topographie

6.2 Transport von Chlorid im Grundwasser

Chlorid zeigt Eigenschaften eines konservativen Tracers im Grundwasser, dessen Konzentration nur durch Verdünnung verringert wird, nicht jedoch durch Sorption und/oder diverse Abbau- oder Zerfallsprozesse.

Beim Transport von Chlorid im Grundwasser treten als Transportmechanismen Advektion, molekulare Diffusion und mechanische Dispersion auf. Die molekulare Diffusion kann für die gegenständliche Fragestellung im Wesentlichen vernachlässigt werden.

Natrium als zweiter Salzbestandteil ist beim Stofftransport im gesättigten Bereich nur untergeordnet relevant, da es aufgrund von Ionenaustausch und lo-

nenrückhalt nur zu einem geringen Teil ins Grundwasser gelangt. In diesem Kapitel wird daher nur der Chloridtransport behandelt.

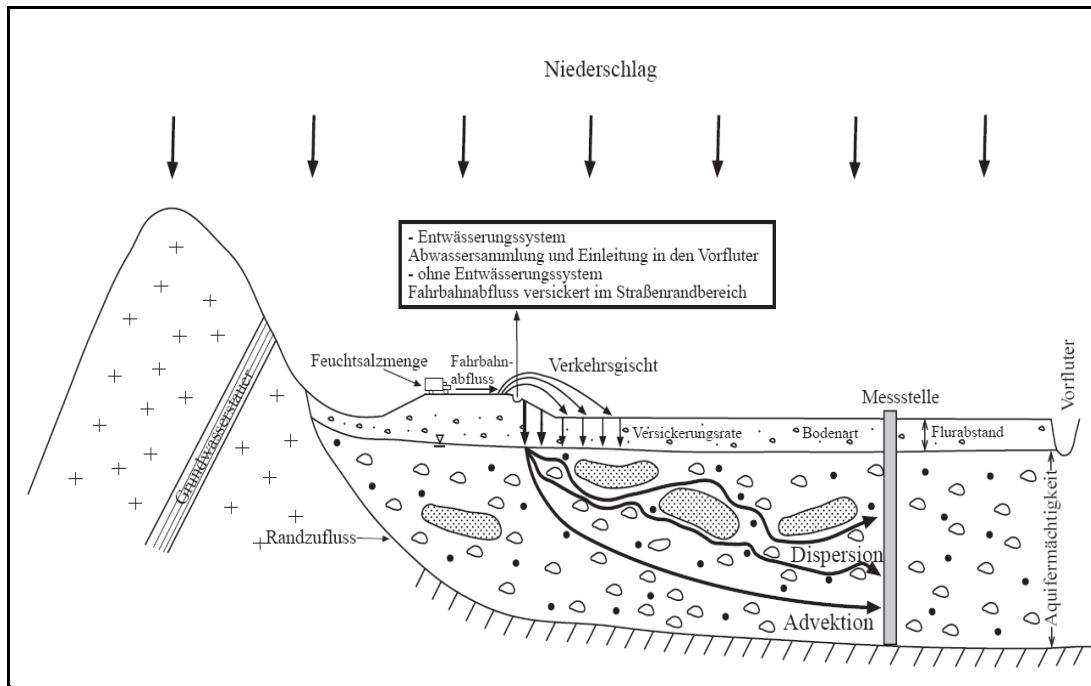


Abbildung 2: Konzeptionelles Modell – schematischer Talquerschnitt, Straßeneintrag und Transport von Salz ins und im Grundwasser (KOGSEDER 2008)

6.2.1 Advektion

Der advective Stofffluss (I_{adv}) ist der Transport gelöster Stoffe aufgrund der Grundwasserströmung. Die Fracht ist proportional zur Filtergeschwindigkeit des Grundwassers und der Schadstoffkonzentration und findet in Richtung der Grundwasserströmung statt.

$$I_{adv} = v_f \cdot c$$

wobei

$$v_a = \frac{v_f}{p_{eff}}$$

und

$$v_f = k_f \cdot J$$

Tabelle 6: Parameter Advektion

	Parameter	Einheit
ladv	advektiver Stofffluss	[g/m ² /s]
c	Konzentration	[g/m ³]
kf	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]
va	Abstandsgeschwindigkeit	[m/s]
vf	Filtergeschwindigkeit	[m/s]
peff	nutzbarer Hohlraumanteil	[-]
J	Gefälle	[-]

6.2.2 Dispersion

Bei der mechanischen Dispersion kommt es durch ungleichförmige Geschwindigkeitsverteilungen aufgrund von Inhomogenitäten im Aquifer zur Aufweitung von Stofffronten und folglich zu einer Verdünnung. Entscheidend für die Variabilität der Geschwindigkeitsverteilungen ist die Heterogenität in Abhängigkeit verschiedener Skalenebenen (siehe Abbildung 3).

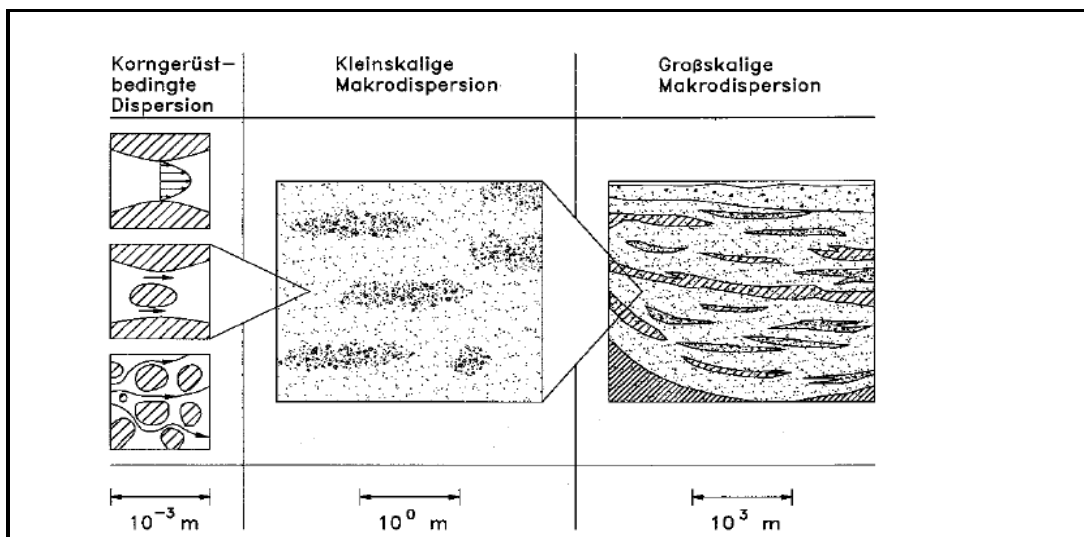


Abbildung 3: Ursachen der Variabilität der Dispersion in verschiedenen Skalenebenen (RAUSCH, SCHÄFER, WAGNER, 2002)

Die Dispersion (I_{disp}) kann wie eine FICK'sche Diffusion beschrieben werden:

$$I_{disp} = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial n}$$

Wobei der Dispersionskoeffizient D von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist und als Produkt der Dispersivität α_d und der Abstandsgeschwindigkeit v_a des Grundwassers beschrieben werden kann:

$$D = \alpha_d \cdot v_a$$

Tabelle 7: Parameter Dispersion

	Parameter	Einheit
I_{disp}	dispersiver Stofffluss	[g/m ² /s]
–	Konzentrationsgradient	[g/m ³ /m]
D	Dispersionskoeffizient	[m ² /s]
v_a	Abstandsgeschwindigkeit	[m/s]
α_d	Dispersivität	[m]

Die Dispersion und damit die Dispersivität ist skalenabhängig. Abbildung 4 zeigt die Abhängigkeit der Dispersivität von der Transportstrecke.

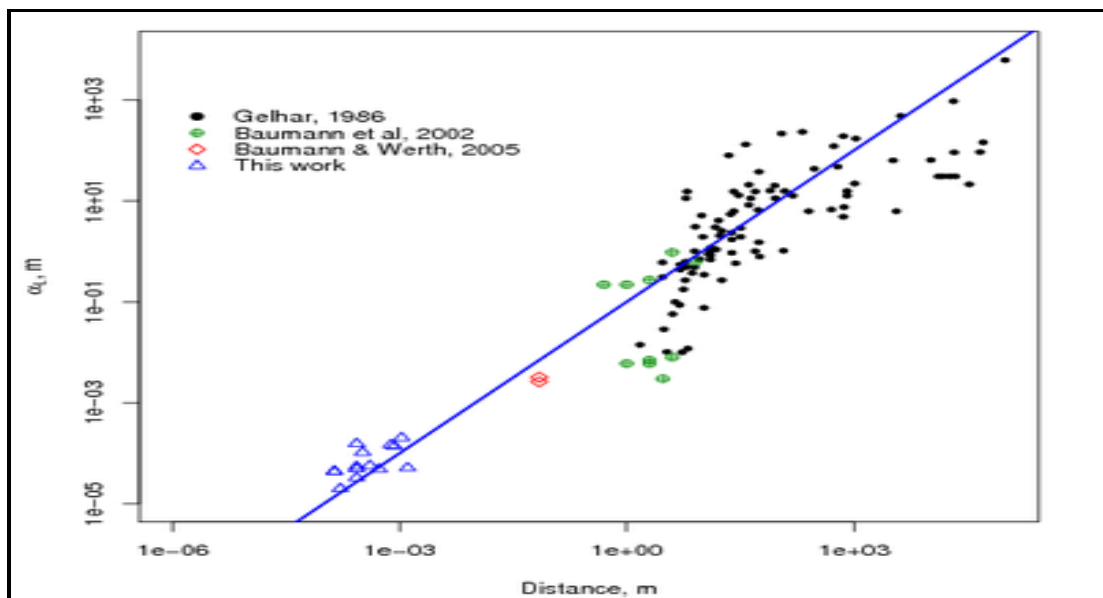


Abbildung 4: Abhängigkeit der Dispersivität von der Transportlänge (TU MÜNCHEN 2009)

Neben der Längsdispersion in Hauptfließrichtung findet zudem eine Querdispersion statt. Zur Veranschaulichung dieses Vorganges dient Abbildung 5.

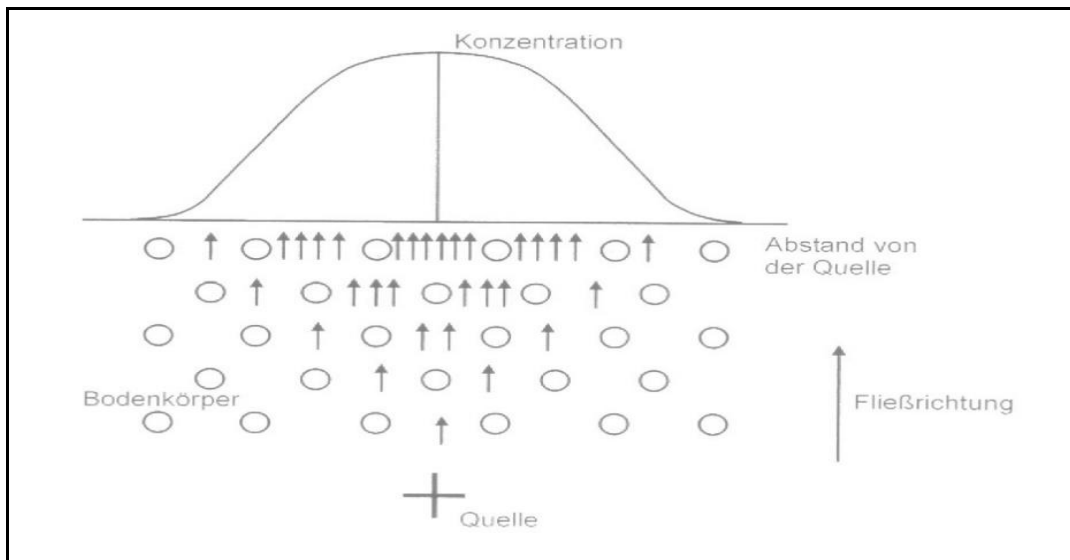


Abbildung 5: Theoretische Querdispersion

Nach dem Eintrag des Salzes breiten sich die Partikel im dreidimensionalen Raum aus. Bezüglich der Querdispersion ist dann zwischen horizontaler und vertikaler Richtung quer zur Fließrichtung zu unterscheiden. Das Verhältnis der Dispersionskoeffizienten in Fließrichtung D_{il} zu dem horizontalen D_{ih} und in vertikaler Richtung D_{iv} liegt bei sandig – kiesigen Porenaquifern etwa bei $D_{il} : D_{ih} : D_{iv} = 100 : 20 : 1$ (LANGGUTH & VOIGTH 2004).

