



Projet «STORM: Assainissement par temps de pluie»

Impacts aigus liés à l'ammoniac et au stress hydraulique

Vladimir Krejci, Simon Kreikenbaum, Rolf Fankhauser

Auteurs

Vladimir Krejci

Lindenstrasse 90
8738 Uetliburg
Tél. +41-55-280 33 92
Fax +41-55-280 36 61
hydrokrejci@tiscalinet.ch

Simon Kreikenbaum

EAWAG, 8600 Dübendorf
Tél. +41-44-342 59 84
s.kreikenbaum@gmx.ch

Rolf Fankhauser

IHW ETH Zürich-Hönggerberg
Tél. +41-44-633 25 07
Fax +41-44-633 10 61
rolf.fankhauser@eawag.ch

Mots clés

Déversoirs d'orage, contamination en NH_3 , stress hydraulique, planification de mesures de protection

Cet article est le cinquième d'une série de onze concernant le projet «STORM – Assainissement par temps de pluie» réalisé par l'EAWAG avec le soutien de l'OFEFP.

Les déversements par les canalisations en temps de pluie peuvent causer des atteintes aiguës sur l'écologie des cours d'eau, notamment en termes de pollution (NH_3) et de stress hydraulique. Ces problèmes font précisément l'objet de cet article. Par le biais d'un exemple pratique, une procédure de planification de mesures de protection pour un cours d'eau est présentée, d'un point de vue immission. Cette procédure permet de trouver une solution à ces problèmes aigus. De plus, la construction du modèle, l'obtention des données, le choix des mesures de protection et l'interprétation des résultats sont également présentés.

Introduction

Cette publication présente une application de la méthode de planification développée dans le cadre du projet «STORM». Dans cet exemple, les problèmes aigus liés à l'ammoniac et au stress hydraulique seront débattus. La compréhension de cet article présuppose la lecture des articles précédents [1, 2, 3, 4, 5] publiés dans cette série.

L'exemple d'une agglomération de 3400 habitants, située dans le bassin versant d'un petit cours d'eau, permet d'illustrer la planification, l'élaboration du modèle (définition du système), le choix des données pour le calcul, la réalisation des calculs nécessaires et les résultats concernant la performance et les coûts des mesures

Akute Ammoniak- und hydraulische Beeinträchtigungen

Akute Ammoniak- (NH_3) und hydraulische Beeinträchtigungen, verursacht durch Abwasser-einleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, können hinsichtlich Gewässerökologie eine bedeutende Rolle spielen. Deshalb wird hier auf dieses Problemfeld genauer eingegangen. Im Folgenden wird anhand eines praktischen Beispiels das Vorgehen bei der immissionsorientierten Planung von Massnahmen zur Lösung akuter NH_3 - und hydraulischer Gewässerprobleme dargestellt. Dazu werden die Modellbildung, die Datenbeschaffung, die Wahl der Massnahmen und die Interpretation der Resultate vorgestellt.

Acute ammoniac and hydraulic impacts

Acute pollution (NH_3) and hydraulic impairments caused by sewage discharges from canalisations during rain weather can play an important role regarding water ecology. Therefore these problems will be specifically detailed in this publication. On the basis of a practical example, a procedure is presented (immission-oriented planning) to solve acute NH_3 pollution and hydraulic problems. In addition to this procedure, the data acquisition, the choice of the measures and the interpretation of the results are presented.

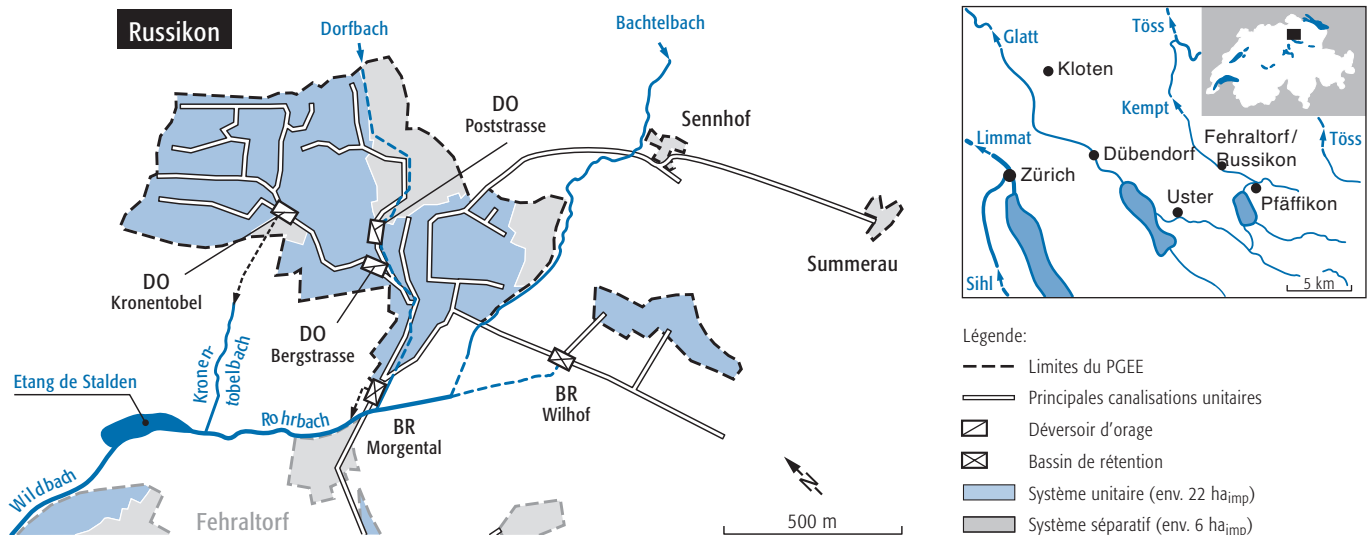


Figure 1: Schéma du système d'assainissement de Russikon. DO = déversoir d'orage, BR = bassin de rétention.

choisies. La majorité des bases servant à ces informations proviennent de l'étude «Fehraltorf» effectuée par l'EAWAG [6], d'une thèse de doctorat [7] et du PGEE de la commune de Russikon[8].

