

Projekt STORM – Abwassereinleitungen bei Regenwetter

Bei Regen durchläuft nur ein Teil des Abwassers die Kläranlagen. Das restliche Abwasser gelangt direkt oder nach einfacher Behandlung ins Gewässer. Die Planung solcher Anlagen basiert heute auf problemunspezifischen und statischen Planungsverfahren. Um den Gewässerschutz und die Kostenwirksamkeit von Massnahmen weiter zu verbessern, sollen künftig sowohl vermehrt ökologische Faktoren als auch Unsicherheiten in die Planungs- und Entscheidungsprozesse einfließen.

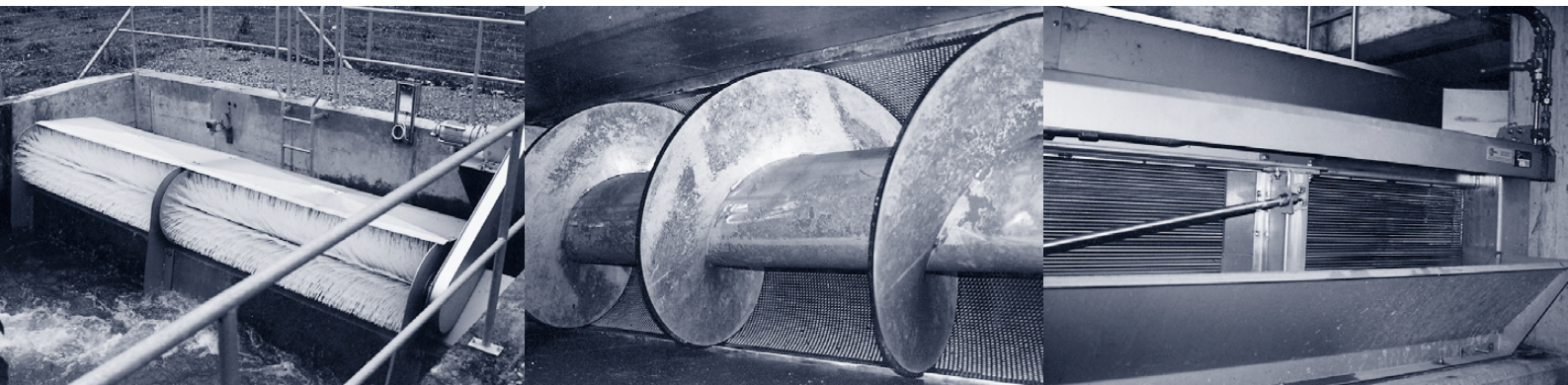
Im Gewässerschutz gibt es kaum eine heiklere Problematik mit einem ähnlich komplexen, dynamischen und zufälligen Verhalten wie die Belastung der Oberflächengewässer bei Regenwetter. Dies gilt insbesondere für

die Ableitung von Regenwasser aus dem Siedlungsbereich, weil dort der grösste Teil des anfallenden Wassers nicht versickern kann und deshalb über die Kanalisation wegtransportiert werden muss. Bei der in

der Schweiz mehrheitlich gebauten Mischkanalisation gelangt der Regen mit dem restlichen Abwasser in eine Kläranlage und wird erst nach Reinigung in die Gewässer entlassen. Bei ergiebigen Regenfällen sind die Kläranlagen jedoch nicht in der Lage, das gesamte Wasser aufzunehmen. Dies liegt daran, dass Kläranlagen aus den verschiedensten Gründen in der Regel nur für das Doppelte der bei Trockenwetter abfließenden Wassermenge (\approx Regenabfluss bei Schwachregen) dimensioniert sind. Deshalb gelangt bei stärkerem Regen ein Teil des anfallenden Regen- und Abwassers direkt, ohne Reinigung, in die Gewässer.