Bei Grundwasserfeldern mit geringen Flurabständen erfolgt der Eintrag von Chlorid ins Grundwasser durch Starkregen- oder Tauereignisse über einen relativ kurzen Zeitraum impulsförmig. Insofern vermindert sich das Konzentrationsmaximum mit zunehmender Entfernung von der Eintragsstelle bei gleichzeitiger lateraler Aufweitung der Stofffahne (siehe Abbildung 6).

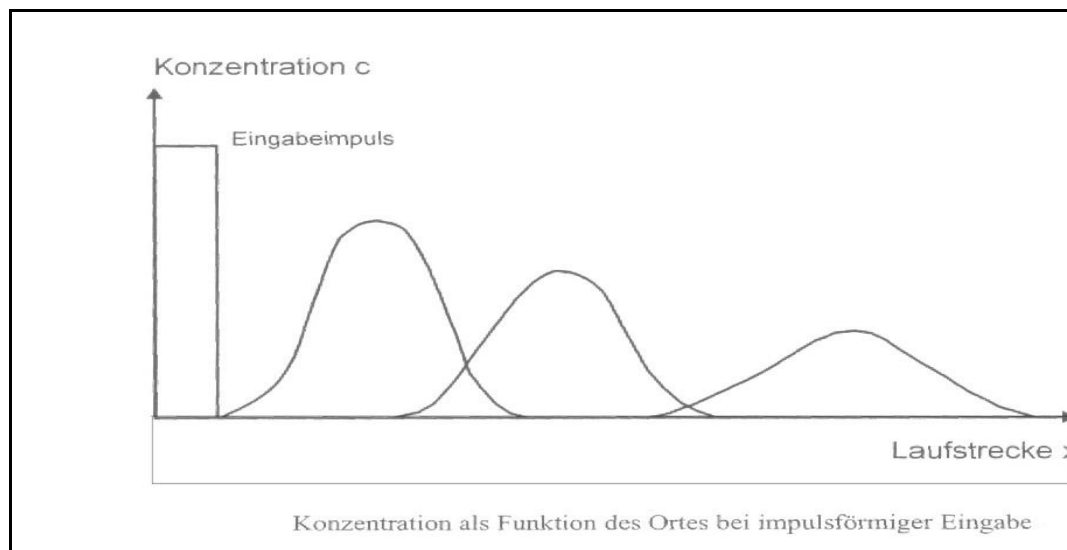


Abbildung 6: Impulsförmiger Eintrag in das Grundwasser (MULL und HOLLÄNDER 2002)

Wird die Konzentration als Funktion der Zeit an einem Ort gemessen, ist die Konzentration asymmetrisch um das Maximum verteilt (siehe Abbildung 7).

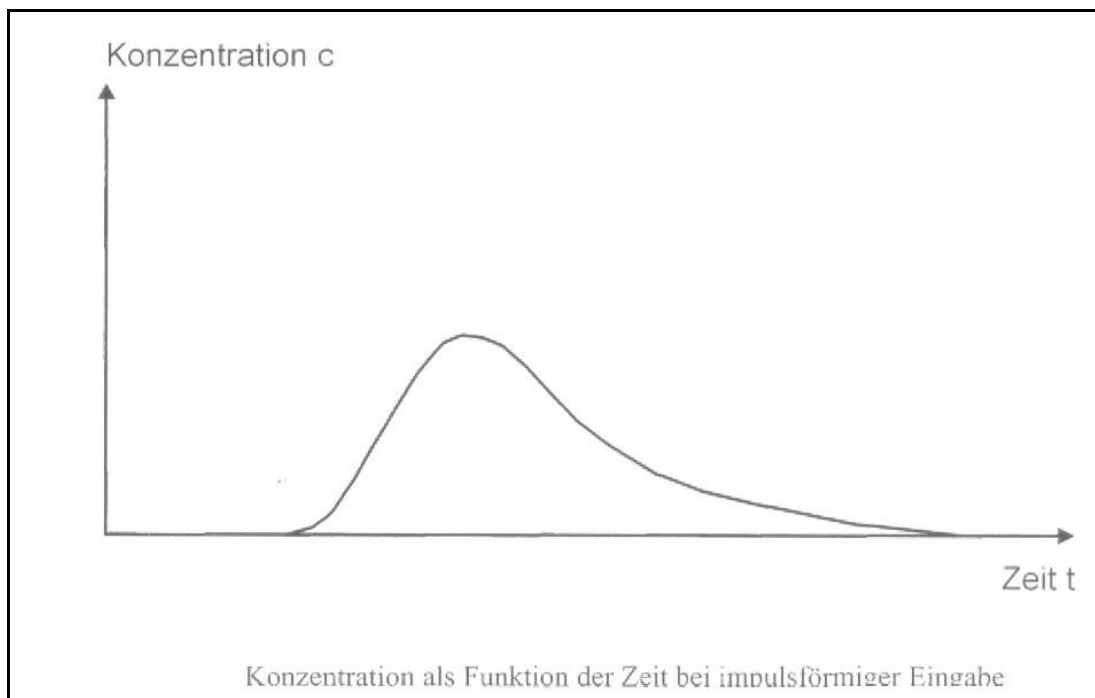


Abbildung 7: Konzentration als Funktion der Zeit (MULL und HOLLÄNDER 2002)

Bei größeren Flurabständen kommt es zu einer Vergleichmäßigung des Chlорideintrages in den Aquifer, sodass ein impulsförmiger Eintrag in den Aquifer nicht mehr gegeben und der obige Rechenansatz nicht möglich ist.

Hinsichtlich der Vorgangsweise bei der Abschätzung bzw. Berechnung von Chloridkonzentrationen im Grundwasser bzw. der Ermittlung der dazu erforderlichen Parameter bzw. Berechnungsgrundlagen wird auf nachstehende Abbildung 8 verwiesen.

6.3 Beurteilungsmatrix

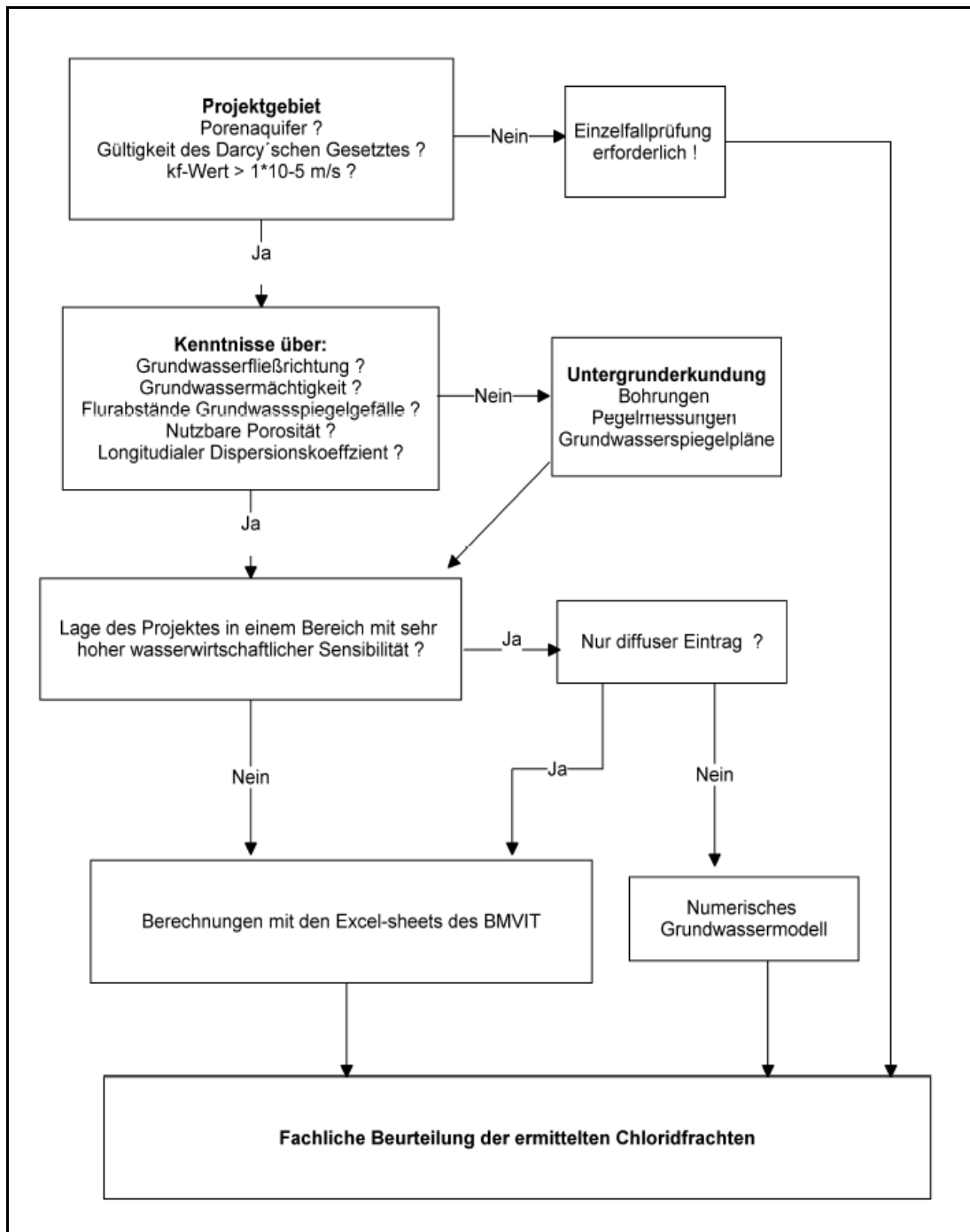


Abbildung 8: Vorgangsweise bei der Beurteilung der Ausbreitung von Chlorid im Grundwasser

7 MASSNAHMEN ZUR REDUKTION DER CHLORIDBELASTUNGEN IM GRUNDWASSER

Derzeit befindet sich die präventive Taumittelaufbringung auf NaCl-Sole in Umstellung. Bisher wurde dem Trockensalz NaCl meist CaCl₂-Sole bis zu einem Anteil von 30% (FS30) zugegeben. Es herrschte die allgemeine Meinung vor, dass eine sichere Tauleistung unter -5 °C nur durch CaCl₂ gewährleistet wird. Die CaCl₂-Sole ist im Verhältnis zur NaCl-Sole teurer. Daher wurde dem NaCl aus Kostengründen maximal 30% CaCl₂-Sole zugegeben.

In Forschungsprojekten (HOFFMANN et al. 2011) wurde nachgewiesen, dass auch **NaCl-Sole** unter -5 °C eine ausreichende Tauleistung ähnlich der Wirkung bei Einsatz von **CaCl₂-Sole** aufweist.

Als Ergebnis soll nun künftig die präventive Streuung auf FS70 (Soleanteil 70%) und höher umgestellt werden. Diese Vorgangsweise bringt eine Reduktion der Salzausbringung in zweifacher Hinsicht:

- Die Sole FS70 hat nur einen geringen Salzanteil von rd. 20 Massen-%. Durch die wesentliche Erhöhung des Flüssigkeitsanteils reduziert sich dementsprechend die Menge des ausgebrachten Salzes, ohne dass die Verkehrssicherheit gegenüber der bisherigen Streumethodik verringert wird.
- Durch die Ausbringung der Salzsole in flüssiger Form verbleibt das Salz auf der Fahrbahn und wird nicht verweht. Der positive Effekt ist, dass trotz einer Verringerung der ausgebrachten Salzmenge zumindest gleich viel Salz auf der Fahrbahn verbleibt. Zusätzlich setzt die Gefrierpunktreduktion sofort ein, da das Salz nicht erst aufgelöst werden muss.

Auch bei Schneefall soll künftig NaCl-Sole bis FS50 eingesetzt werden. Die Einsparungen bei der ausgebrachten Salzmenge sind zwar nicht so hoch wie bei der präventiven Streuung, aber dafür wird das für die Umwelt weniger verträgliche CaCl₂ durch NaCl, welches einen niedrigeren Chloridgehalt aufweist, ersetzt.