Identification des problèmes et des besoins d'intervention

Un stress hydraulique se produisant avec une fréquence peu naturelle en aval des déversements par les canalisations dans la rivière Rohrbach (Russikon/ZH) conduit régulièrement à l'érosion du lit de la rivière et à celle des organismes benthiques. Dans le cadre de l'étude de l'EAWAG [6], l'eau mixte des déversoirs d'orage et l'écoulement pluvial des canalisations en séparatif ont été identifiés comme cause principale de ces problèmes. Des examens plus précis [7] ont permis d'estimer

la valeur de seuil, déclenchant le charriage du fond du lit de la rivière, à environ 250 l/s. Cette valeur a été dépassée 5 fois ($Q_{\max} \approx 500$ l/s) pour l'année 1992 en amont des déversements par les canalisations. En aval du déversement pluvial par le système séparatif, cette valeur a été dépassée 10 fois ($Q_{\max} \approx 1500$ l/s) et 25 fois en aval du rejet par un déversoir d'orage ($Q_{\max} \approx 2500$ l/s).

Les calculs des concentrations critiques en NH_3 dans le Rohrbach [9] indiquent qu'avec la situation actuelle seule une petite contamination est à prévoir. Cependant, selon le PGEE de 1996 [8], le débit actuel vers la station d'épuration doit être réduit d'env. 5 QTS à 2 QTS dans le bassin de stockage le plus important (bassin Morgental). Par cette mesure réalisable à court terme et par l'accroissement permanent de la population, les concentrations critiques en NH_3 du Rohrbach deviendront nettement plus importantes et la

	DO Kronentobel	DO Bergstrasse	DO Poststrasse	BR Wilhof	DO Morgental	BR Morgental
Données de base						
Habitants [-]	600*	400*	500*	300*	2400**	2400**
QTS [$\text{l hab}^{-1} \text{j}^{-1}$]	250	250	250	250*	250	250
Surface imp. [ha]	4*	2*	3*	2*	22**	22**
Pertes continues [%]	10	10	10	10	10	10
Pertes initiales [mm]	2	2	2	2	2	2
Temps concentr. [min]	10	10	10	10	20	20
Volume rétention [m^3]	0	0	0	165	0	120
Débits aval [l/s]	150	200	200	500	1200	120-160
Résultats						
Volumes rejetés [$\text{m}^3 \text{a}^{-1}$]	2300	350	900	0	400	40 000
Durée rejets [h a^{-1}]	4	0,7	1,6	0	1,3	57
Nombre déversements [a^{-1}]	13	2	6	0	2	36

Tableau 1: Fonction des différents ouvrages de décharge (état en 1994) à Russikon (calcul) [9]. DO: Déversoir d'orage, BR: bassin de rétention. Données pluviométriques: Zurich – SMA 1986–95, hauteur de pluie moyenne: 1160 mm/a.

* connectés (sans déversement)

** avec déversement (de sécurité)

contamination tolérable pour le NH_3 pourrait dépasser les exigences proposées [3] [9].

Définition de la zone de planification

La commune rurale de Russikon/ZH se trouve entre les villes de Zurich et de Winterthur. Le quartier examiné, situé dans le bassin du Rohrbach, abrite 2400 habitants. La surface de l'agglomération s'étend sur env. 80 hectares, dont un tiers est bâti. La commune comprend principalement des maisons d'habitation, la part de l'industrie et de l'artisanat y est faible. La figure 1 et le tableau 1 représentent la surfaces résidentielle assainie en système unitaire et séparatif, les canalisations les plus importantes ainsi que les ouvrages spéciaux. Le déversoir dans le Rohrbach le plus important est le *déversoir de Morgental*. L'eau pluviale du *réseau séparatif* est déversée dans le Dorfbach et dans le Bachtelbach.

Le *Rohrbach* est le cours d'eau le plus important de Russikon. Le débit d'étiage du Rohrbach s'élève à env. 5–10 l/s. Le ruisseau est partiellement corrigé, toutefois relativement peu aménagé. Les rives, partiellement bordées de haies, sont fortement érodées en aval du rejet urbain par temps de pluie le plus important. Le lit de la rivière est constitué de matériaux graveleux-sablonneux avec quelques pierres recouvertes de mousse et est parsemé d'algues dans une moindre mesure. La surface du bassin versant naturel du Rohrbach, en amont des rejets les plus importants de l'agglomération, comprend env. 300 ha. Avec environ 22 ha_{imp} en système unitaire et environ 6 ha_{imp} en système séparatif, la part des surfaces imperméables de Russikon par rapport à la surface du bassin naturel du Rohrbach s'élève à environ 9,3 %.

Exigences en matière d'assainissement

La détermination du nombre annuel (fréquence) d'impacts *hydrauliques* critiques nécessite selon [10] des données sur les espaces de refuge (dans la section de ruisseau en aval des déversements par les canalisations) ainsi que sur le potentiel de repeuplement (dans la section de ruisseau en amont des déversements par les canalisations).

La variabilité de la largeur du Rohrbach, en aval des déversements, est déterminante pour l'évaluation des espaces de refuge. La disponibilité des espaces de refuge peut être quali-

fiée de *moyenne* (tableau 2). Les sections en amont du déversement par les canalisations sont à prendre en compte pour l'évaluation du potentiel de repeuplement. Compte tenu de l'importance de la classe I (à une distance entre 500 à 1000 m en amont des déversements) et compte tenu de la disponibilité des espaces de refuge en aval des déversements, *au maximum 10 événements de charriage de fond sont en moyenne tolérés par année* [3], dans les secteur 16 à 19 du ruisseau examiné [10].

D'autre part, selon [3], la dose critique en ammoniac (LD_{10}) peut, tout au plus, être dépassée 1 fois en 5 ans.

Méthode de planification

Un programme de simulation approprié sera utilisé pour étayer la planification. Il permet une simulation sur une longue période et prend en compte les aspects de type immision dans un petit cours d'eau. Les incertitudes de la planification seront documentées quantitativement. Lors de la mise à disposition des *données de calcul* nécessaires, la qualité des données et son influence sur les résultats sont à prendre en compte. Lors du choix des *mesures de protection*, tout le spectre des actions appropriées doit être pris en considération. Les *coûts* des mesures choisies seront déterminés au moyen d'un calcul simplifié.

La saisie informatique d'une variante de base, l'état actuel, constitue le point de départ de la planification. Par la suite, le choix des différents scénarios de planification repose sur les connaissances locales et sur l'expérience du planificateur. La *performance probable* (satisfaction des exigences locales) et les *coûts annuels* des mesures examinées qui en résultent sont calculés. Le choix des mesures de protection s'effectue en vertu d'une *interprétation de ces résultats*.