Ort der Manifestation/ Problem und potenzielle Auswirkungen	Potenzielle Ursachen	Beispiele möglicher Massnahmen		
		im Siedlungsgebiet	in der Siedlungs- entwässerung	im Gewässer
Siedlungsgebiet, Kanalisation				
Häufige und lange Mischwasserentlastungen	Fremdwasser und wenig verschmutztes Abwasser im Mischsystem	Separate Ableitung des Regenwassers, Versickerung	Vermeidung der Fremdwassereinleitungen	
Häufige und lange Mischwasserentlastungen	Falsche Funktion des Regenüberlaufs		Einstellung der Drosselung	
Gewässer				
Ästhetische Beeinträchtigung: gestörtes Wohlbefinden des Menschen	Eintrag von Grobstoffen (Toilettenartikel etc.), Geruch, Farbstoffe	Schmutzwasserspeicher	Rechen/Siebe	
Kolmation der Sohle: Sauerstoffdefizit im Sohlenbereich und im hyporheischen Interstitial	Feststoffe im Abwasser, Eintrag von leicht abbaubaren partikulären Verunreinigungen	Verminderung von Ablagerungen in der Kanalisation	Vermeidung, Behandlung (z.B. Sedimentation, Wirbelabscheider), Optimierung des Betriebes	
Hygiene: Erhöhtes Infektionsrisiko	Eintrag von Bakterien, Krankheitserreger		Verlegung der Einleitung, Speicherung, Abflusssteuerung	Warnung, befristetes Badeverbot
Hydraulische Belastung: Verdriftung oder Absterben von Organismen	Geschiebetrieb und hohe Fließgeschwindigkeiten verursacht durch die Kanalisationseinleitung	Entsiegelung, Regenwassernutzung, -retention, -versickerung	Verlegung der Einleitung, Speicherung, Abflusssteuerung	Profilanpassung, Substratverbesserung (Schaffung von Refugialräumen)
Akute Probleme (Toxizität, NH ₃ , O ₂): Schädigung/Absterben von Organismen	Eintrag von toxischen Stoffen, unnatürlich niedrige Wasserführung, hoher pH-Wert und Temperatur in Fließgewässern	Schmutzwasserspeicher	Verlegung der Einleitung, Speicherung, Abflusssteuerung, Reinigung	Beschattung durch Bäume und andere Pflanzen, Verbesserung des hydrologischen Regimes
Gewässereutrophierung: Schädigung von Organismen	Eintrag von Nährstoffen	Massnahmen an der Quelle	Speicherung, Abflusssteuerung	Beschattung durch Bäume und andere Pflanzen
Chronische Toxizität: Schädigung von Organismen	Eintrag von Schwermetallen, Pestiziden, hormonaktiven Substanzen etc.	Massnahmen an der Quelle	Reinigung (z.B. Bodenfilter, phys.-chem. Behandlung, Kläranlage)	

Tab. 1: Zusammenhänge zwischen Problemen, verursacht durch Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter, deren Ursachen und möglichen Massnahmen. Die Tabelle zeigt ausgewählte Beispiele auf.



Mögliche Massnahmen (von links nach rechts): rotierende Bürste – Sieb mit Reinigungsspirale – Rechen – unterirdisches Regenüberlaufbecken – oberirdisches, in die Landschaft eingegliedertes Regenüberlaufbecken (unten).

Schutz der Gewässer vor Abwassereinleitungen

Eine Möglichkeit, die Gewässer bei Regenwetter vor Abwassereinleitungen aus Mischkanalisationen zu schützen, ist, das Regenwasser getrennt vom übrigen Abwasser in einer Trennkanalisation den Gewässern zuzuführen. Obwohl diese Lösung auf den ersten Blick sinnvoll erscheint, ist sie dennoch nicht unbedenklich. Denn Regenwasser, das aus Siedlungen abfließt, ist meist auch mit Schmutzstoffen stark belastet, die es von Dächern und Strassen abgewaschen hat. Die Mischkanalisation wurde deshalb mit Regenüberlaufbecken ausgestattet [1]. Sie speichern das Regen-Abwasser-Gemisch vorübergehend, bevor es nach Regenende einer Kläranlage zugeleitet wird. Damit verhindert man v.a. Beeinträchtigungen der Gewässer durch ästhetisch und hygienisch bedenkliche und stark störende Grobstoffe (Tab. 1), die monatelang sichtbar bleiben können. Bisher wurden in der Schweiz ca. 2 Milliarden SFr. in den Bau und Betrieb solcher Regenüberlaufbecken investiert. In der Trennkanalisation gibt es in der Regel keine Massnahmen zur Regenwasserbehandlung. Da jedoch noch viele Gewässer durch verschmutztes Regenwasser

aus Misch- oder Trennkanalisationen beeinträchtigt werden, muss mittelfristig wieder mit Kosten der gleichen Grössenordnung gerechnet werden.