Abbildung 9: Solestreuer mit überbreitem Pflug

8 QUELLENVERZEICHNIS

8.1 Gesetze, Verordnungen, Rechtsquellen, Normen

Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch, JGS 946/1811 idgF

BVwG; Erkenntnis vom 21.08.2017, W143 201-7269-2

DWA: Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198, Vereinheitlichung und Herleitung, von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, Hennef, 2003

Forstgesetz 1975, BGBl. 440/1975 idgF

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung GZÜV BGBl. II Nr. 479/2006 i. d. F. BGBl. II Nr. 363/2016

ÖWAV Regelblatt 407 Empfehlungen für die Bewässerung, Wien 2016

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser, BGBl II 98/2010 idgF

Richtlinie 98/83/EG (kurz: Trinkwasserrichtlinie) des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, ABI 330, 32 idgF

Richtlinie 2000/60/EG (kurz: Wasserrahmenrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, ABI L 327, 1 idgF

Richtlinie 2006/118/EG (kurz: Grundwasserrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung, ABI L 372, 19 idgF

Trinkwasserverordnung TWV BGBl. II Nr. 304/2001, i.d.F. BGBl. II 362/2017

Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000, BGBl. I Nr. 89/2000 idgF

Wasserrechtsgesetz, BGBl Nr. 215/1959 idgF

8.2 Literatur

ACHTNICH, W.: Bewässerungslandbau, 1980

AMUNDSEN, C. E., S.; HÅLAND, H.; FRENCH, R.; ROSETH & N.-O. KITTERØD: Salt SMART. Environmental damages caused by road salt – a literature review. Norwegian Public Roads Administration, Directorate of Public Roads, Technology Department. Report Nr. 2587, Oslo, 2010

FAO Corporate Document Repository, Water Quality for Agriculture, Agriculture and Consumer Protection, 1994

- HOFFMANN, M.; BLAB, R. & NUTZ, P.: Forschungsbericht Optimierung der Feuchtsalzstreuung Medieninhaber: Länder, BMVIT & ASFINAG, TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften, 2011
- KOGSEDER, A: Literaturrecherche über Auftaumittel im Grundwasser. Bachelorarbeit an der Karl Franzens Universität Graz, 2008
- LANGGUTH, H.; VOIGT, R.: Hydrogeologische Methoden, Springer Verlag, Berlin, 2004
- Leitlinie UVP-Verfahren und Wasserrecht für Straßenbauvorhaben, i. A. des BMVIT, 2014
- LEONARDI, S.: Streusalz - seine Verfrachtung durch die Verkehrsgischt, sowie seine Auswirkungen auf die Vitalität und Physiologie von Gehölzpflanzen, Dissertation Universität Basel, 1985
- LÖFGREN, S.: The chemical effects of deicing salt on soil and stream water of five catchments in Southeast Sweden. *Water Air Soil Poll* 130:S 863-868, 2001
- LUNDMARK, A. & OLOFSSON, B: Chloride deposition and distribution in soils along a deiced highway - Assessment using different methods of measurement. *Water Air Soil Poll* 182: S 173-185, 2007
- MULL, R.; HOLLÄNDER, H.: Grundwasserhydraulik und –hydrologie: eine Einführung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2002
- RAUSCH, R.; SCHÄFER, W.; THERRIEN, R.; WAGNER, C.: Solute Transport Modelling – An Introduction to Models and Solution Strategies, Bornträger Verlag, Berlin, Stuttgart, 2005
- SIEGHARDT, M.; WRESOWAR, M.: Studie über die Auswirkung stickstoffhaltiger Auftaumittel, i. A. der MA 22 der Stadt Wien, 2000
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN: Hydrogeology: Micromodes, Quantification of Colloid Transport Phenomena using Single Particle Tracking in Silicone Micromodels
- Allgemeine Abwasseremissionsverordnung, BGBl I 186/1996
- Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch, JGS 946/1811 idGF
- BVwG; Erkenntnis vom 21.08.2017, W143 201-7269-2
- DWA: Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung, von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, Hennef, 2003
- Erlass des BMLFUW vom 22.12.2011, ZI. BMLFUW-UW.4.1.4/0002-I/4/2011
- Information des BMLFUW vom 01.10.2016, GZ UW.4.1.2/0036 IV/1/2015
- Methodenverordnung Wasser, BGBl. II 129/2019 idF BGBl II 133/2019

ÖNORM EN ISO 10304-1 Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat

ÖNORM M 6289 Wasseruntersuchung – Bestimmung von Chlorid – Silbernitrat-Titration mit Chromatindikator

Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer, BGBl II 96/2006 idF BGBl II 363/2016

Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer, BGBl II 99/2010 idF BGBl II 369/2018

Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, ABl 330, 32.

Richtlinie 2000/60/EG (kurz: Wasserrahmenrichtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, ABl L 327, 1 idgF

Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG, ABl 348, 84.

Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik, ABl L 226, 1.

Wasserrechtsgesetz, BGBl 215/1959 idgF

ANHANG 1

BERECHNUNGEN BZW. ABSCHÄTZUNGEN DES CHLORIDTRANSPORTES IM GRUNDWASSER

INHALTSVERZEICHNIS

1	ANALYTISCHE LÖSUNGEN	41
1.1	Abschätzung der maximalen Änderung der Chloridkonzentration durch ein Einzelereignis mit Darstellung des zeitlichen Verlaufes im Nahbereich des Emittenten (< 150 m)	42
1.2	Abschätzung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 150 m zum Emittenten	45
1.3	Abschätzung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 50 m zum Emittenten bei ausschließlichem Eintrag über Sprühnebel	48
2	NUMERISCHE METHODEN	48
3	BEISPIELE ZUR ABSCHÄTZUNG VON CHLORIDKONZENTRATIONEN IM ABSTROMIGEN GRUNDWASSER	50
3.1	Abschätzung der maximalen Änderung der Chloridkonzentration mit Darstellung des zeitlichen Verlaufes im Nahbereich des Emittenten (< 150 m).....	50
3.1.1	Linearer Eintrag über die Böschung - maximale Änderung (Entfernung < 150 m zum Emittenten) = Beispiel 1	50
3.1.2	Punktueler Eintrag über Versickerungsbecken – maximale Änderung (Entfernung < 150 m zum Emittenten) = Beispiel 2.....	52
3.2	Abschätzung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 150 m zum Emittenten	53
3.2.1	Linearer Eintrag über die Böschung – mittlere Konzentration (Entfernung > 150 m zum Emittenten) = Beispiel 3.....	54
3.2.2	Punktueler Eintrag über ein Versickerungsbecken – mittlere Konzentration (Entfernung > 150 m zum Emittenten) = Beispiel 4.....	55
3.3	Abschätzung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 50 m zum Emittenten bei ausschließlichem Eintrag über Sprühnebel = Beispiel 5	56
4	VORGANGSWEISE BEI DER BEURTEILUNG DER AUSBREITUNG VON CHLORID IM GRUNDWASSER	58
5	ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG	59
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	62

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Relevante Parameter für die analytische Berechnung der Stoffausbreitung	43
Tabelle 2:	Relevante Parameter für die analytische Berechnung mittlerer Chloridbelastung	46
Tabelle 3:	Parameter für die numerische Modellierung	49

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Darcy'sches Gesetz (HÖLTING & COLDEWEY, 2005)	45
Abbildung 2:	Ermittlung des Beeinträchtigungszeitraumes	47
Abbildung 3:	Gewählte Parameter bei linearem impulsförmigen Eintrag	51
Abbildung 4:	Konzentrationsverlauf von Chlorid bei linearem impulsförmigen Eintrag	51
Abbildung 5:	Gewählte Parameter bei punktförmigem Eintrag	52
Abbildung 6:	Konzentrationsverlauf von Chlorid bei punktförmigem Eintrag	53
Abbildung 7:	Mittlere Änderung der Chloridkonzentration bei linearem Eintrag über die Böschung	55
Abbildung 8:	Mittlere Änderung der Chloridkonzentration bei Eintrag über ein Versickerungsbecken	56
Abbildung 9:	Mittlere Änderung der Chloridkonzentration bei diffusem Eintrag	57
Abbildung 10:	Vorgangsweise bei der Beurteilung der Ausbreitung von Chlorid im Grundwasser	58

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BMVIT Bundesminister(ium) für Verkehr, Innovation und Technik
ÖWAV Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

1 ANALYTISCHE LÖSUNGEN

Die Transportgleichung zur Beschreibung des Stofftransportes im Grundwasser wird im Allgemeinen numerisch gelöst, jedoch können in vergleichsweise homogenen Systemen auch analytische Lösungen verwendet und zu einer ersten Abschätzung des quantitativen Stofftransports eingesetzt werden. Vorweg wird festgehalten, dass die angeführten analytischen Lösungsansätze ausschließlich in Porenaquiferen eingesetzt werden können, in welchen das Gesetz von Darcy Gültigkeit hat.

Eine Kenntnis der wichtigsten hydrogeologischen Parameter, wie z. B. Grundwasserfließrichtung, Grundwassermächtigkeit, Gefälle, Durchlässigkeitsbeiwert etc. ist erforderlich, um die entsprechenden analytischen Abschätzungen vornehmen zu können. Bei den vorgestellten analytischen Lösungen zur gegenständlichen Fragestellung können grundsätzlich drei Lösungsansätze angeführt werden, welche sich in den Entfernungen der berechneten Messpunkte zum Emittenten unterscheiden. Die Differenzierung wurde auf Basis von Erfahrungswerten vorgenommen (BMVIT, 2009). Außerdem ist zu unterscheiden, ob die mittlere oder die maximale Chloridkonzentration berechnet wird. Im Nahbereich (< 150 m) der gegenständlichen Straße erscheint bei geringen Flurabständen die Angabe einer mittleren Konzentration nicht möglich bzw. sinnvoll, da hier entsprechend dem zu erwartenden Eintrag in das Grundwasser kurzzeitige Konzentrationsspitzen zu erwarten sind. Hier ist die Berechnung eines kurzzeitigen (impulsförmigen) Eintrages (Einzelereignis) in das Grundwasser möglich. Für Entfernungen > 150 m zum Emittenten wird die Berechnung der mittleren Konzentrationsänderung für einen zu definierenden Zeitraum empfohlen. Für den ausschließlichen Eintrag des Chlorids über den Sprühnebel wurde zudem ein weiterer (dritter) Lösungsansatz entwickelt bzw. ein bereits bestehender Lösungsansatz adaptiert. Aufgrund des vergleichsweise langsamen Eintrages über die ungesättigte Zone erscheint hier eine Betrachtung der mittleren Konzentration auch in nähergelegenen Bereichen (> 50 m) möglich bzw. realitätsnahe.

Insofern werden folgende drei Berechnungsarten der Änderung der Chloridkonzentration im Grundwasser im Abstrom von Straßen unterschieden:

1. Abschätzung der **maximalen Änderung** (= kurzzeitige Konzentrationspitzen durch ein Einzelereignis) der Chloridkonzentration im Grundwasser mit Darstellung des zeitlichen Verlaufes im Nahbereich des Emittenten (< 150 m)
2. Abschätzung der **mittleren Änderung** der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 150 m zum Emittenten
3. Abschätzung der **mittleren Änderung** der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 50 m zum Emittenten **bei ausschließlichem Eintrag über Sprühnebel**

Bei Punkt 1 und 2 wird zwischen einem linearen Eintrag der Chloridfracht (über die Straßenböschung) bzw. einem punktuellen Eintrag (aus einem Versickerungsbecken) differenziert. Die Berechnung von Punkt 3 erfolgt ausschließlich linear, da ja der Eintrag diffus, weitgehend entlang der Straße erfolgt.

1.1 Abschätzung der maximalen Änderung der Chloridkonzentration durch ein Einzelereignis mit Darstellung des zeitlichen Verlaufes im Nahbereich des Emittenten (< 150 m)

Für die Abschätzung der maximalen Änderung der Konzentration im relativen Nahbereich des Emittenten (< 150 m) wird davon ausgegangen, dass die relevante Chloridmenge impulsförmig in eine eindimensionale Strömung eingegeben wird. Naturgemäß ist eine solche Berechnung nur bei geringen Flurabständen (< 5 m) sinnvoll, da sonst kein impulsförmiger Eintrag mehr gegeben ist.

Aufgrund der Ausbreitungsentwicklung ist dieses Szenario für straßennahe Bereiche geeignet. Bei impulsförmigen Einträgen handelt es sich um Starkregen- oder Tauereignisse, bei welchen es zu einer raschen Verfrachtung des Chlorids in das Grundwasser kommt.