Phase préparatoire de la planification

Modélisation

Une première étape consiste à examiner quels sous-bassins versants et ouvrages de décharge peuvent être regroupés en un seul bassin et en un seul déversoir d'orage. À cet effet, le fonctionnement des différents déversoirs de ce bassin a été examiné au moyen d'une simple simulation sur une longue durée. Les résultats (Tableau 1) identifient le déversoir Morgental comme étant la source la plus importante des déversements à Russikon. Les autres déversoirs fonctionnent lors de crues importantes. Ainsi, le regroupement de toutes les installations de décharge en un ouvrage de déversement (Morgental) n'a pas d'influence importante sur les résultats concernant aussi bien le calcul de la contamination par le NH_3 que le calcul du stress hydraulique. En effet, les événements critiques liés au NH_3 se produisent lors de faibles précipitations qui ne conduisent pas à la mise en fonction des autres déversoirs de crue. En revanche, les épisodes de stress hydrauliques critiques se produisent lors de fortes précipita-

Tronçon numéro	Longueur [m]	Classe morphologique	Disponibilité espace refuge
16	150	I	haute
17	50	III	faible
18	200	II	moyenne
19	150	II	moyenne

Tableau 2: Caractéristiques morphologiques du Rohrbach en aval des déversements par les canalisations à Russikon [11].

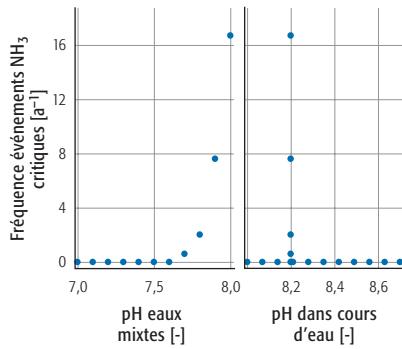


Figure 2: Influence de la fréquence des événements critique en NH_3 en fonction de la valeur du pH de l'eau mixte (à gauche) et du milieu récepteur (à droite) sur la base d'une analyse de sensibilité.

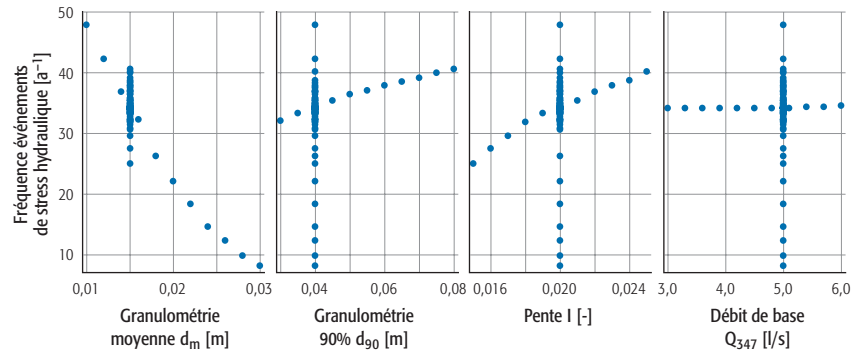


Figure 3: Influence de la fréquence des événements de stress hydraulique critique en fonction de différentes grandeurs choisies du milieu récepteur. Sur la base d'une analyse de sensibilité, on remarque par ex. une influence considérable de la distribution granulométrique du lit du cours d'eau et pratiquement aucune influence de l'écoulement de base dans le milieu récepteur (Q_{347}).

tions. Lors d'une faible distance entre les différents emplacements de déversement, leur regroupement en un seul déversoir fictif dans le modèle est toléré.

Choix des modèles de calcul et du programme de simulation

Le choix des modèles de calcul est étroitement lié à la tâche de planification. Un modèle d'assainissement pluvial, reproduisant les processus les plus importants, sera choisi en rapport avec les problèmes posés et en fonction de la pertinence nécessaire des résultats. Les modèles choisis pour cette tâche sont décrits de manière détaillée dans le manuel du programme de simulation REBEKA [12]. Ils ne seront pas repris dans cette publication.

Pour la prise en compte des incertitudes, une combinaison de simulation de type déterministe sur une longue durée avec la méthode de Monte-Carlo a été retenue. Ce genre de calcul est proposé par le programme de simulation REBEKA II, outil de travail choisi pour cette tâche. Les bases pour la prise en compte des incertitudes sont mentionnées dans le quatrième article de cette série [4], le programme de simulation REBEKA II est présenté dans un article suivant sur le projet STORM [5].

Analyse de sensibilité

En relation avec la prise en compte *ciblée des incertitudes*, les plages de variation des données, aussi précises que possible, doivent être fournies pour les calculs. L'indication d'une valeur moyenne suffit pour le calcul de données pouvant être déterminées de manière relativement exacte et/ou ayant une faible influence sur les résultats calculés. Les plages de variation relatives à la description des incertitudes ne doivent pas être fournies pour ces données. Des plages de variation judicieuses peuvent être déterminées au moyen d'une analyse de sensibilité (implémentée dans REBEKA II, voir [5] pour les détails).

L'exemple suivant explique l'utilité de l'analyse de sensibilité. Pour déterminer l'influence de la valeur du pH dans l'eau mixte (mélange d'eaux usées et d'eaux de ruissellement), une

analyse de sensibilité a été réalisée avec une valeur moyenne de pH de 7,5 et une plage de variation entre 7,0 et 8,0 (c.-à-d. que ce paramètre est soumis à une variation à l'intérieur de cette plage de valeur alors que tous les autres paramètres sont déterminés par une valeur moyenne fixe). Le résultat indique qu'aucune valeur critique de NH_3 n'apparaît dans le milieu récepteur jusqu'à la valeur de pH d'env. 7,6. Un pH situé entre 7,6 à 8,0 accroît l'influence de ce paramètre sur le dépassement de la valeur critique de NH_3 dans le milieu récepteur. Une analyse de sensibilité analogue pour la valeur de pH (valeur moyenne = 8,2, plage de variation 8,0–8,7) dans le milieu récepteur a révélé que ces valeurs de pH, relativement hautes, ne produisaient pratiquement aucune valeur critique de NH_3 dans le milieu récepteur. La raison se trouve avant tout dans la part relativement faible de l'écoulement de base (Q_{347}) par rapport à l'écoulement total dans le milieu récepteur, dominé en temps de pluie avant tout par les déversoirs d'orage et par les eaux pluviales provenant du réseau séparatif (figure 2).