Im Hinblick auf einen optimalen Gewässerschutz und einen effizienten Einsatz der zur Verfügung stehenden Gelder soll die Planung dieser Massnahmen zur Regenwasserableitung nach neuen Kriterien durchgeführt werden. Sie werden zurzeit gemeinsam vom schweizerischen Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, dem Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerfachleute VSA und der EAWAG im Projekt «STORM – Abwassereinleitungen bei Regenwetter» erarbeitet. Dieser Artikel fasst erste Ergebnisse zusammen.

Die neuen Prinzipien der Massnahmenplanung

Immissionsorientierter Ansatz: Bisher ging man bei der Regenwasserableitung im Allgemeinen lediglich von einem emissionsorientierten Ansatz aus, d.h. man berücksichtigte Art und Menge der Schmutzstoffe, die aus der Kanalisation in die Gewässer eingeleitet wurden. Dagegen wurden Zustand und Eigenschaften der Gewässer

nur sehr rudimentär berücksichtigt. Wir schlagen deshalb vor, die zukünftige Massnahmenplanung – so weit es die heutigen Kenntnisse erlauben – durch einen immissionsorientierten Ansatz (siehe Kasten) zu ersetzen und somit auch die Eigenheiten der einzelnen Gewässer mit zu berücksichtigen.

Massgeschneiderte Lösungen durch Wirkungsprognose: Für die in der Vergangenheit umgesetzten Massnahmen zur Regenwasserableitung wurden leider keine Erfolgskontrollen im Hinblick auf die ökologische Wirksamkeit der Massnahmen durchgeführt. Daher kann nicht abgeschätzt werden, wie effizient die aquatischen Lebensgemeinschaften durch die heute bestehenden Regenüberlaufbecken in kritischen Situationen vor Abwassereinleitungen geschützt werden. Aus diesem Grund empfehlen wir im Rahmen zukünftiger Massnahmenplanungen, detaillierte Wirkungsprognosen zu erstellen. Damit sollte es möglich sein, massgeschneiderte Lösungen zu erarbeiten, die an die lokalspezifischen Gegebenheiten angepasst sind.

Planungsunsicherheiten einbeziehen: Will man ein System wie die Siedlungsentwässerung mit einem Modell nachbilden, ist dies immer mit einer Vereinfachung verbunden. Aus diesem Grund ergibt sich eine Reihe von Unsicherheiten. Da zusätzlich noch Gewässerparameter bei der Planung mitberücksichtigt werden sollen, sind die Unsicherheiten noch grösser. Sie beziehen sich unter anderem auf:

- die Modellstruktur: Kann mit dem angewendeten Modell das System ausreichend genau wiedergegeben werden? Sind die erarbeiteten Anforderungen an die Abwassereinleitung bei Regenwetter sinnvoll/realistisch?
- die empirisch bestimmten Modellparameter (z.B. Schadstoffkonzentrationen, Temperatur etc.), die mit Messfehlern behaftet sind;

Der immissionsorientierte Ansatz

Im Gegensatz zur Emissionsstrategie, die lediglich die mit dem Abwasser eingetragenen Schmutzstoffe bei der Planung berücksichtigt, folgt das Immissionsprinzip einer integrierten Betrachtungsweise, die jegliche Art von Beeinträchtigung sowie die Eigenheiten der Gewässer einbezieht. Dabei sind diejenigen Parameter von zentraler Bedeutung, die die Beurteilung kritischer Situationen im Gewässer erlauben:

- die Art der Beeinträchtigung (Tab. 1);
- die Intensität der Beeinträchtigung, z.B. Schadstoffkonzentrationen (chemisch), Konzentration der Krankheitskeime (hygienisch), Veränderung der Temperatur (physikalisch) und Durchfluss resp. Schleppspannung (mechanisch);
- die Dauer der Exposition;
- die Häufigkeit des Auftretens;
- saisonal bedingte Einschränkungen oder Abweichungen;
- die Eigenheiten der Gewässer (Tab. 2), z.B. Typ (Quellbach, Mittellandbach, See) Eigenschaften (Abfluss, Nährstoffgehalt, Artenvorkommen), Zustand (naturnah/verbaut, empfindlich/unempfindlich).