Die Konzentration als Funktion des Ortes berechnet sich nach MULL & HOLLÄNDER (2002) wie folgt:

$$c = c_m \cdot e^{\left(-\frac{1}{4 \cdot D_{il} \cdot t} \cdot (x - v_a \cdot t)^2 \right)}$$

mit

$$c_m = \frac{m}{p_{eff} \cdot A \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot D_{il} \cdot t}}$$

wobei

$$t > \frac{1}{\sqrt{p_{eff}^2 \cdot A^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot D_{il}}}$$

Tabelle 1: Relevante Parameter für die analytische Berechnung der Stoffausbreitung

	Parameter	Einheit
m	Masse der eingegebenen Substanz	[g]
A	durchflossene Fläche je lfm	[m ²]
p _{eff}	nutzbarer Hohlraumanteil	[-]
D _{il}	longitudinaler Dispersionskoeffizient	[m ² /s]
α _d	Dispersivität	[m]
c	Konzentration	[g/m ³]
c _m	maximale Konzentration	[g/m ³]
v _a	Abstandsgeschwindigkeit	[m/s]
v _f	Filtergeschwindigkeit	[m/s]
k _f	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]
J	Gefälle	[]
l	Länge der durchflossenen Strecke	[m]
h	Höhe der durchflossenen Strecke	[m]
Q	Wassermenge	[m ³]
t	Zeit	[s]
x	Abstand vom Emittenten	[m]
B	Breite des Versickerungsbeckens quer zur Grundwasserfließrichtung	[m]
BG	Backgroundwert	[g/m ³]
BW	Bemessungswert lt. Tabelle 4	[kg/m ²]
GWN	Grundwasserneubildung	[m ³ /m ² a ⁻¹], [m/a]

Hinsichtlich der zu wählenden Parameter wurden folgende Grundlagen herangezogen:

Die durchflossene Fläche (A) ergibt sich aus der Grundwassermächtigkeit, welche üblicherweise durch Bohrungen ermittelt und je Laufmeter Straße angegeben wird (linearer Eintrag). Bei einem punktuellen Eintrag über ein Versickerungsbecken ist außerdem die quer durchströmte Beckenbreite relevant.

Für die Berechnung eines Einzelereignisses wurde die Chloridmenge mit 15 % des Jahresbemessungswertes (siehe 22Tabelle 4, S. 22 im Leitfaden) festge-

legt. Dies kann als realistisches Szenario für einen impulsförmigen Eintrag (z.B. Tauwetter nach längerer Kälteperiode) herangezogen werden (GEOLOGIE & GRUNDWASSER GMBH, 2009).

Zu berücksichtigen ist, dass sich die Eintragsmenge je Laufmeter durchflossener Fläche erhöht, wenn die Grundwasserfließrichtung nicht normal zur Straßenachse ist. Entsprechend findet sich eine Eingabemöglichkeit im beiliegenden Excel sheet. Parallel bzw. annähernd parallel (Winkel $< 15^\circ$) zur Straße verlaufende Grundwasserströme sind mit diesem Verfahren nur bedingt auszuwerten. Eine Eingabe im Excel sheet ist daher nicht möglich, in diesem Fall ist eine numerische Lösung angezeigt.

Der nutzbare Hohlraumanteil (p_{eff}) kann über den k_f -Wert (z.B. nach Marotz vgl. HÖLTING & COLDWAY, 2005) abgeschätzt werden:

$$P_{eff} = 0,462 + 0,045 \cdot \ln k_f$$

Die Abstandsgeschwindigkeit (v_a) kann aus den Parametern k_f -Wert, Gefälle (J) und nutzbares Porenvolumen (p_{eff}) über die Filtergeschwindigkeit (v_f) bzw. - wenn vorhanden - aus Markierungsversuchen ermittelt werden.

Die Filtergeschwindigkeit (v_f) ergibt sich aus dem Verhältnis der Wassermenge (Q) zu dem durchflossenen Filterquerschnitt (A), welcher vom vorherrschenden Grundwassergefälle (J) abhängig ist:

$$v_f = \frac{Q}{A} = k_f \cdot \frac{h}{l} = k_f \cdot J$$

Die Abstandsgeschwindigkeit (v_a) wird unter Berücksichtigung des Porenvolumens (p_{eff}) wie folgt definiert:

$$v_a = \frac{v_f}{p_{eff}}$$

Für den longitudinalen Dispersionskoeffizienten (D_{il}) wird, entsprechend dem Abstand x des Beobachtungspunktes von der Quelle und der Abstandsgeschwindigkeit (v_a), folgendes Verhältnis ermittelt (vereinfacht nach FANK (o.D.), grundsätzlich gültig für die sandigen Kiese des Leibnitzer Feldes):

$$D_{il} = \alpha_d \cdot v_a$$

Für diese Berechnung wurden zwei Excel sheets (Beispiel 1 für einen linearen Eintrag entlang der Straße, Beispiel 2 für einen Eintrag aus einem Versickerungsbecken) erstellt, welche die Berechnung des räumlich-zeitlichen Konzentrationsverlaufes ermöglichen und eine Differenzierung entsprechend unterschiedlicher Versickerung der Straßenwässer erlauben (linearer Eintrag entlang einer Straße bzw. punktueller Eintrag über ein Versickerungsbecken).

Bei einem Eintrag aus einem Versickerungsbecken (Beispiel 2) ist zu beachten, dass nicht die gesamte über die Entwässerungsflächen eingetragene Chloridmenge angesetzt wird, da entsprechende Untersuchungen (z.B. ÖWAV, 2008) gezeigt haben, dass bis zu 40 % des aufgebracht Chlorids nicht in das Entwässerungssystem bis zur Beckenanlage gelangt, sondern diffus entlang der Straße (wie bei einer Entwässerung über die Böschung) verteilt wird. Sollte die Straße im Einschnitt verlaufen bzw. mit Lärmschutzwänden ausgestattet sein, wird der Anteil des diffus ausgebrachten Chlorids deutlich reduziert. Es besteht die Möglichkeit den prozentuellen Anteil der Strecke, der mit Lärmschutzwänden bzw. Stützwänden ausgestattet ist, im Excel sheet einzugeben. Entsprechend wird der Anteil des diffus ausgebrachten Chlorids entlang der Strecke dadurch reduziert. Der diffuse Anteil wird aliquot auf den Entwässerungsabschnitt verteilt und eine Berechnung wie bei Beispiel 1 durchgeführt. Die dabei ermittelten Werte werden zu den ersteren addiert.

1.2 Abschätzung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 150 m zum Emittenten

Für die Abschätzung der mittleren Änderung der anthropogen bedingten Chloridkonzentration in „weiterer Entfernung“ zum Emittenten (> 150 m) können vereinfachte Betrachtungen auf Basis des Darcy'schen Gesetzes herangezogen werden:

$$Q = k_f \cdot \frac{h}{l} \cdot A = k_f \cdot J \cdot A$$

Die durch eine bestimmte Fläche (A) fließende Wassermenge (Q) verhält sich zum Druckhöhenunterschied (h) und dem filterspezifischen Koeffizienten (k_f) direkt proportional und zur Fließlänge (l) indirekt proportional.

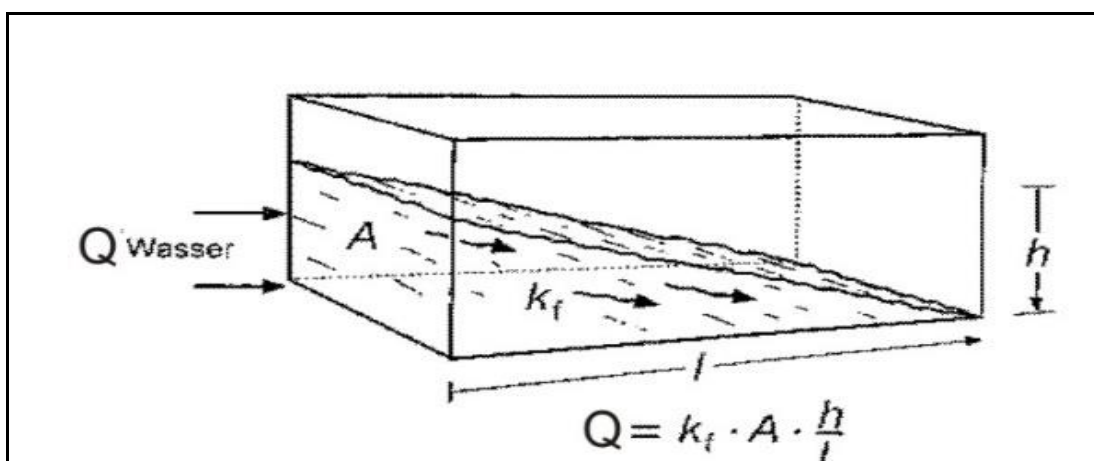


Abbildung 1: Darcy'sches Gesetz (HÖLTING & COLDEWEY, 2005)

Wenn die Grundwassermächtigkeit, das Gefälle und der k_f -Wert bekannt sind, kann damit eine Wassermenge abgeschätzt werden, welche einen Aquifer in einer definierten Zeiteinheit durchfließt und damit die eingetragene Chloridfracht ($\sum m_{\text{Streuperiode}}$ ist jene Chloridmenge, welche über die gesamte Streuperiode aufgebracht wird) verdünnt.

Die Grundwasserfließrichtung zum Emittenten ist ebenfalls zu beachten. Bei einem linearen Eintrag entspricht $A = 1$, da der Eintrag für einen Laufmeter Durchströmungsquerschnitt herangezogen wurde. Zudem wird die Grundwasserneubildung während des Beeinträchtigungszeitraumes im Bereich zwischen Straße und Beobachtungspunkt berücksichtigt. Bei einem Versickerungsbecken (punktuellem Eintrag) entspricht die durchflossene Fläche A der durchströmten Breite in einer Entfernung x , welche sich aus der Eintragsbreite in das Grundwasser und dem Ausbreitungswinkel α der Chloridfahne ergibt.

Als definierte Zeiteinheit wird, auf Basis der Erfahrungen bei dem Forschungsprojekt Guntramsdorf (BMVIT, 2009; GEOLOGIE & GRUNDWASSER GMBH, 2009), ein Beeinträchtigungszeitraum ($t_{\text{Beeinträchtigung}}$) vorgeschlagen, in dem bei einer impulsförmigen Eingabe von 15 % des relevanten Bemessungswertes (siehe Tabelle 4, S. 22 im Leitfaden) ein Deltachloridwert von 0,5 mg/l bei dem relevanten Punkt überschritten wird.

Demnach berechnet sich die mittlere Änderung der Chloridbelastung (ΔC_ϕ) wie folgt:

$$\Delta C_\phi = \frac{\sum m}{t_{\text{Beeinträchtigung}} \cdot k_f \cdot I \cdot A + \text{GWN}}$$

Tabelle 2: Relevante Parameter für die analytische Berechnung mittlerer Chloridbelastung

	Parameter	Einheit
ΔC_ϕ	mittlere Änderung der Chloridbelastung	[g/m ³]
$\sum m_{\text{Streuperiode}}$	gesamte über die Streuperiode aufgebrachte Chloridmenge	[g]
$t_{\text{Beeinträchtigung}}$	Beeinträchtigungszeitraum	[s]
Q	Wassermenge	[m ³ /s]

Aufgrund der Dispersion der Chloridionen verhält sich die Dauer des Beeinträchtigungszeitraumes direkt proportional zur Entfernung des Beobachtungspunktes, da die Chloridfahne mit zunehmender Entfernung in die Länge gestreckt wird und damit den Beeinträchtigungszeitraum verlängert.

Der Beeinträchtigungszeitraum ($t_{\text{Beeinträchtigung}}$) setzt sich zusammen aus der Dauer des Streueinsatzes plus jener „Verzögerung“, welche sich aus der Dis-

persion im Grundwasser ergibt. Zur Ermittlung des Beeinträchtigungszeitraumes (siehe Abbildung 2) wird folgende Vorgangsweise vorgeschlagen:

- Ermittlung der Streuperiode (üblicherweise 1. November bis 31. März – entspricht 151 Tagen)
- Berechnung jener Zeitperioden (t_1 , t_2), welche vergangen sind, wenn bei einer impulsförmigen Eingabe von 15 % des Bemessungswertes (siehe Tabelle 4, S. 22 im Leitfaden) ein Deltachloridwert von 0,5 mg/l bei dem relevanten Messpunkt überschritten wird.
- Der Beeinträchtigungszeitraum beginnt mit der Streuperiode plus der Zeitdauer t_1 , da ja das Chlorid durch die Transportprozesse verzögert bei dem Beurteilungspunkt auftritt.
- Das Ende des Beeinträchtigungszeitraumes ergibt sich aus dem letzten Zeitpunkt der Streuperiode (üblicherweise der 31. März) plus der Zeitdauer t_2 .