La figure 3 présente un examen analogue de l'influence des paramètres sélectionnés du modèle sur la fréquence (nombre par année) des événements de stress hydraulique critique.

Des informations semblables peuvent également être acquises par la simulation de Monte-Carlo avec REBEKA II (figures 4 et 5). Comparés à l'analyse de sensibilité, tous les paramètres du modèle varient simultanément dans ces calculs, une plage de variation leur étant attribuée.

Les informations des figures 2 à 5 délivrent des indications importantes concernant l'influence des différents paramètres du modèle sur les résultats calculés et représentent ainsi une base importante pour la détermination des données du modèle et leur plage de variation dans cette étude de cas.

Mise à disposition des données nécessaires

Données pluviométriques

Une série d'observation de pluies sur 10 ans (1986–1995) à Zurich (SMA) avec une résolution temporelle de 10 minutes a été choisie comme données pluviométriques (données

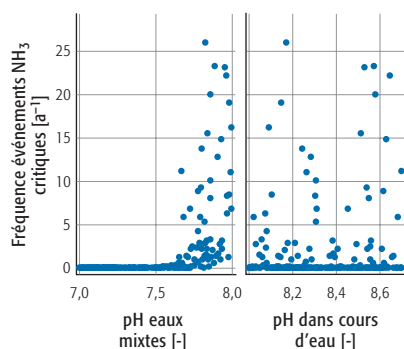


Figure 4: Fréquence des événements NH_3 critiques en fonction de la valeur du pH de l'eau mixte (à gauche) et du milieu récepteur (à droite). La figure repose sur une simulation de type «Monte-Carlo» avec 200 itérations pour lesquelles tous les paramètres sont définis dans une plage de variation aléatoire. La valeur de pH du milieu récepteur n'a qu'une faible influence sur le résultat, alors que la valeur de pH de l'eau mixte influence fortement le résultat.

ANETZ). La durée choisie de la période d'observation de 10 ans permet de saisir parfaitement la *variabilité* des différentes précipitations et leur influence sur les conditions examinées dans le milieu récepteur. La durée de la série pluviale, en relation avec le problème posé, suffit à l'examen du stress hydraulique, alors que pour l'examen des contaminations aiguës par le NH_3 , elle est plutôt trop courte par rapport à la périodicité tolérée ($p = 0,2$). L'utilisation des données pluviométriques d'une station de mesure pas trop éloignée (environ 15 km) peut être acceptée, compte tenu des incertitudes considérables dans les processus décrivant l'état des milieux récepteurs. Le fait que les données pluviométriques ont été mesurées en un seul point sans prendre en compte la résolution spatiale réelle des précipitations peut également être accepté compte tenu des autres incertitudes. La résolution temporelle des données pluviométrique (10 minutes) suffit à la résolution du problème posé.

Données du bassin versant, des eaux usées et des canalisations

Le nombre d'habitants peut être déterminé avec une bonne exactitude, raison pour laquelle on ne tiendra compte d'aucune plage de variation pour le calcul. Les incertitudes relatives au pronostic de développement de l'agglomération peuvent être examinées au moyen de scénarios. Les calculs ont été effectués pour un pronostic prévisible (3400 habitants). Le volume des eaux usées a été estimé à 250 l/hab/jour (aucune industrie). La charge en ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) dans les eaux usées domestiques se monte à 6–8 g/hab/jour (valeur indicative de l'étude EAWAG [14]). Les pointes journalières peuvent également être prises en compte par une valeur plus élevée. Une valeur moyenne de 9 g/hab/jour et une plage de variation de 8–10 g/hab/jour ont été choisies pour les calculs.

Pour le calcul de la fonction de production, la méthode des pertes initiales et des pertes proportionnelles continues a été retenue [13]. Les pertes initiales ont été fixées en tenant

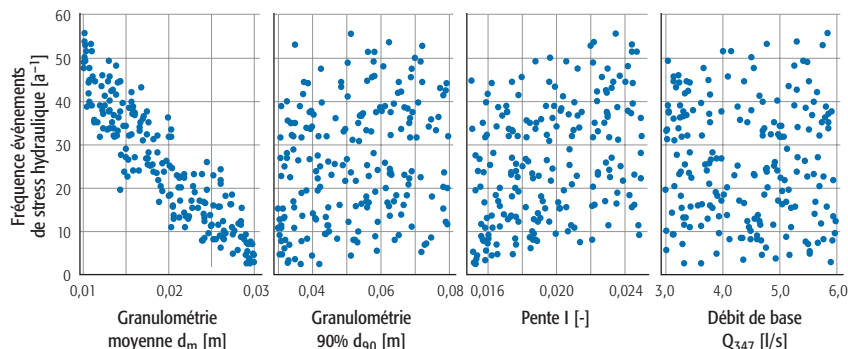


Figure 5: Même examen que dans la figure 4: Fréquence des événements hydrauliques critiques en fonction de différents paramètres du milieu récepteur. L'écoulement de base Q_{347} dans le milieu récepteur a une faible influence sur le résultat, alors que le diamètre granulométrique moyen du lit du cours d'eau d_m influence fortement le résultat.

compte de la topographie du terrain (pente) avec 2 mm comme limite supérieure pour le mouillage et l'interception dans les creux du terrain. Comme REBEKA ne prend en compte que les pertes initiales en tant que paramètre séparé, les pertes continues doivent être prises en compte par une réduction de la surface imperméable. Dans le système unitaire d'assainissement (surface imperméable: 22 ha, dont 9 ha en amont) le facteur de réduction s'élève à 0,9. Dans le système séparatif (surface imperméable: 6 ha), le facteur de réduction s'élève à 0,8. Il en résulte une surface d'écoulement efficace de 19,8 ha pour le système unitaire et de 4,8 ha pour le système séparatif. Compte tenu des incertitudes, une plage de variation de $\pm 15\text{--}20\%$ (distribution uniforme) a été choisie.

Pour le calcul du temps de concentration (réservoir linéaire), une valeur réaliste a été estimée pour le temps de base et la durée d'écoulement dans la canalisation à partir du plan de situation (20 min pour le système unitaire, 10 min pour le système séparatif). Selon les expériences faites avec les programmes de simulation, ces valeurs s'appliquent, de manière relativement sûre aux petits systèmes de canalisation, raison pour laquelle une valeur moyenne a été utilisée pour le calcul.