Fotos: V. Krejčí, EAWAG

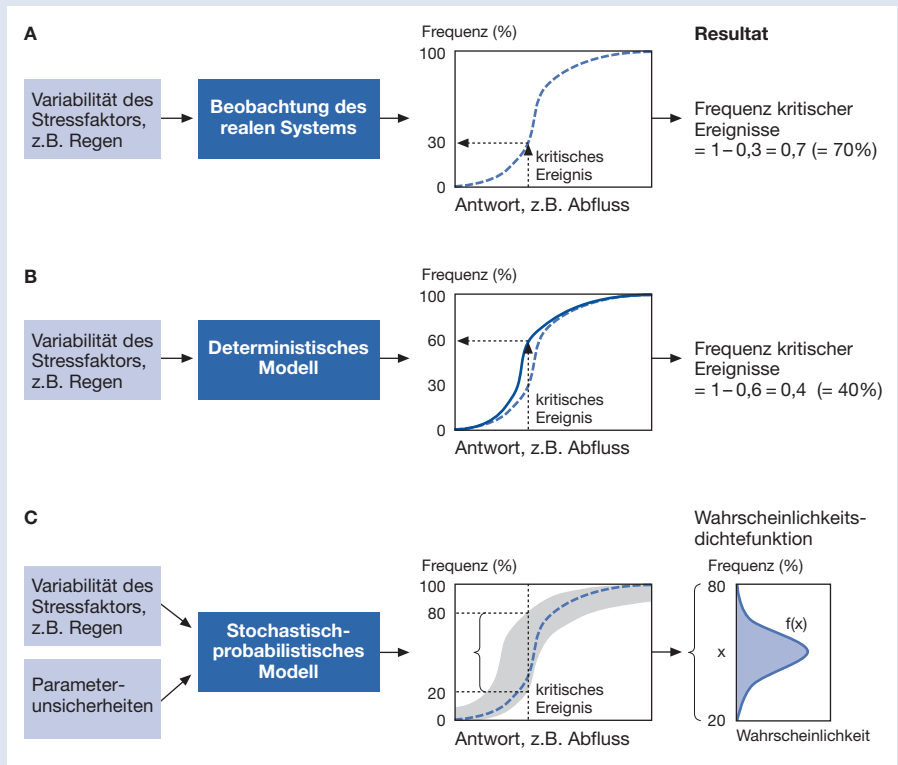


Abb. 1: Planungsinstrumente zur Abschätzung der Häufigkeit von kritischen Ereignissen bei Regenwetter. Das kritische Ereignis richtet sich nach den festgelegten Anforderungen und gibt z.B. an, ab welchem Abfluss Geschiebetransport in Fließgewässern auftritt.

A: Die Frequenz der kritischen Ereignisse wird durch Beobachtung am realen System bestimmt. Gestrichelte Linie = Summenkurve der beobachteten Ereignisse. Diese Kurve wird zum Vergleich auch unter B und C dargestellt.

B: Die Frequenz der kritischen Ereignisse wird durch ein deterministisches Simulationsmodell unter Einbezug der Regenvariabilität berechnet. Aufgrund nicht berücksichtigter Unsicherheiten sind Realität (A) und Modellantwort nicht identisch.

C: Durch das neu entwickelte stochastisch-probabilistische Modell kann zusätzlich die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit der eine gewisse Frequenz kritischer Ereignisse auftritt. In die Computersimulationen gehen sowohl die Variabilität des Regens als auch die Unsicherheiten weiterer Parameter ein. Die Frequenz, mit der kritische Ereignisse eintreten, liegt in einem bestimmten Bereich, hier zwischen 20% und 80%. Alle diese Werte $x =$ Frequenz kritischer Ereignisse gehen in die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von $x = f(x)$.

■ die Variabilität gewisser Einflussgrößen, z.B. das Regenaufkommen und der Abfluss in Fließgewässern. Diese Unsicherheiten müssen in der Wirkungsprognose identifiziert werden. Dies geschieht mittels stochastisch-probabilistischer Modellierung (Abb. 1). Die Unsicher-

heiten können dann entweder in Kauf genommen werden oder es wird eine dynamische Lösung erarbeitet. Konkret könnte das bedeuten, dass in diesen Fällen zunächst weniger Geld in eine kleinere Massnahme investiert und diese eine Zeit lang erprobt würde. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse

würden in eine erneute Wirkungsprognose einfließen, um damit schliesslich die optimale Lösung zu identifizieren. Diese Überlegungen sind eng mit dem Kostenaspekt verbunden. **Erweiterte Massnahmenplanung:** Die bisherige Massnahmenplanung hat vor allem