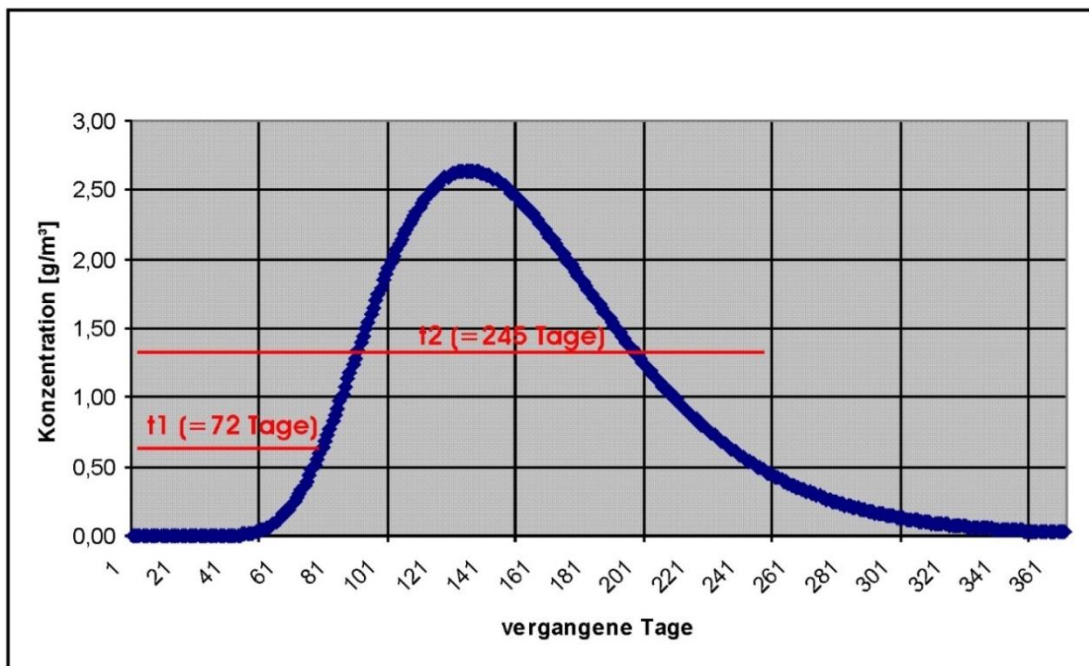


Abbildung 2: Ermittlung des Beeinträchtigungszeitraumes

Für das obige Beispiel ergibt sich - bei einer Streuperiode von Anfang November bis Ende März (151 Tage) plus 173 Tage (= 245 d – 72 d) „Verzögerung durch Transportprozesse“ - ein Gesamtbeeinträchtigungszeitraum des Beurteilungspunktes von 324 Tagen. Die Ermittlung des Beeinträchtigungszeitraumes erfolgt automatisch durch das vorliegende Excel sheet.

Vom Benutzer / von der Benutzerin muss lediglich die Anzahl der Tage der Streuperiode eingegeben werden. Als Voreinstellung („default“) wurde ein Wert von 151 Tagen (Anfang November – Ende März) angenommen, bei Be-

darf kann dieses entsprechend den Vorgaben des Planers / der Planerin verändert werden.

Beeinträchtigungszeiträume über 365 Tage sind naturgemäß nicht sinnvoll, da bereits die nächste Streuperiode in diesen Zeitraum fällt. Das vorliegende Excel sheet korrigiert solche Beeinträchtigungszeiträume automatisch.

Bei Flurabständen > 20m wird der Beeinträchtigungszeitraum automatisch auf 365 Tage festgelegt, da angenommen werden kann, dass es zu einer Vergleichmäßigung des Chlorideintrages in den Aquifer kommt.

Aus der Sicht der Bewertung durch den zuständigen Sachverständigen / die zuständige Sachverständige ist festzuhalten, dass kürzere Beeinträchtigungszeiträume zwangsläufig höhere Chloridkonzentrationen während des Beeinträchtigungszeitraumes nach sich ziehen.

1.3 Abschätzung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 50 m zum Emittenten bei ausschließlichem Eintrag über Sprühnebel

Die Berechnung erfolgt analog der Berechnung des linearen Eintrages von Kapitel 1.2 mit der Ausnahme, dass der Deltachloridwert, welcher für den Beeinträchtigungszeitraum einen wesentlichen Faktor darstellt, äußerst niedrig angesetzt wird (von $0,5 \text{ mg/m}^3$ auf $0,000001 \text{ mg/m}^3$). Dies ist notwendig da die Berechnungsmethode von Kapitel 1.2 von höheren Eintragskonzentrationen ausgeht, wie sie ja bei direkter Versickerung gegeben sind, und somit nicht realistische (zu hohe) Chloridkonzentrationen in größeren Entfernungen ergäbe.

Aufgrund des diffusen Eintrages des Chlorids und der vergleichsweise geringen Grundwasserneubildungsrate (und damit Sickergeschwindigkeit in der ungesättigten Zone) ist bei dieser Eintragsmethode die Beurteilung auch von näher gelegenen Straßenabschnitten (ab 50 m) vertretbar.

2 NUMERISCHE METHODEN

Analytische Lösungen der Transportgleichung existieren nur für Sonderfälle mit einfachen Randbedingungen. Für variierende Randbedingungen und Grundwasserparameter muss die Transportgleichung numerisch gelöst werden.

Numerische Grundwassermodelle basieren auf der Zerlegung eines Systems in Teilgebiete (Elemente) und der Aufstellung einer Bilanzgleichung für jedes Element. Die Bilanz kann Volumenströme (Massenströme) und Stoffströme betreffen.

Für einen nicht reaktiven Wasserinhaltsstoff kann die Transportgleichung über die Massenbilanz in einem Kontrollvolumen (siehe Abbildung 2, S. 27) nach

RAUSCH et al. (2002) wie folgt beschrieben werden, wobei die Verluste durch Reaktion beim Chloridtransport, welches einen konservativen Tracer darstellt, nicht relevant sind:

$$\dot{S} = \frac{\partial (\beta(X) \cdot p_{\text{eff}})}{\partial t} = -\nabla I_{\text{adv}} + \nabla I_{\text{diff}} + \nabla I_{\text{disp}} + \sigma \cdot p_{\text{eff}}$$

Tabelle 3: Parameter für die numerische Modellierung

	Parameter	Einheit
\dot{S}	Speicherung im Kontrollvolumen pro Zeiteinheit	[g/m ³ /s]
σ	externer Quell-/Senkterm	[g/m ³ /s]
∇	Nabla - Operator	[1/m]
p_{eff}	nutzbarer Hohlraumanteil	[-]
$\beta(X)$	Massenkonzentration	[g/m ³]
I_{adv}	advektiver Stofffluss	[g/m ² /s]
I_{diff}	diffusiver Stofffluss	[g/m ² /s]
I_{disp}	dispersiver Stofffluss	[g/m ² /s]

Strömungs- bzw. Transportmodelle müssen in ihrer Konzeption, neben den hydrogeologischen Eingangsparametern und Randbedingungen, u. a. bezüglich folgender Punkte definiert werden:

- Zeitabhängigkeit
 - stationär (Gleichgewichtssituation ohne zeitliche Änderung)
 - instationär (Veränderung der Strömungs- bzw. Transportprozesse in der Zeit)
- Dimensionalität (1D, 2D, 3D)

Transportmodellierung basiert auf einem bestehenden Strömungsmodell, auf welchem die Transportprozesse „aufgesetzt“ werden.

Für Grundwassermodellierungen bestehen eine Vielzahl von Programmen (z.B. MODFLOW, FEFLOW, SPRING). Auf eine detaillierte Beschreibung der Vor- und Nachteile der einzelnen Programme wird verzichtet.

Grundsätzlich können Gittermethoden (Finite Differenzen - Verfahren, Finite Elemente - Verfahren) oder particle Tracking Methoden zur Lösung der Transportgleichung eingesetzt werden.

3 BEISPIELE ZUR ABSCHÄTZUNG VON CHLORIDKONZENTRATIONEN IM ABSTROMIGEN GRUNDWASSER

Die im Weiteren angeführten Beispiele stammen zum Teil aus Untersuchungen im Raum Guntramsdorf (BMVIT, 2009) bzw. wurden in einer Untersuchung der GEOLOGIE & GRUNDWASSER GMBH (2009) bearbeitet.

Für die Auswertungen wurden Excel sheets erstellt, welche als Berechnungshilfe verwendet werden können.

3.1 Abschätzung der maximalen Änderung der Chloridkonzentration mit Darstellung des zeitlichen Verlaufes im Nahbereich des Emittenten (< 150 m)


3.1.1 Linearer Eintrag über die Böschung - maximale Änderung (Entfernung < 150 m zum Emittenten) = Beispiel 1

Für diesen Fall wurden folgende Parameter angenommen:

- Nächstgelegene Straßenmeisterei: Oeynhausen (Bemessungswert 1,21 kg Cl-/m²)
- Backgroundwert: 40 g/m³
- Breite der Straße: 16 m
- Grundwassermächtigkeit: 4 m
- Ermittelter Hohlraumanteil: 0,2
- Grundwasserabstandsgeschwindigkeit: 5,7 m/d
- Entfernung des Beobachtungspunktes von der Straße: 53 m
- Grundwasserfließrichtung: 70° zur Straßenachse

**LEITFADEN
VERSICKERUNG CHLORIDBELASTETER STRASSENWÄSSER**

Geologie und Grundwasser GmbH
INGENIEURBÜRO FÜR TECHNISCHE GEOLOGIE



Auer-Welsbach-Gasse 24
8055 Graz
03 16 / 24 40 89
geo-gmbh.at
office@geo-gmbh.at

**Berechnung des Konzentrationsverlaufes bei einem Einzeleignis
Eintrag entlang der Böschung / Einzeleignis Maximalkonzentration**

$$c = c_{gr} \cdot e^{-\frac{1}{4 D_{11}} t (x - v_a \cdot t)^2}$$

ausfüllen
errechneter Wert bzw. Vorgabe / nicht ausfüllen

Faktor	Beschreibung	Einheit	Wert	Anmerkung
BW	Bemessungswert lt. Tabelle 4	kg/m ³	1,21	
BG	Backgroundwert	g/m ³	40	
B	Breite der Straße	m	16	
m	Masse der eingegebenen Substanz	g / lfm	2304	
H	Grundwassermächtigkeit	m	4	
P _{eff}	nutzbares Porenvolumen	[]	0,2	
D ₁₁	Longitudinaler Dispersionskoeffizient	m ² /s	3,73E-04	
c _m	Maximale Konzentration	g/m ³	42,94	
v _a	Abstandsgeschwindigkeit	m/s	6,59722E-05	5,7 m/d
t	Zeit	s	1728000	20 d
x	Abstand des Beurteilungspunktes von der Straße	m	53	
α _d	Dispersivität berechnet n. FANK (o.D)	-	5,65	
β	Winkel zw. Grundwasserfließrichtung und Straße	-	70	
	Koeffizient für Änderung wg. Fließrichtung	-	1,06	
m _k	korrigierte Chloridmenge	g / lfm	3090,37	

$$t > \frac{1}{\sqrt{P_{eff} \cdot A^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot D_{11}}}$$

$$c_{gr} = \frac{m}{P_{eff} \cdot A \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot D_{11} \cdot t}}$$

Anm: A = H * 1m

Abbildung 3: Gewählte Parameter bei linearem impulsförmigen Eintrag

Daraus wird folgender Konzentrationsverlauf ermittelt:

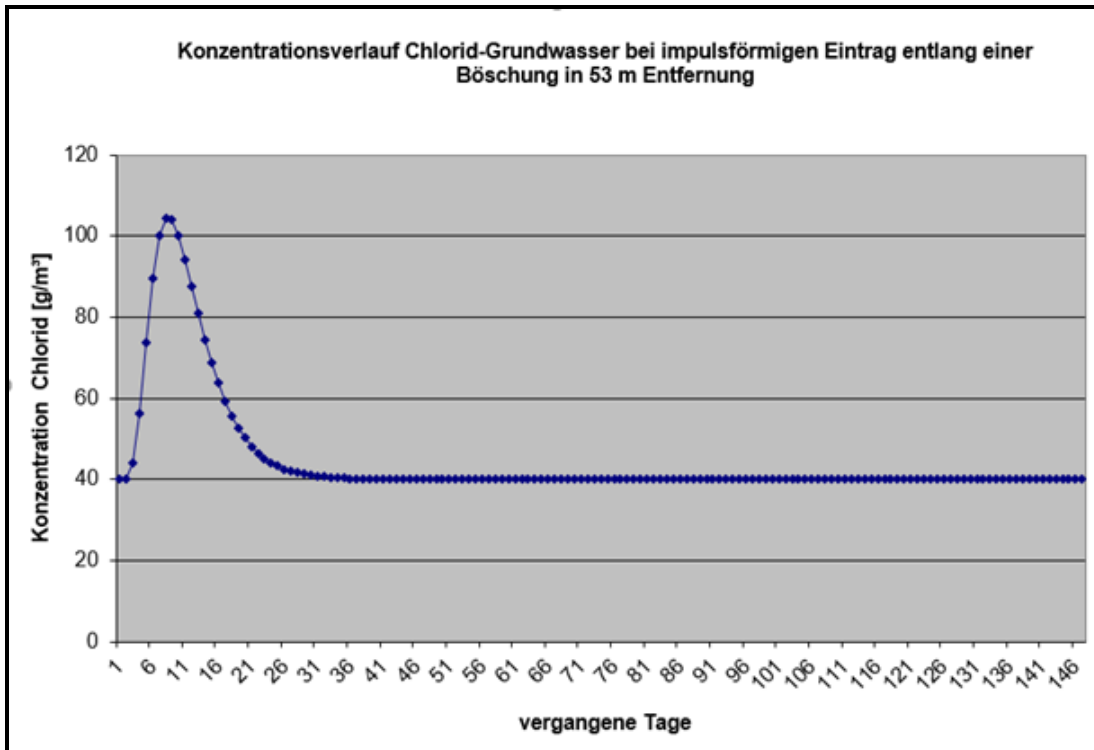


Abbildung 4: Konzentrationsverlauf von Chlorid bei linearem impulsförmigen Eintrag

3.1.2 Punktuelle Eintrag über Versickerungsbecken – maximale Änderung (Entfernung < 150 m zum Emittenten) = Beispiel 2

Für diesen Fall wurden folgende Parameter angenommen:

- Nächstgelegene Straßenmeisterei: Oeynhausen (Bemessungswert 1,21 kg Cl/m²)
- Backgroundwert: 35 g/m³
- Breite der Straße: 16 m
- Länge des Entwässerungsabschnittes: 470 m
- Sprühnebelanteil: 20% (siehe Tabelle 5, S. 24)
- Ermittelter Hohlraumanteil: 0,2
- Grundwassermächtigkeit: 12 m
- Grundwasserabstandsgeschwindigkeit: 3 m/d
- Entfernung des Beobachtungspunktes vom Versickerungsbecken: 110°m
- Breite des Versickerungsbeckens quer zur Grundwasserfließrichtung: 20 m
- Winkel zwischen Grundwasser und Straße (zur Berechnung des diffusen Anteils): 65°

Geologie und Grundwasser GmbH INGENIEURBÜRO FÜR TECHNISCHE GEOLOGIE		Chloridkonzentrationsverlauf / Einzelereignis Maximalkonzentration	
Auer-Welsbach-Gasse 24 8055 Graz 0316 / 24 40 99 geo-gmbh.at office@geo-gmbh.at		Entfernung des Beurteilungspunktes zur Straße < 150 m Eintrag über ein Versickerungsbecken	
$c = c_R \cdot e^{-\frac{1}{4 D_{11}} \frac{(x - v_a \cdot t)^2}{t}}$		ausfüllen errechneter Wert bzw. Vorgabe / nicht ausfüllen	
Faktor	Einheit		
BW	Bemessungswert lt. Tabelle 4	kg/m ²	1,21
BG	Backgroundwert	g/m ³	35,00
B	Breite der Straße	m	16,00
L	Länge des Entwässerungsabschnittes	m	470,00
A _{SPRAY}	Sprühnebelanteil in% lt. Tab. 5 des Leitfadens	%	20,00
m	Gesamtstreuemenge Chlorid im Straßenabschnitt	g	1384950,00
H	Grundwassermächtigkeit	m	12,00
p _{eff}	nutzbarer Hohlraumanteil	[]	0,20
D _l	Longitudinaler Dispersionskoeffizient	m ² /s	2,96E-04
c _m	Maximale Konzentration	g/m ³	294,16
v _a	Abstandsgeschwindigkeit	m/s	3,47E-04
t	Zeit	s	1728000,00
x	Abstand des beurteilten Punktes vom Versickerungsbecken	m	110,00
α _g	Dispersivität berechnet n. FANK (o.D)	m	8,50
β	Winkel zw. Grundwasserfließrichtung und Straße	°	65,00
B _A	Eintragsbreite des Beckens normal zur Fließrichtung	m	20,00
m _K	korrigierte Chloridmenge	g / m _{Beckenbreite}	54595,20

Abbildung 5: Gewählte Parameter bei punktförmigem Eintrag

Daraus wurde folgender Konzentrationsverlauf ermittelt:

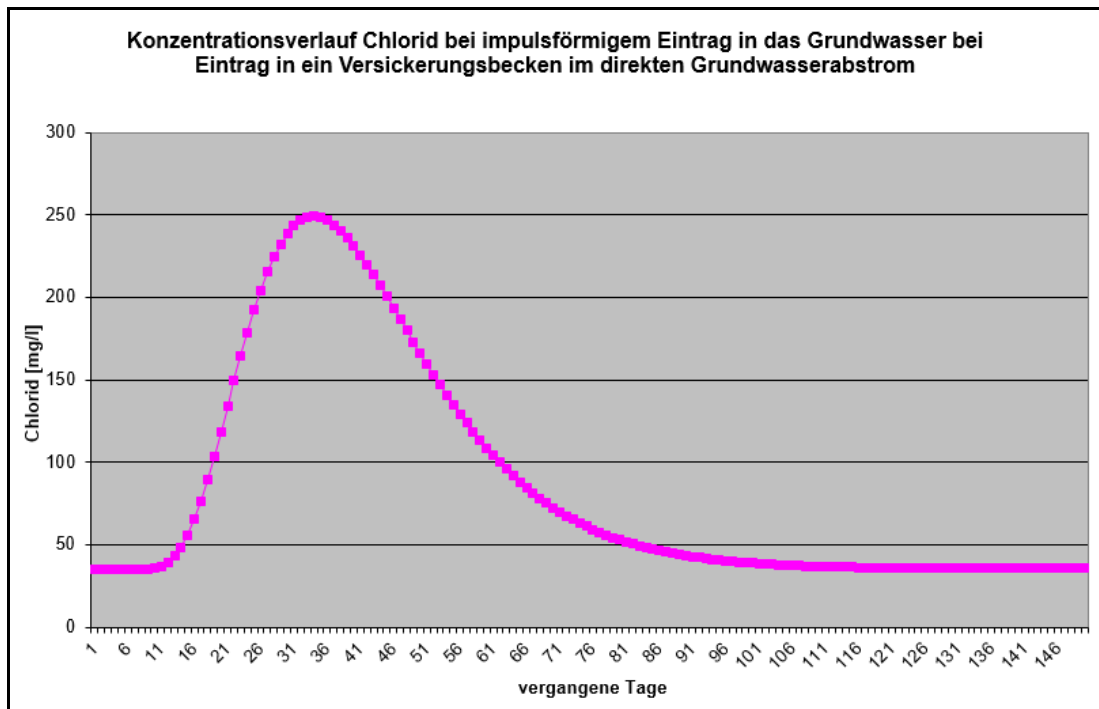


Abbildung 6: Konzentrationsverlauf von Chlorid bei punktförmigem Eintrag

3.2 Abschätzung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 150 m zum Emittenten

Für die Ermittlung der mittleren Änderung spielt der „Beeinträchtigungszeitraum“ eine wesentliche Rolle. Dieser „Beeinträchtigungszeitraum“ wird automatisch durch das vorliegende Excel sheet auf Basis der eingegebenen Parameter ermittelt.

Gesamtbeeinträchtigungszeiträume über 365 Tage sind nicht sinnvoll, da in diesem Fall die nächste Streuperiode bereits einsetzen würde und werden daher automatisch vom gegenständlichen Excel sheet korrigiert. Bei der Bewertung des ermittelten Ergebnisses ist zu berücksichtigen, dass kürzere Beeinträchtigungszeiträume naturgemäß höhere Chloridkonzentrationen ergeben, weil dadurch der Verdünnungseffekt abnimmt.

Bei sehr hohen Flurabständen (> 20 m) wird automatisch ein Beeinträchtigungszeitraum von 365 Tagen angenommen, ebenso bei Entfernungen des Beurteilungspunktes > 1000 m.

Auf Basis des Gesamtbeeinträchtigungszeitraumes können mit den beigefügten Excel sheets die Berechnungen der mittleren Chloridkonzentration alternativ für den punktuellen Eintrag aus einem Versickerungsbecken (siehe Beispiel 4) bzw. für eine Entwässerung über die Böschung (linearer Eintrag, Beispiel 3) durchgeführt werden.

3.2.1 Linearer Eintrag über die Böschung – mittlere Konzentration (Entfernung > 150 m zum Emittenten) = Beispiel 3

Berechnung bei linearem Eintrag über die Böschung im Raum Graz:

Für diesen Fall wurden folgende Parameter angenommen:

- Bemessungswert für Graz - Raaba gemäß Tabelle 4, S. 22 im Leitfaden: 1,06 kg/m
- Streuzeitraum: 151 Tage
- Flurabstand > 20 m: nein
- Backgroundwert: 40 mg/l
- Grundwasserneubildung: 0,1 m³/m² im Jahr
- Straßenbreite: 8 m
- Durchlässigkeitsbeiwert: 0,001 m/s
- Grundwassergefälle: 0,003
- Aquifermächtigkeit: 6 m
- Hohlraumanteil: 0,2
- Abstandsgeschwindigkeit: 2,5 m/d
- Winkel zwischen Grundwasserfließrichtung und Straße: 80°
- Entfernung des Beurteilungspunktes: 350 m

Daraus errechnet sich eine mittlere Konzentration von ca. 53,5 g/m³ im Beeinträchtigungszeitraum.

LEITFADEN
VERSICKERUNG CHLORIDBELASTETER STRASSENWÄSSER


Berechnung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration			
 <p>Geologie und Grundwasser GmbH INGENIEURBÜRO FÜR TECHNISCHE GEOLOGIE</p> <p>Auer-Welsbach-Gasse 24 8055 Graz 0316 / 24 40 89 geo-gmbh.at office@geo-gmbh.at</p>		$\Delta c_0 = \frac{\sum m}{t_{\text{Beeinträchtigung}} \cdot k_f \cdot I \cdot A + G_{\text{GN}} \cdot t_{\text{Beeinträchtigung}} \cdot R_{\text{GN}}}$	<p>ausfüllen</p> <p>errechneter Wert</p> <p>Kontrollwert</p>
Anm: A = H * 1 m			
Eintrag über die Böschung			
Faktor		Einheit	
BW	Bemessungswert lt. Tab. 4	kg / m ²	1,06
FA	Flurabstand bei mittlerem Grundwasserspiegel > 20m (ja=1, nein=0)	[]	0
STZ	Streuzeitraum (üblicherweise 1.November - 31.März = 151 d)	d	151
BG	Backgroundwert	g/m ³	40
b	Breite der Straße	m	8
GWN	Grundwasserneubildung	m ³ / m ² a ⁻¹	0,2
p _{eff}	nutzbarer Hohlraumanteil	[]	0,1
v _a	Abstandsgeschwindigkeit	m/s	2,89352E-05
			2,5 m/d
m	gesamte über die Streuperiode aufgebrauchte Chloridmenge je lfm Strasse	g / lfm	8480
t _{Beeinträchtigung}	Beeinträchtigungszeitraum	d	365
			31536000
X	Abstand des Beurteilungspunktes	m	350
H	Grundwassermächtigkeit	m	6
k _f	Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,001
J	hydraulisches Gefälle	[]	0,003
β	Winkel zw. Grundwasserfließrichtung und Straße	°	80
	Berechnungsterm		1,02
m _c	korrigierte Chloridmenge	g / lfm	8610,82
	Berechnungsterm 2		1,00
Δ c ₀	mittlere Konzentration im Beeinträchtigungszeitraum		53,5 g/m³

Abbildung 7: Mittlere Änderung der Chloridkonzentration bei linearem Eintrag über die Böschung

3.2.2 Punktueller Eintrag über ein Versickerungsbecken – mittlere Konzentration (Entfernung > 150 m zum Emittenten) = Beispiel 4

Berechnung bei einem Eintrag in ein Versickerungsbecken im Raum Graz

Für diesen Fall wurden folgende Parameter angenommen:

- Bemessungswert für Graz - Raaba gemäß Tabelle 4 S. 22 im Leitfaden: 1,06 kg/m²
- Streuzeitraum: 151 Tage
- Flurabstand > 20 m: nein
- Backgroundwert: 25 g/m³
- Grundwasserneubildung: 0,1 m³/m²a
- Länge des Entwässerungsabschnittes: 470 m
- Straßenbreite: 18 m
- Sprühnebelanteil: 20%
- Durchlässigkeitsbeiwert: 0,001 m/s
- Grundwassergefälle: 0,003
- Breite des Beckens quer zur Grundwasserfließrichtung: 10 m

- Ausbreitungswinkel der Chloridfahne: 10°
- Aquifermächtigkeit: 6 m
- Nutzbare Porosität: 0,2
- Grundwasserabstandsgeschwindigkeit: 2,5 m
- Winkel zwischen Grundwasserfließrichtung und Straße: 75°
- Entfernung des Beurteilungspunktes: 350 m

Daraus errechnet sich eine mittlere Konzentration von ca. 120 g/m³ in der gewählten Entfernung im Abstrombereich des Versickerungsbeckens.