La concentration en ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) dans le ruissellement pluvial provenant de zones résidentielles en Suisse se situe entre env. 0,3–1 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$. La valeur moyenne choisie correspond à 0,5 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$, la plage de variation entre 0,3 et 1 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$. Pour la valeur du pH dans l'eau mixte (dans le modèle semblable à la valeur du pH dans le ruissellement pluvial urbain), une plage de variation a été tirée de la littérature [12] (valeur moyenne: 7,5, intervalle de variation 7,0–8,0). Pour déterminer l'alcalinité de l'eau mixte (dans le modèle, la même alcalinité que dans le ruissellement pluvial urbain) une plage de: 3–4 mmol/l avec une valeur moyenne de 3,5 mmol/l a été choisie [12].

Le volume du bassin de rétention Morgental est de 120 m³. Le débit en aval du déversoir, en direction de la STEP, a été également pris en compte avec une valeur de 68 l/s (2 QTS).

La surface totale du bassin versant naturel du Rohrbach jusqu'au BR Morgental représente environ 300 ha. Il s'agit

d'une région vallonnée, avant tout agricole et partiellement sylvoicole. De grossières estimations ont été retenues pour le calcul du débit. La surface de ruissellement effective est ainsi de l'ordre de 5–10% de la surface totale, les pertes initiales se situent entre 5 et 10 mm, la constante du réservoir linéaire est estimée entre 2 et 3 h. Le modèle utilisé est très simple. Cependant, sur la base de l'analyse de sensibilité, le débit provenant du bassin versant naturel n'a pas d'influence particulière sur les résultats dans ce cas précis.

Données relatives aux milieux récepteurs

Selon les mesures de débit effectuées par EAWAG [6], le *débit de base du Rohrbach* (Q_{347}) s'élève à env. 5–10 l/s. Les mesures de débit dans le Rohrbach n'ont pas été évaluées statistiquement. La valeur observée correspond cependant au débit spécifique d'étiage dans cette situation topographique et climatique identique ($1,5\text{--}2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Compte tenu d'un afflux d'eau considérablement plus grand provenant des canalisations en temps de pluie, ce paramètre n'est pas déterminant. La valeur moyenne admise se monte à 5 l/s, la plage de variation se situe entre 3 et 6 l/s.

Il n'existe aucune mesure relative à la température de l'eau du Rohrbach. Il s'agit d'un ruisseau situé entre le plateau et les préalpes avec une faible profondeur d'eau par temps sec et peu ombragé. Aussi peut-on s'attendre une forte influence de la température de l'air. La température minimale moyenne T_{\min} est estimée à 5 °C (3–6 °C), la température maximale moyenne T_{\max} à 20 °C (16–22 °C).

Il n'existe également aucune mesure systématique relative à la *valeur de pH du Rohrbach*. Compte tenu du contexte géologique, d'une eutrophisation partielle, de l'absence d'eaux usées et des examens dans des conditions semblables, la valeur de pH peut être estimée en moyenne à 8,2 [12]. Compte tenu des conditions de dilution existantes (grande part d'eau mixte) l'influence de ce paramètre est négligeable (cf. figure 2). La valeur moyenne estimée du pH s'élève à 8,2, la plage de variation est comprise entre 8,0 et 8,7.

De même, il n'existe aucune indication de mesures relatives à l'*alcalinité du Rohrbach*. Compte tenu du contexte géologique, de l'absence d'eaux usées en amont des premiers déversements et sur la base d'examens réalisés dans des conditions semblables, l'alcalinité est estimée à 3–4 mmol/l. Selon l'analyse de sensibilité ces valeurs n'ont pas une forte influence sur les résultats.

La *concentration en ammonium dans le Rohrbach* ($\text{NH}_4\text{-N}$) est généralement très faible en amont des déversements par les canalisations (pas d'eaux usées, que des produits provenant de l'érosion des surfaces agricoles). La concentration moyenne a été fixée à une valeur de 0,2 et la plage de variation entre 0,1–0,5 mg de $\text{NH}_4\text{-N}$.

Le profil latéral du Rohrbach situé en amont du bassin de rétention Morgental a été caractérisé par des valeurs moyennes basées sur nos propres examens. La largeur moyenne du canal est de 2,5 m (2–3) m, la pente moyenne se chiffre

à env. 2% et varie entre 1,5–2,5%. Le coefficient de rugosité (Strickler) a été estimé à $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Suite à un prélèvement [12], la granulométrie moyenne du lit (d_m) se monte à 0,015 m (0,01–0,03 m) et la valeur de 90% (d_{90}) à 0,03 m (0,02–0,08 m). L'inclinaison de la berge se monte à env. $45^\circ = \text{tg } 45^\circ = 1$ (0,9–3).

Simulation de l'état réel

Pour la simulation au moyen de REBEKA II, 2000 itérations ont été calculées avec chaque fois des données variant de manière aléatoire. Les valeurs et les plages de variation moyennes pour les différents paramètres ont été choisies conformément à la description du chapitre « Mise à disposition des données nécessaires ». Chaque itération avec des paramètres variant de manière aléatoire donne un nombre moyen d'événements avec charriage de fond et problèmes de toxicité liés à l'ammoniac. Ces valeurs sont triées en fonction de leur grandeur et à chaque valeur est attribuée une probabilité de non dépassement $p = 1 - m/n$, où n correspond au nombre d'itérations simulées et m au rang de l'itération ($m = 1$ pour l'itération avec le plus grand nombre d'événements critiques, $m = 2$ pour l'itération avec le deuxième plus grand nombre d'événements critiques, etc.).

Comme exemple de résultats, ces probabilités de non dépassement sont reportées dans la figure 6 en fonction du nombre annuel d'événements critiques. La courbe résultante montre ainsi la probabilité avec laquelle un certain nombre d'événements critiques par année survient [4]. La probabilité de satisfaire aux exigences fixées en matière de NH_3 pour l'état actuel, soit 3400 habitants et la réduction de capacité du débit vers la STEP à 2 QTS, se situe à env. 71%. La probabilité de satisfaire aux exigences hydrauliques se situe à 12% pour l'état actuel.