Gewässertyp	Ästhetik	Hygiene (Krankheitserreger)	Temperatur	Mechanisch-hydraulischer Stress	Chemische Parameter			
					Ammoniak ¹	TSS ²	Nährstoffe	weitere Stoffe ³
Quellbach	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	vorläufig keine gesicherten Informationen vorhanden	
kleiner Mittellandbach	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein		
kleiner Voralpenbach	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein		
grosser Mittellandbach	Ja	Ja	Eventuell ⁴	Eventuell ⁴	Ja	Nein		
grosser Voralpenbach	Ja	Ja	Eventuell ⁴	Eventuell ⁴	Ja	Nein		
grössere Fließgewässer	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja		
kleiner See (Weiher)	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja		
grosser See	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	

¹ akute Toxizität durch Ammoniak
² TSS = Gesamtheit der suspendierten Feststoffe («total suspended solids»)
³ z.B. hormonaktive Substanzen, aromatische und polychlorierte Kohlenwasserstoffe etc.
⁴ gemäss Problemidentifikation

Tab. 2: Relevanz der Problematik bei Abwassereinleitungen aus Mischwasserüberläufen und bei Regenwassereinleitungen aus Trennkanalisationen. Die Aussage «Nein» bedeutet, dass der entsprechende Aspekt für den jeweiligen Gewässertyp nicht relevant ist; z.B. ist der hygienische Aspekt bei kleinen Bächen nicht relevant, weil Menschen dort in der Regel nicht baden.

auf Regenüberlaufbecken gesetzt, um die anfallenden Probleme in den Griff zu bekommen. Es gibt jedoch eine ganze Palette anderer und teilweise preiswerterer Lösungen (Tab. 1), die in Betracht gezogen werden sollten.

Damit diese Prinzipien in zukünftige Massnahmenplanungen einfließen, will STORM folgende Instrumente bereitstellen:

- eine Zusammenstellung der Bedingungen für Abwassereinleitungen bei Regenwetter, basierend auf Anforderungen, die die Gewässereigenheiten berücksichtigen (Tab. 2);
- ein methodisches Konzept zur Massnahmenplanung;
- ein computergestütztes Simulationsprogramm, das auch Unsicherheiten in der Planung prognostizieren kann [2, 3].

Mit Hilfe dieser Instrumente sollte es anschliessend möglich sein, neue Richtlinien zur Regenwasserableitung in der Schweiz zu formulieren.

Wie funktioniert das neue Planungskonzept?

Wie die neuen Prinzipien tatsächlich in eine Massnahmenplanung eingehen können, soll an einem einfachen Beispiel dargestellt werden. Wir betrachten ein kleineres Fließgewässer, das bereits durch ein Regenüberlaufbecken vor Abwassereinleitungen

geschützt ist. Das Becken ist jedoch nicht gross genug, so dass auch bei nicht besonders ergiebigem Regen Abwasser in das Fließgewässer gelangt. Bei schwachem Regen wird das Gewässer v.a. stofflich belastet, wohingegen bei starkem Regen hydraulische Beeinträchtigungen überwiegen. Im Rahmen der Generellen Entwässerungsplanung werden nun zunächst die Probleme identifiziert und der Handlungsbedarf ausgewiesen. Dabei stellt sich heraus, dass sowohl die Ammoniakbelastung als auch der Geschiebetrieb stark zunehmen, wenn ein Regen-Abwasser-Gemisch eingeleitet wird. Gemäss VSA-Empfehlungen [4] ergeben sich daraus folgende Einleitbedingungen, die zu erfüllen sind:

- die kritische Ammoniakdosis darf maximal einmal in 5 Jahren überschritten werden,
- der kritische (Geschiebe führende) Durchfluss darf maximal 10-mal pro Jahr überschritten werden.

Im Beispiel modellieren wir drei unterschiedliche Varianten:

- Szenario 0 = Ist-Zustand mit einem Beckenvolumen von 120 m³ und jährlichen Kosten von 12 000 SFr.,
- Szenario 1 mit einem erweiterten Beckenvolumen von 520 m³ und 29 000 SFr. Jahreskosten,
- Szenario 2 mit einem erweiterten Beckenvolumen von 1320 m³ und 47 000 SFr. Jahreskosten.