Geologie und Grundwasser GmbH INGENIEURBÜRO FÜR TECHNISCHE GEOLOGIE			Anm.: A = H * bx	
			$\Delta c_o = \frac{\sum m}{t_{\text{Beeinträchtigung}} \cdot k_f \cdot I \cdot A + GWN_{\text{Beeinträchtigung}} / A_{\text{GWN}}}$	
			ausfüllen	
			errechneter Wert	
			Kontrollwert	
Eintrag über ein Versickerungsbecken / mittlere Änderung der Chloridkonzentration				
Faktor	Bemessungswert	Einheit		
BW	Bemessungswert lt. Tab. 4	kg / m ²	1,06	
FA	Flurabstand bei mittlerem Grundwasserspiegel > 20 m (ja = 1, nein = 0)	[]	0	
STZ	Streuzeitraum (üblicherweise 1. November - 31. März = 151 d)	d	151	
BG	Backgroundwert	g / m ³	25	
GWN	Grundwasserneubildung	m ³ / m ² a ⁻¹	0,1	
L	Länge des Entwässerungsabschnittes	m	470	
b	Breite der Straße im Entwässerungsabschnitt	m	18	
A _{SPRAY}	Sprühnebelanteil lt. Tabelle 5	%	20	
m	gesamte im Entwässerungsabschnitt aufgebrauchte Menge	kg	8957,8	
m	gesamte im Entwässerungsabschnitt aufgebrauchte Menge	g	8957600	
m ₂	diffuser Anteil Gesamtstrecke	g	1793520	
β	Winkel zw. Grundwasserfließrichtung und Straße	°	75	
v _a	Grundwasserabstandsgeschwindigkeit	m/d	2,5	
	Berechnungsterm		1,04	
m _k	korrigierte Massen der eingegebenen Substanz	g	7427154	
t _{Beeinträchtigung}	Beeinträchtigungszeitraum (Delta Chlorid > 0,5mg/l) + Streuzeitraum	d	365	31536000
H	Grundwassermächtigkeit	m	6	
p _{eff}	nutzbarer Hohlraumanteil	[]	0,2	
k _f	Durchlässigkeitsbeiwert	m / s	0,001	
J	hydraulische Gefälle	[]	0,003	
m _{1,2}	korrigierte Chloridmenge in Becken inklusive diffusum Anteil	g	7465314	
x	Entfernung des Beurteilungspunktes	m	350	
	Breite des Beckens normal zur Grundwasserfließrichtung	m	10	
	Ausbreitungswinkel Chloridfahne	°	10	0,176326981
b _x	Abstrombreite in der Entfernung X	m	133,43	
	Term 2		78250,65	
	Term 3		2510,01	
Δ c _o	Mittlere Konzentration im Beeinträchtigungszeitraum		120	g/m³

Abbildung 8: Mittlere Änderung der Chloridkonzentration bei Eintrag über ein Versickerungsbecken

3.3 Abschätzung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 50 m zum Emittenten bei ausschließlichem Eintrag über Sprühnebel = Beispiel 5

Berechnung bei diffusum Eintrag über Sprühnebel im Raum Graz:

Für diesen Fall wurden folgende Parameter angenommen:

- Bemessungswert für Graz - Raaba gemäß Tabelle 4, S. 22 im Leitfaden: 20% von 1,06 kg/m² = 0,212 kg/m² (Fahrbahn auf Geländeneiveau)
- Streuzeitraum: 151 Tage

LEITFADEN
VERSICKERUNG CHLORIDBELASTETER STRASSENWÄSSER

- Flurabstand > 20 m: nein
- Backgroundwert: 40 mg/l
- Grundwasserneubildung: 0,1 m³/m² im Jahr
- Straßenbreite: 8 m
- Durchlässigkeitsbeiwert: 0,001 m/s
- Grundwassergefälle: 0,003
- Aquifermächtigkeit: 6 m
- Hohlraumanteil: 0,2
- Abstandsgeschwindigkeit: 2,5 m/d
- Winkel zwischen Grundwasserfließrichtung und Straße: 80°
- Entfernung des Beurteilungspunktes: 60 m

Daraus errechnet sich eine mittlere Konzentration von ca. 43,4 g/m³ im Beeinträchtigungszeitraum.


Berechnung der mittleren Änderung der Chloridkonzentration / Sprühnebeleintrag			
 <p>Geologie und Grundwasser GmbH INGENIEURBÜRO FÜR TECHNISCHE GEOLOGIE</p> <p>Auer-Welsbach-Gasse 24 8055 Graz 0316 / 24 40 89 geo-gmbh.at office@geo-gmbh.at</p>		$\Delta c_0 = \frac{\sum m}{t_{\text{Beeinträchtigung}} \cdot k_f \cdot I \cdot A + G_{\text{GN}} \cdot t_{\text{Beeinträchtigung}} \cdot R_{\text{GN}}}$	<p>ausfüllen</p> <p>errechneter Wert</p> <p>Kontrollwert</p>
Anm: A = H * 1 m			
Berechnung Sprühnebeleintrag Chlorid			
Faktor		Einheit	
BW	Bemessungswert lt. Tab. 4 bzw. anteilmäßig lt. Tab. 5	kg /m ²	0,212
FA	Flurabstand bei mittlerem Grundwasserspiegel > 20m (ja=1, nein=0)	[]	0
STZ	Streuzeitraum (üblicherweise 1.November - 31.März = 151 d)	d	151
BG	Backgroundwert	g/m ³	40
b	Breite der Straße	m	8
GWN	Grundwasserneubildung	m ³ / m ² a ⁻¹	0,1
p _{eff}	nutzbarer Hohlraumanteil	[]	0,2
v _a	Abstandsgeschwindigkeit	m/s	2,89352E-05
			2,5 m/d
m	gesamte über die Streuperiode aufgebrauchte Chloridmenge je lfm Strasse	g / lfm	1696
t _{Beeinträchtigung}	Beeinträchtigungszeitraum	d	327
			28252800
X	Abstand des Beurteilungspunktes	m	60
H	Grundwassermächtigkeit	m	6
k _f	Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,001
J	hydraulisches Gefälle	[]	0,003
β	Winkel zw. Grundwasserfließrichtung und Straße	°	80
	Berechnungsterm		1,02
m _k	korigierte Chloridmenge	g / lfm	1722,16
	Berechnungsterm 2		0,90
Δ c ₀	mittlere Konzentration im Beeinträchtigungszeitraum		43,4 g/m³

Abbildung 9: Mittlere Änderung der Chloridkonzentration bei diffusum Eintrag

4 VORGANGSWEISE BEI DER BEURTEILUNG DER AUSBREITUNG VON CHLORID IM GRUNDWASSER

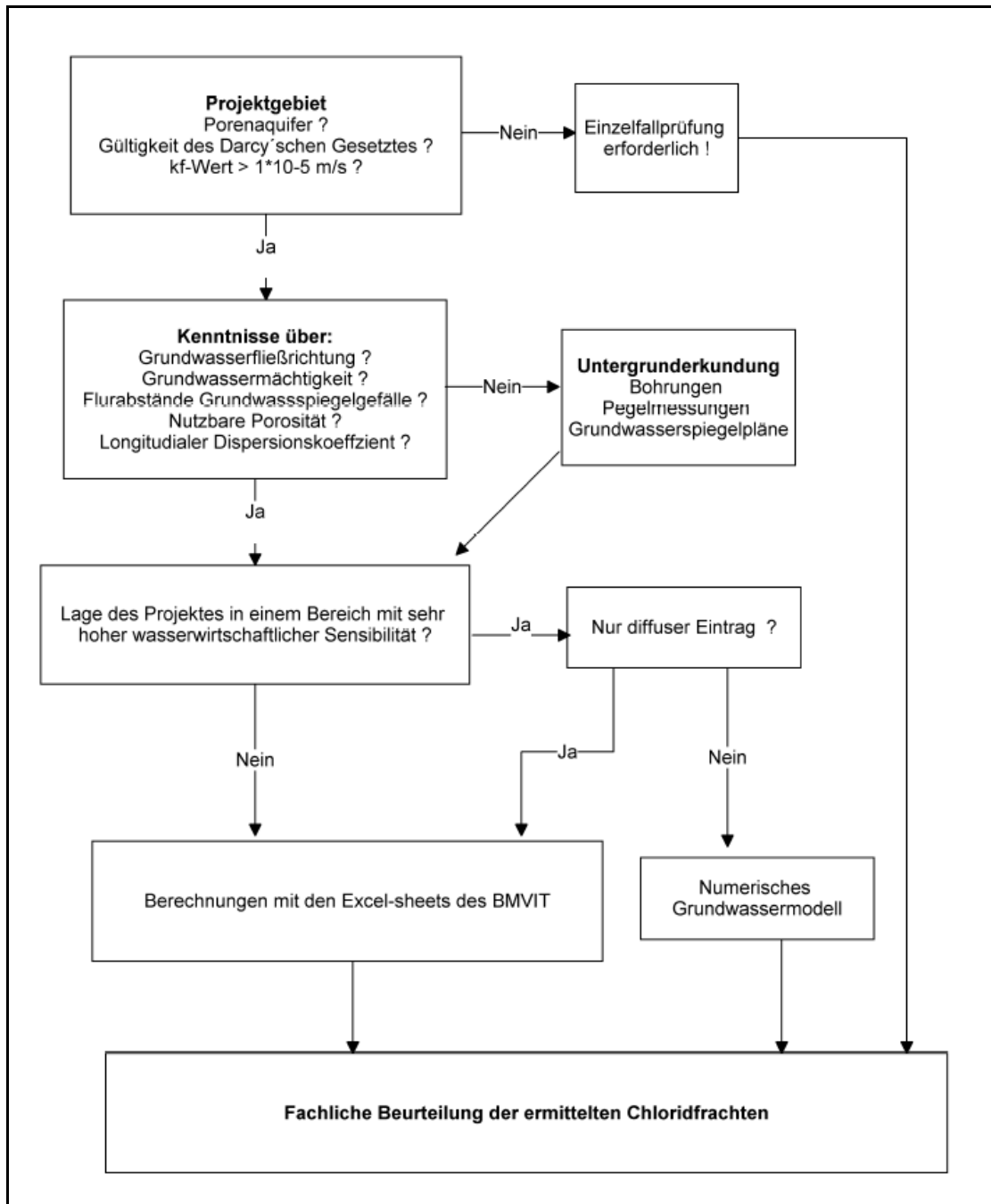


Abbildung 10: Vorgangsweise bei der Beurteilung der Ausbreitung von Chlorid im Grundwasser

5 ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG

Eine näherungsweise analytische Abschätzung der durch die Salzstreuung hervorgerufenen Veränderung des Chloridgehaltes im Grundwasserabstrombereich von Straßen ist möglich, sofern die wichtigsten hydrogeologischen Eingangsparameter vorliegen.

Um eine analytische Abschätzung vornehmen zu können, sind entsprechende Vereinfachungen des Modellsystems (Grundwassergeometrie, Homogenität des Grundwassers, Vernachlässigung der Grundwasserneubildung, Vernachlässigung des variablen Backgrounds, variierende Abstandsgeschwindigkeiten, Vernachlässigung von dichteabhängigem Transport, etc.) notwendig.