Mesures de protection et leur rendement

Le spectre des mesures techniques possibles pour la réduction des atteintes nuisibles au Rohrbach est relativement petit. Les mesures proposées sont listées dans le tableau 3.

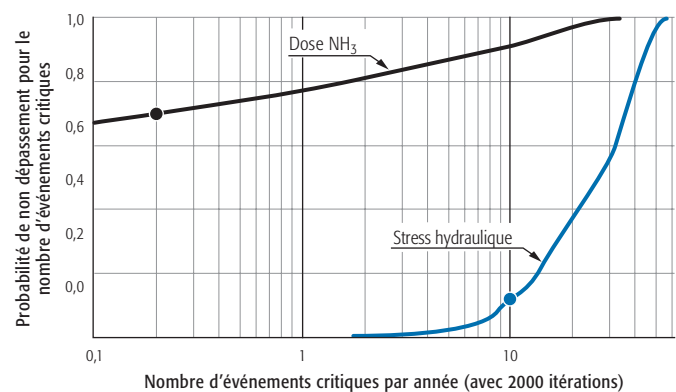


Figure 6: Probabilités de non dépassement pour le nombre annuel d'événements critiques liés au NH_3 et au stress hydraulique. L'exigence en matière d'événements critiques liée à NH_3 se situe à $0,2 \text{ a}^{-1}$, celle liée aux événements de stress hydraulique à 10 a^{-1} .

Mesure	Faisabilité	Remarques
Rétention dans un bassin	Possible	Les rejets les plus importants en temps pluie sont les DO et le BR Morgental. Il y a assez de place à proximité des bassins existants (proposition PGEE).
Rétention dans les canalisations	Non approprié	Présence de petites canalisations, beaucoup de pente, pas ou peu de volume de rétention disponible.
Infiltration	Non approprié	Terrains en pente, sous-sol peu perméable.
Réutilisation des eaux pluviales et év. toitures végétalisées	Possible à long terme	Présence de nombreuses villas avec jardins, non réalisable à grande échelle.
Mesures dans le Rohrbach	A vérifier	Espace disponible proportionnellement plus faible que dans le bassin versant.

Tableau 3: Mesures de protection potentielles et possibilités de mise en oeuvre à Russikon.

Compte tenu des possibilités limitées de mesures de protection, la procédure de planification n'examinera par la suite que plusieurs variantes d'extension du bassin d'eaux pluviales existant de Morgental: le bassin existant de 120 m³ de volume utile sera agrandi (avec réduction simultanée de la capacité vers la STEP à 68 l/s):

La variante d'extension à 285 m³ de volume utile a été recommandée par le PDE en 1996 [8].

La variante d'extension à 520 m³ de volume utile correspond à la pratique du dimensionnement selon les recommandations de 1977.

L'extension du volume de rétention à 1320 m³ correspond à la proposition du PGEE de 1996 pour la réduction possible du stress hydraulique [8].

Les performances des différentes variantes examinées sont résumées dans le tableau 4.

Les performances des mesures proposées dans le tableau 4 indiquent que la construction de volumes d'accumulations supplémentaires est inapte à résoudre les problèmes hydrauliques dans le Rohrbach. C'est pourquoi des mesures relatives au milieu récepteur ont été envisagées et calculées. Ces mesures représentent une réduction de pente (mise en place de paliers) et la stabilisation du lit dans le secteur du déversement des eaux usées qui, dans le modèle, ont été pris en

Volume de rétention utile	Probabilité de respecter les exigences en matière de:	
	NH ₃	Stress hydraulique
120 m ³	0,71	0,12
285 m ³	0,76	0,13
520 m ³	0,82	0,17
1320 m ³	0,93	0,32

Tableau 4: Performances des variantes examinées à Russikon.

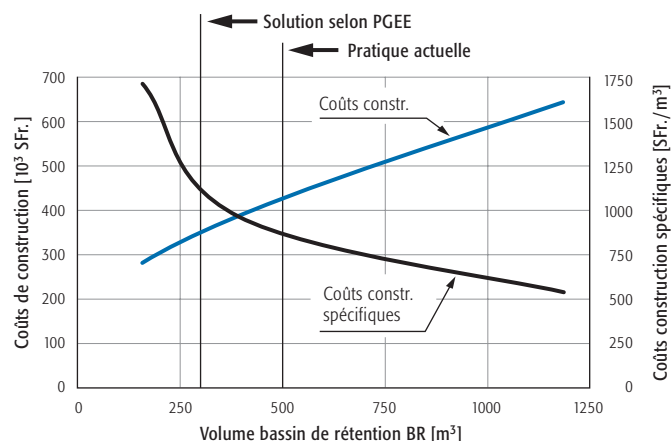


Figure 7: Coûts d'investissement en fonction du volume du BR Morgental (extension du bassin existant).

compte avec une distribution variable de la granulométrie. Cette variante a été introduite, en premier lieu, pour démontrer les effets des différentes mesures et doit encore être examinée de manière plus détaillée par rapport à sa réalisation.

Coûts des mesures choisies

Les coûts d'investissement pour l'extension du BR existant ont été déterminés au moyen d'une projection et de calculs des coûts de construction simplifiés pour les variantes d'extension mentionnées ci-dessus (en partie bassins ouverts). Les indications détaillées relatives aux calculs des coûts de construction sont publiées dans [10]. Ces indications ont permis d'établir des fonctions de coûts simplifiées pour le cas de Russikon (cf. figure 7). Les coûts d'exploitation ont été déterminés au moyen des indications d'entreprise (personnel, énergie et matériel) provenant d'exploitations semblables. Ils se situent entre 4000.– SFr./années (pour un volume utile de 120 m³) et 12 000.– SFr./années (pour un volume utile de 1320 m³).