Verwendet wird ein stochastisch-probabilistisches Modell. Im Hinblick auf die Beschreibung der Unsicherheiten, werden die Modellparameter nicht (wie bisher üblich) mit einer einzigen Zahl, sondern mit einem Bereich und mit einer Verteilungsfunktion in diesem Bereich beschrieben. Beispiele: der pH-Wert im Gewässer variiert zwischen 7,8 bis 8,3 und das Auftreten der Werte entspricht einer lognormalen Verteilung; der Abflussbeiwert variiert zufällig und ist gleichverteilt in einem Bereich von 80–120% des Erwartungswertes. Analog werden (mit einigen Ausnahmen, wo sichere Angaben vorliegen) alle Modellparameter beschrieben. Als Vorbereitung für die Monte-Carlo-Simulation wurden aus den Verteilungen der Parameter Stichproben gebildet. Anschliessend wurde für jede Stichprobe eine Langzeitsimulation mit einer gleich bleibenden 10-jährigen Regenserie durchgeführt (Abb. 1).

Die Simulation ergibt, dass die Bedingung für den Geschiebetrieb durch das Szenario 0 nur mit 48%iger Wahrscheinlichkeit eingehalten wird und selbst bei Szenario 2 nur auf eine ca. 60%ige Wahrscheinlichkeit ansteigt (Abb. 2). Dagegen kann die Bedingung für den Ammoniakbeitrag durch

Szenario 2 mit fast 100%iger Wahrscheinlichkeit eingehalten werden. Durch die Angaben der Wahrscheinlichkeiten mit denen die Massnahmen die Einleitbedingungen erfüllen, eröffnen sich zusätzliche Freiheitsgrade in der Entscheidungsfindung. Der Planer und die Entscheidungsträger können z.B. eine relativ teure Massnahmen-Variante wählen und so die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass die Anforderungen eingehalten werden. Dadurch riskieren sie jedoch Überinvestitionen. Sie können aber auch Mittel in weitere Untersuchungen oder in eine kleinere Anlage investieren und damit die Unsicherheiten in einem dynamischen Prozess weiter reduzieren.

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass der stochastisch-probabilistische Planungsansatz eine andere Kommunikation als herkömmliche Planungsverfahren erfordert, z.B. beim Umgang mit Unsicherheiten. Er bietet allerdings auch mehr Informationen an, stellt jedoch höhere Anforderungen an alle Beteiligten.



Vladimir Krejci, Wasserbau- und Umweltingenieur, war bis 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter der EAWAG. Seither ist er als beratender Ingenieur tätig. Ausserdem ist er Dozent an der Fachhochschule Zürich und Mitglied verschiedener Fachkommissionen des VSA und des

Deutschen Vereins für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall ATV-DVWK.

Koautoren: Simon Kreikenbaum, Luca Rossi, Rolf Fankhauser

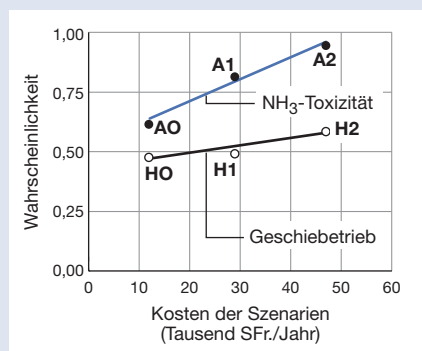


Abb. 2: Kostenwirksamkeit von Massnahmen (Szenario 0 = Ist-Zustand: A0/H0, Szenario 1: A1/H1, Szenario 2: A2/H2; genauere Beschreibung der Szenarien siehe Text). A: Ammoniak, H: Hydraulische Beeinträchtigung (Geschiebetrieb).

- [1] Eidgenössisches Amt für Umweltschutz AfU (1977): Empfehlungen für die Bemessung und Gestaltung von Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken. AfU, Bern, 9 S.
- [2] Kreikenbaum S., Krejci V., Rauch W., Rossi L. (2002): Probabilistic modeling as a new planning approach to stormwater management. 9th International Conference on Urban Drainage, Portland, USA.
- [3] Rauch W., Krejci V., Gujer W. (2000): REBEKA – Ein Simulationsprogramm zur Abschätzung der Beeinträchtigung der Fließgewässer durch Abwassereinleitungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter, EAWAG, Dübendorf.
- [4] Verband Schweizer Abwasser und Gewässerschutzfachleute VSA (2000): Zustandsbericht Gewässer – Teil Gewässerschutz, Empfehlungen für die Bearbeitung des Zustandsberichts Gewässer im Generellen Entwässerungsplan (GEP). VSA, Zürich, 23 S.