Die angeführten Berechnungsansätze gehen zum Teil von einem impulsförmigen Eintrag aus und stehen so naturgemäß im Widerspruch zu den natürlichen Verhältnissen. Trotzdem scheint eine näherungsweise Berechnung der Chloridkonzentrationen möglich.

Drei Berechnungsansätze werden für die gegenständliche Fragestellung vorgestellt:

- Abschätzung der **maximalen Änderung** der Chloridkonzentration durch ein Einzelereignis mit Darstellung des zeitlichen Verlaufes im Nahbereich des Emittenten (< 150 m)
- Abschätzung der **mittleren Änderung** der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum in Entfernungen > 150 m zum Emittenten
- Abschätzung der **mittleren Änderungen** der Chloridkonzentration in einem bestimmten Zeitraum **bei ausschließlich diffusem Eintrag** über Sprühnebel in Entfernungen > 50 m

Folgende (hydrogeologische) Parameter sind für die Abschätzung des Chloridtransportes im Grundwasser notwendig:

- Aufgebrachte Chloridmenge
- Grundwasserfließrichtung
- Flurabstand
- Grundwassermächtigkeit
- Nutzbare Porosität
- Grundwassergefälle
- Grundwasserabstandsgeschwindigkeit
- Longitudinaler Dispersionskoeffizient
- Grundwasserneubildung

Aufgebrachte Chloridmenge:

Für die Berechnung eines kurzzeitigen Peaks durch ein Einzelereignis wird davon ausgegangen, dass 15 % des Jahresbemessungswertes impulsförmig in das Grundwasser eingetragen werden. Untersuchungen (BMVIT, 2009 und GEOLOGIE & GRUNDWASSER, 2009) haben gezeigt, dass dies ein realistisches Szenario darstellt.

Für die Berechnung der mittleren Änderung der Chloridkonzentrationen ist die Tabelle 4, S. 22 im Leitfaden, mit dem Bemessungswert in kg Chlorid/m² heranzuziehen. Der Sprühnebenanteil kann entsprechend Tabelle 5 angenommen werden.

Grundwasserfließrichtung

Die Grundwasserfließrichtung ist aus Grundwasserspiegelplänen zu ermitteln und ist in Bezug zum relevanten Straßenverlauf zu setzen.

Flurabstand

Die Erfahrungen beim Projekt Guntramsdorf haben gezeigt, dass geringe Flurabstände bis ca. 2 m für die Abschätzung des Stofftransportes vernachlässigbar sind.

Bei Flurabständen größer 5 m sollten jedenfalls Abschätzungen hinsichtlich der Eintragsverzögerungen durch den Transport in der ungesättigten Zone durchgeführt werden, dadurch würde sich bei den vorgeschlagenen Berechnungsarten eine Verlängerung des Beeinträchtigungszeitraumes ergeben. Insbesondere bei Versickerungsbecken muss jedoch berücksichtigt werden, dass aufgrund der erhöhten lokalen Grundwasserneubildung in diesem Bereich der Transport in der ungesättigten Zone gegebenenfalls äußerst rasch erfolgen kann.

Für die gegenständliche Fragestellung wurden die Flurabstände im Wesentlichen vernachlässigt, um eine zusätzliche Sicherheit bei den Berechnungen zu berücksichtigen.

Bei Flurabständen größer 20 m kann davon ausgegangen werden, dass der Beeinträchtigungszeitraum den maximalen Wert von 365 Tagen umfasst.

Grundwassermächtigkeit

Die Grundwassermächtigkeit spielt hinsichtlich der Verdünnung des Chlorids eine wesentliche Rolle. Für die durchgeführten Berechnungen wurden jedenfalls dichteabhängige Fragestellungen des Chloridtransportes vernachlässigt.

Nutzbare Porosität

Die nutzbare Porosität kann beispielsweise nach Marotz (HÖLTING & COLDEWEY, 2005) über den Durchlässigkeitsbeiwert ermittelt werden, auch eine Berechnung über die Grundwasserdynamik bzw. -neubildung ist möglich.

Grundwassergefälle

Das Grundwasserspiegelgefälle spielt hinsichtlich des Grundwasserdurchsatzes und der -fließgeschwindigkeit und somit für die Verdünnung eine wesentliche Rolle. Es ist aus einem Grundwasserspiegelplan abzuleiten.

Grundwasserabstandsgeschwindigkeit

Die Grundwasserabstandsgeschwindigkeit kann über die nutzbare Porosität, den Durchlässigkeitsbeiwert und das Grundwasserspiegelgefälle errechnet werden. Vorzuziehen wäre jedoch die Bestimmung über einen Markierungsversuch.

Die Grundwasserabstandsgeschwindigkeit ist ein wesentlicher Einflussfaktor für die dispersive Verteilung des Chlorids im Grundwasser.

Longitudinaler Dispersionskoeffizient

In der Literatur (KINZELBACH & STAUFFER, o. D.) ist der Dispersionskoeffizient mit $0,1 \cdot x$ (x = Entfernung des Beobachtungspunktes zur Straße) angegeben, dies ist jedoch erfahrungsgemäß nur für gleichförmige Sande gültig. Wenn möglich sollten aus der Praxis ermittelte Werte für verschiedene Böden herangezogen werden (FANK, o.D.).

Grundwasserneubildung

Naturgemäß ist die Abschätzung der Grundwasserneubildung schwierig und nur in Ansätzen möglich. Aus diesem Grund wird ein Defaultwert von $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ im Jahr vorgeschlagen. Die Validierung dieses Parameters muss durch den planenden Hydrogeologen durchgeführt werden – fachlich begründete Abweichungen sind natürlich zulässig. Erfahrungsgemäß wirkt sich die Grundwasserneubildung jedoch nur sehr bedingt (einstelliger Prozentbereich) auf das Rechenergebnis aus.

Bei der Darstellung der in die Berechnung eingehenden Parameter zeigt sich, dass naturgemäß eine gewisse Variabilität bzw. Unsicherheit gegeben ist.

Aus diesem Grund kann eine analytische Abschätzung lediglich dazu dienen eine grundsätzliche Beurteilung vorzunehmen.

Bei Fragestellungen in Bereichen mit sehr hoher wasserwirtschaftlicher Sensibilität erscheint aus fachlicher Sicht jedenfalls die numerische Modellierung des Chloridtransportes, mit Ausnahme des rein diffusen Eintrages ("Sprühnebel"), angezeigt.

Grundsätzlich erscheint es bei Straßenprojekten zielführend eine/n Hydrogeologen/in frühzeitig in die Entwässerungsplanung miteinzubeziehen, um eine Optimierung des Projektablaufes hinsichtlich der Situierung von Entwässerungseinrichtungen unter der Berücksichtigung von fremden Rechten und wasserwirtschaftlichen Interessen zu ermöglichen.

6 LITERATURVERZEICHNIS

APPELO, C., POSTMA, D., 1994: Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema. Rotterdam, 536 S.

BÖTTCHER et al., 2008: Simulation von Wasserfluss, Wärme- und Stofftransport auf der Lysimeterskala. Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, Dresden.

BROD, H.-G., 1993: Langzeitwirkungen von Streusalz auf die Umwelt. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V2, Bergisch Gladbach.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE, 2009: Auswirkungen der Salzstreuung auf Boden und Grundwasser – impact of de-icing salt on soil and groundwater. Straßenforschung – Heft 583, Wien.

FANK, J., ohne Datum: 10 Jahre Forschungsstation Wagna – Ergebnisse – Umsetzung – Zukunftsstrategien – Institut für Hydrogeologie & Geothermie. Unveröff., digital als pdf, Graz.

GEOLOGIE & GRUNDWASSER GMBH, 2009: Auftaumittel im Porengrundwasser - Ermittlung von Auftaumittelfrachten und Evaluierung bestehender Rechenansätze im Nahbereich übergeordneter Straßennetze am Beispiel des Grundwasserfeldes im Abstrom der A3 bei Guntramsdorf. Endbericht – April 2009, GZ: BMVIT-322.090/0005-II/ST1/2008, Graz.

GREGORI, M., et al., 2008: Auswirkung der Salzstreuung auf Boden und Grundwasser, - Auftrag Straßenforschung Nr. 2283 des BMVIT _ II/ST-ALG. Unveröff. Vorabzug, Gumpoldskirchen, Pregarten.

GOLWER, A., 1973: Beeinflussung des Grundwassers durch Straßen. Band 124, Z. Deutsch. Geol. Gesellschaft.

HOLZBECHER, E., 1996: Modellierung dynamischer Prozesse in der Hydrologie – Grundwasser und ungesättigte Zone. Springer Verlag Berlin, Heidelberg.

HÖLTING, B. und COLDEWEY, G., 2005: Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Spektrum - Akademischer Verlag, 6. Auflage, München, 326 S.

KAINZ, M., PEINTNER, A., STARK, S., 2003: Heißes Thema: Eis und Schnee. Die Umweltberatung, Verband Österreichischer Umweltberatungsstellen, Wien.

KASTING U., 2002: Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen. Dissertation, Universität Kaiserslautern.

KINZELBACH, W. und RAUSCH, R., 1995: Grundwassermodellierung – Eine Einführung mit Übungen. Borntraeger Verlag, Stuttgart, 283 S.

- KINZELBACH, W. und STAUFFER, F., ohne Datum: Vorlesungsunterlagen – Transport im Grundwasser. digital als pdf.
- KOGSEDER, A., 2008: Literaturrecherche über Auftaumittel im Grundwasser. Bachelorarbeit an der Karl Franzens Universität Graz.
- LANGGUTH, H. und VOIGT, R., 2004: Hydrogeologische Methoden. 2. erweiterte und überarbeitete Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1005 S.
- LUNDMARK, A., 2008: Monitoring transport and fate of de-icing salt in the roadside environment – modelling and field measurements. The Royal Institute of Technology. http://www.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_FILES/LWR_PHD_1038.pdf
- MANGOLD, T., 2000: Road salt use for winter maintenance. University of Minnesota. <http://sci.cfans.umn.edu/StudProj/5061Mangold.pdf>
- MATSCHE, N., 1996: Aspekte zum Salzeinsatz im Winterdienst. Auswirkungen auf das Wasser (Abwasser, Grundwasser, Trinkwasser). Unveröff. Einzelgutachten
- MEYER, M., 1999: Fate and transport of deicing materials in an unconfined roadside aquifer. Dissertation, University of Massachusetts.
- NCHRP, 2007: Guidelines for the selection of snow and ice control materials to mitigate environmental impacts. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_577.pdf
- MULL, R., HOLLÄNDER, H., 2002: Grundwasserhydraulik und –hydrologie: Eine Einführung. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 247 S..
- ÖWAV, 2008: Abwässer von Verkehrsflächen – Neue Herausforderungen und Lösungen, ÖWAV – Tagung vom 04.12.2008, Tagungsband, Wien.
- PEER, T., PODLESÁK, K., 1991: Auswirkungen von chloridhaltigen Auftaumitteln auf Wasser und Boden im Bereich von Autobahnen und Schnellstraßen. Österreichische Wasserwirtschaft, Sonderdruck 43.
- RAUSCH, R., SCHÄFER, W., THERRIEN, R., WAGNER, C., 2005: Solute Transport Modelling – An Introduction to Models and Solution Strategies, Bornträger Verlag, Berlin, Stuttgart, 205 S.
- RAUSCH, R., SCHÄFER W., WAGNER C., 2002: Einführung in die Transportmodellierung im Grundwasser. Bornträger Verlag, Berlin, Stuttgart, 183 S.
- RIVERSIDES STEWARDSHIP ALLIANCE, 2006: A low salt diet for Ontario's roads and rivers. RiverSides. http://www.riversides.org/websitefiles/riversides_road_salts_report_final.pdf
- SCHÄFER, W., ohne Datum: Modellierung des Stofftransports im Grundwasser. http://www.schaefer-gwm.de/downloads/mod_sttp.pdf

SIEGHARDT, M. und WRESOWAR, M., 2000: Studie über die Auswirkung stickstoffhaltiger Auftaumittel. Boku Wien.

<http://www.wien.gv.at/umweltschutz/oekokauf/pdf/auftaumittel-zus.pdf>

THUNQVIST E., 2003: Estimating chloride concentration in surface water and groundwater due to deicing salt application. The Royal Institute of Technology.

[http://www.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_FILES/LWR PHD 1006.pdf](http://www.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_FILES/LWR_PHD_1006.pdf)