Les coûts annuels (figure 8) représentent en général la base pour la majorité des considérations financières et économiques. Dans cet exemple, les coûts sont basés sur une durée de

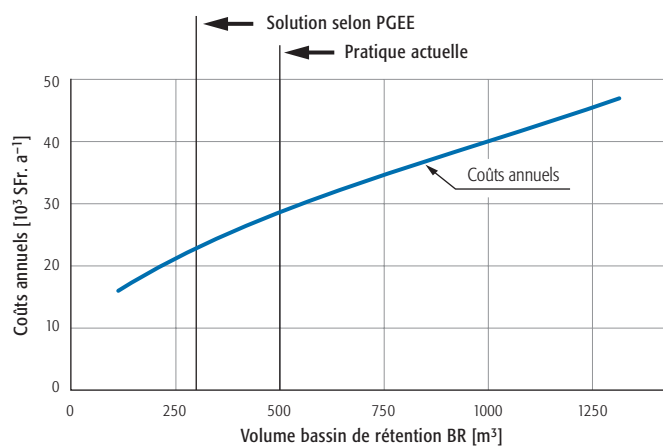


Figure 8: Coûts annuels (coûts du capital et d'exploitation) en fonction du volume du BR Morgental (extension du bassin existant).

vie de 40 ans pour la construction et de 15 ans pour les équipements. Avec un intérêt réel de 2%, il résulte une annuité de 3,62% pour les éléments de construction et 7,71% pour les équipements [15]. Dans cet exemple, les coûts du capital se situent entre 12 000.– SFr./années (volume utile de 120 m³) et 35 000.– SFr./années (volume utile de 1320 m³). Les coûts annuels se situent entre 16 000.– SFr./années (volume utile de 120 m³) et 47 000.– SFr./années (volume utile de 1320 m³).

Discussion et interprétation des résultats

Problèmes aigus liés au NH₃

Aussi bien les résultats du calcul déterministe (Screening) que la simulation stochastique-probabiliste indiquent qu'aucun problème lié au NH₃ ne se présente dans le Rohrbach. Le calcul déterministe définit une fréquence nulle pour toutes les variantes d'événements critiques liés au NH₃. Lors de la simulation stochastique-probabiliste, les probabilités avec lesquelles les exigences en matière de déversement sont satisfaites, se situent dans une plage de 0,71–0,94. En rapport avec l'analyse de la situation *in situ*, des problèmes liés au NH₃ dans la rivière Rohrbach peuvent être exclus avec une grande probabilité.

Problèmes de stress hydraulique

Aussi bien l'analyse de la situation *in situ* que les calculs avec simulation stochastique-probabiliste et déterministe mettent les problèmes hydrauliques clairement en évidence dans le Rohrbach. Dans l'état actuel, des événements critiques (charriage du fond du lit) apparaissent avec une fréquence calculée de 34 a⁻¹. La probabilité de satisfaire aux exigences (10 a⁻¹) se situe à 0,12. Une extension du volume d'accumulation à 285 m³ réduit la fréquence à 30 a⁻¹ (simulation déterministe) avec une probabilité de 0,13 (simulation stochastique-probabiliste). Un volume de 520 m³ réduit le nombre d'occurrences à 26 a⁻¹ et à une probabilité de 0,17 et l'extension la plus importante de 1320 m³ réduit le nombre d'événements critiques à 18 a⁻¹ avec une probabilité de 0,32. Les résultats du calcul révèlent que les problèmes hydrauliques dans le Rohrbach ne peuvent pas être résolus avec les mesures traditionnelles, comme la construction de volumes de stockage supplémentaires, ou alors qu'avec des dépenses

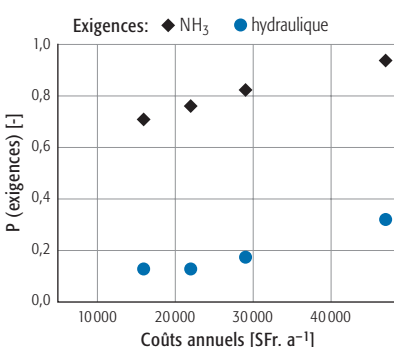


Figure 9: Performances et coûts des variantes examinées avec des mesures traditionnelles.

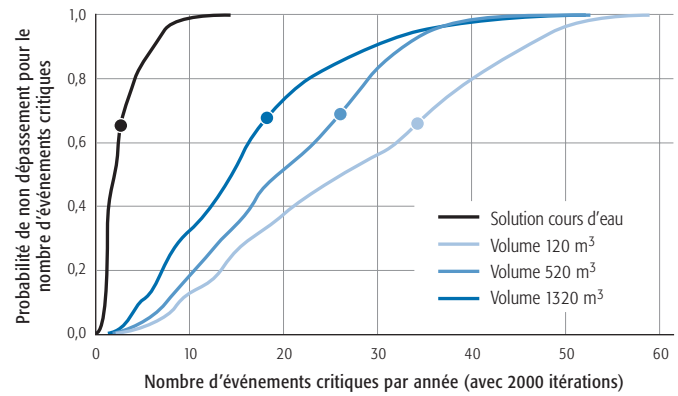


Figure 10: Probabilités de non dépassement pour le nombre annuel d'événements hydrauliques critiques (exigence = 10 a⁻¹). Les résultats de la simulation déterministe sont représentés par les points.

excessivement grandes (cf. figure 9). Ainsi, dans cet exemple, l'effet de mesures techniques dans le milieu récepteur même a également été examiné. A l'aide de ces mesures, les problèmes de stress hydrauliques dans le Rohrbach seront résolus avec une probabilité considérablement plus grande (cf. figure 10).

Interprétation des résultats du calcul stochastique-probabiliste

Dans la planification stochastique-probabiliste, les courbes reproduisant les probabilités de non dépassement en fonction des fréquences des événements critiques (cf. figures 6 et 10), représentent la base sur laquelle reposent les décisions. Aussi, une grande attention devra-t-elle être portée à l'interprétation correcte de cette courbe.

La pente de ces courbes est d'une importance capitale. La figure 10 montre que dans l'état actuel (volume de bassin = 120 m³) la pente est peu marquée. Dans ce cas, env. 95% des résultats se situent entre 5 et 50 événements de charriage de fond par année. La fréquence d'événements critiques pouvant apparaître en réalité ne peut guère être prédite. Il est très incertain de prendre une décision sur la base d'une courbe avec une pente aussi faible.

Une pente très marquée, comme par ex. celle concernant les mesures dans le milieu récepteur (figure 10), permet de conclure que le nombre d'événements critiques se situe dans une plage relativement étroite. Avec une grande probabilité, on peut supposer que le nombre d'événements critiques est inférieur à 10 a⁻¹ après l'application des mesures au milieu récepteur. La prise de décision reposant sur une estimation du risque [4] en est considérablement facilitée.

Ces explications mettent en évidence le fait suivant: Lorsque les fréquences des événements critiques calculées se situent dans une plage étroite, c.-à-d. que la pente de la courbe de la relation entre la probabilité de non dépassement et le nombre d'événements critiques est très marquée, la prise de décision est considérablement simplifiée. Les courbes abruptes représentent de plus petites incertitudes dans l'effet des mesures de protection.

Conclusion

L'exemple présenté dans cet article montre qu'en comparaison avec la pratique actuelle, la méthode de planification stochastique-probabiliste permet une meilleure analyse de la problématique réelle. Une appréciation des incertitudes est ainsi présentée dans la modélisation et la simulation du système «assainissement urbain», la compréhension du système en est favorisée. Cela nous permet d'envisager, à longue échéance, des solutions plus spécifiques aux problématiques et aux milieux récepteurs c-à-d. plus efficaces que ce ne fût le cas avec les anciennes bases de planification.

Le volume de travail lié à ce genre de planification de mesures de protection des eaux est certes plus grand, mais demeure acceptable avec des connaissances suffisantes et des expériences de concepteur de projets.

La plus grande difficulté relative à ce genre de planification ressort de l'interprétation des résultats en vue du choix des mesures appropriées. Notamment, lorsque des fonctions coûts/performances «plates» sont générées, une interprétation particulièrement soignée des résultats calculés doit être réalisée.

Une recommandation qui indiquerait la plage de probabilité dans laquelle la satisfaction des exigences devrait se situer ne peut pas être proposée. Pour l'instant, les connaissances et expériences correspondantes font encore défaut pour un énoncé fiable. Néanmoins, les expériences acquises et l'utilisation croissante de ce nouveau genre de planification vont faciliter et améliorer son utilisation future.

Littérature

- [1] Krejci, V., Rossi L., Kreikenbaum S. und Fankhauser R. (2004): Einführung in das Projekt; in: Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 6: 419–422. Traduction française: «Introduction au projet STORM» disponible sur le site: <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [2] Krejci, V. und Kreikenbaum S. (2004): Konzepte des Gewässerschutzes; in: Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 6: 423–430. Traduction française: «Concepts de protection des eaux en temps de pluie» disponible sur le site: <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [3] Rossi, L. Krejci V. und Kreikenbaum S. (2004): Anforderungen an die Abwassereinleitungen; in: Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 6: 431–438. Titre français: «Exigences légales en matière d'assainissement par temps de pluie», disponible sur le site <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [4] Kreikenbaum, S., Rauch W., Krejci V. und Fankhauser R. (2004): Unsicherheiten in der Planung; in: Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 8: 587–594. Traduction française: «Prise en compte des incertitudes lors de la planification de mesures de protection» disponible sur le site: <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [5] Fankhauser, R., Kreikenbaum S., Rossi L. und Rauch W. (2004): Simulationsmodell REBEKA II; in: Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 11: 817–822. Traduction française: «REBEKA II: Un logiciel pour l'aide à la planification de mesures de protection par temps de pluie» disponible sur le site: <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.

- [6] Krejci V., Fankhauser R., Gammeter S., Grottker M., Harmuth B., Merz P. und Schilling W. (1994): Integrierte Siedlungsentwässerung, Fallstudie Fehrltorf, ISBN: 3-906484-09-2, EAWAG Dübendorf.
- [7] Gammeter, S. (1996): Einfluss der Siedlungsentwässerung auf die Invertebraten-Zönose kleiner Fliessgewässer, Diss. ETH Zürich Nr. 11673
- [8] GEP Russikon (1996): Genereller Entwässerungsplan für die Gemeinde Russikon/ZH 1996, Ingenieurbüro Messmer und Schindler Uster.
- [9] Frutiger A., Engler U., Gammeter S., Lüdi R., Meier W., Suter K. und Walser R. (2000): Zustandsbericht Gewässer – Teil Gewässerschutz, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich.
- [10] EAWAG-Peak-Kurs (2001): Der GEP-Zustandsbericht Gewässer, EAWAG PEAK A14/00 27.–29. Juni 2000.
- [11] AWEL ZH: Ökomorphologie der öffentlichen Gewässer – Angaben über die ökomorphologische Klassifizierung der Abschnitte (persönliche Mitteilungen von Dr. W. Meier, AWEL/ZH).
- [12] Rauch W., Krejci V. und Gujer W. (2002): REBEKA: Ein Simulationsprogramm zur Abschätzung der Beeinträchtigung der Fliessgewässer durch Abwassereinleitungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter, Schriftenreihe der EAWAG Nr. 16, ISBN: 3-906484-22-X, EAWAG Dübendorf.
- [13] Lehrmittel ETH (2002): Grundlagen der Siedlungsentwässerung, Autoren: Gilg R., Gujer W., Krebs P., Kreikenbaum S., Neumann M., Ort C. und Rauch W., Vorläufige Ausgabe als Skript für die entsprechenden Vorlesungen an der ETH Zürich, TU Dresden und Universität Innsbruck, Stand April 2002.
- [14] Krejci, Verunrad V. Th. und Koblet R. (1984): Natürliche und zivilisatorische Verunreinigungsquellen, Gas-Wasser-Abwasser, Sonderdruck Nr. 872: 760–766.
- [15] Munz, W. (1985): Methodik der Kostenvergleiche, EAWAG Dübendorf.

Impressum

Cette étude a été initiée par l'office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et par l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG). Elle est présentée sous la forme du projet «STORM: Assainissement par temps de pluie».

© EAWAG, BUWAL (2004)

Responsable de projet:

Vladimir Krejci, Dr. sc. tech.

Collaborateurs

Rolf Fankhauser, Dr. phil.
 Andreas Frutiger, Dr. sc. nat.
 Simon Kreikenbaum, Dipl. Ing. ETH
 Luca Rossi, Dr. sc. tech.

Le projet STORM a été suivi par un groupe d'experts:

Erwin Bieri, OFEFP
 Prof. Dr. Markus Boller, EAWAG
 Patrick Fischer, OFEFP
 Prof. Dr. Willi Gujer, ETHZ et EAWAG
 Rolf Lüdi, OFEFP
 Prof. Dr. Wolfgang Rauch, Universität Innsbruck
 Kurt Suter, VSA und Baudepartement des Kantons Aargau

Traduction

Daniel Eschmann, Luca Rossi

Layout

Peter Nadler, Künsnacht

Graphisme

Lydia Zweifel

Commande

EAWAG, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf
http://www.eawag.ch/publications/d_index.html