



Projet «STORM: Assainissement par temps de pluie»

Solutions techniques pour l'assainissement pluvial

Vladimir Krejci, Markus Boller, Luca Rossi

Auteurs

Vladimir Krejci

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

Markus Boller

EAWAG, 8600 Dübendorf
Tél. +41-44-823 50 47
Fax +41-44-823 53 89
markus.boller@eawag.ch

Luca Rossi

EAWAG, 8600 Dübendorf
Tél. +41-44-823 53 78
Fax +41-44-823 53 89
luca.rossi@eawag.ch

Les bases et une revue de littérature pour la planification et la mise en place de solutions techniques liées à l'assainissement par temps de pluie sont présentées dans cet article. Ces solutions, spécifiquement détaillées pour les déversoirs d'orage, se basent sur de nouvelles recommandations pour la protection des eaux [1]. Ces buts peuvent être habituellement respectés, à un coût optimal, en combinant différentes solutions techniques. Un éventail de possibilités, accompagnées de leurs coûts et d'une évaluation de leurs efficacités, sont présentés dans cet article. Ce document constitue ainsi une aide pour le choix de solutions techniques à l'avenir.

Introduction

L'ordonnance sur la protection des eaux [2] et la directive de l'OFEFP [3] définissent clairement les priorités pour les nouvelles constructions et la transformation des systèmes existants. Ainsi, l'évacuation des eaux pluviales doit se faire 1) par infiltration, 2) par évacuation séparée vers un cours d'eau et uniquement, 3) dans le réseau unitaire d'assainissement, si les autres priorités ne sont pas possibles. Aujourd'hui mais également dans un proche avenir, une part substantielle des eaux pluviales sera toutefois éliminée par les réseaux unitaires en assainissement urbain.

Mots clés

solution technique, choix, évaluation, décision, rentabilité.

Massnahmen bei der Regenwasserentsorgung

Im folgenden Artikel werden Grundlagen und wichtige Literaturhinweise für die konzeptuelle Planung und Realisierung der Massnahmen im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter zusammengestellt. Hauptaugenmerk gilt den Regenwasserentlastungen aus Mischkanalisationen. Die künftigen Massnahmen basieren auf neu definierten Gewässerschutzanforderungen [1], die in der Regel nur mit einer Kombination von verschiedenen Massnahmen kostenoptimal erreicht werden können. Bei der Wahl der Massnahmen werden künftig ein wesentlich grösseres Spektrum der Möglichkeiten und die Kosten berücksichtigt.

Technical solutions for wet-weather discharges

The bases and literature review for conceptual planning and realization of technical solutions related with wet-weather discharges are presented in this paper. Special attention applies for combined sewer overflows. The future technical measures are based on redefined water protection requirements [1], which can be achieved, at optimal costs, usually only with a combination of different technical measures. A substantially large spectrum of technical possibilities, with costs and efficiency evaluation, are presented in this paper. This document contributes as a help for the choice of technical solutions in the future.

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

Aussi, la discussion qui va suivre concerne les mesures techniques appliquées au domaine de l'assainissement pluvial et sera essentiellement centrée sur les déversoirs d'orage en réseau d'assainissement unitaire. Les mesures en matière d'infiltration sont traitées de manière détaillée dans la directive VSA «Assainissement pluvial» [4]

Il existe actuellement au niveau mondial un grand nombre de mesures techniques en assainissement urbain. Une littérature très importante décrit les fonctions et les performances de ces mesures. Ainsi, cette publication ne permet de rassembler que de manière limitée des indications détaillées sur les différentes mesures et leur performance. L'objectif de cette publication est de donner un *aperçu* sur la *diversité* des mesures et de présenter la *littérature spécialisée*, dont la lecture permet d'approfondir la thématique et de planifier des mesures. Les points essentiels abordés dans cette publication répondent aux questions suivantes:

1. Comment peut-on identifier le besoin de mesures?
2. Comment peut-on choisir les mesures appropriées parmi le large éventail de solutions?
3. Comment les mesures les plus importantes fonctionnent-elles, quelle est leur efficacité et où trouver de plus amples informations?

4. Comment les coûts et la performance des mesures peuvent-ils être examinés et évalués?

Nécessité des mesures

La nécessité de mettre en place des mesures de protection des eaux est habituellement planifiée dans le cadre du plan général d'évacuation des eaux [5]. Néanmoins, le PGEE manque souvent de détails pour définir les mesures spécifiquement locales ou ne permet pas de répondre aux «exigences» proposées dans le projet STORM [1]. Aussi d'autres informations doivent-elles être trouvées, au niveau cantonal, par ex. dans le cadre des examens effectués pour le concept modulaire gradué [6] ou sur la base d'autres indications sur la protection des eaux. D'autres informations peuvent également provenir du contrôle des mesures appliquées jusqu'à présent.

Un impact de l'assainissement est considéré comme identifié, lorsque sa manifestation ainsi que ses causes et conséquences ont été *démontrées* au moyen de contrôles. Ces effets étant identifiés, il doit être décidé, sur la base des disparités entre les exigences et les impacts réels hydrauliques, chimiques et hygiéniques, de l'opportunité d'appliquer des mesures. Un problème identifié peut également se présenter sous

Lieu de manifestation	Problèmes et effets potentiels	Raisons possibles	Exemple de mesures possibles au niveau:		
			Bassin versant	Système d'assainissement	Bassin versant / milieu naturel
Bassin versant, canalisation	Rejets longs et fréquents par le réseau d'assainissement unitaire	Eaux claires parasites et eaux non polluées dans le réseau, mauvais réglage des déversoirs d'orage	Système séparatif, infiltration	Limiter les apports d'eaux claires parasites, réglage des déversoirs d'orage	
Milieu naturel	Impacts esthétiques: Bien-être des personnes perturbé	Apport de matières grossières (papier de toilettes etc.), odeurs	Rétention des eaux usées polluées	Dégrilleurs ou tamis	
	Colmatage du lit de la rivière: Déficit en oxygène au niveau du lit et de l'espace interstitiel	Matières solides dans les eaux usées, apport de polluants facilement biodégradables	Limiter les dépôts dans les canalisations	Traitement (p.ex. décantation, séparateur vortex, optimisation du fonctionnement)	
	Hygiène: Infection de personnes	Apport de bactéries et d'agents pathogènes		Déplacement du déversoir, rétention, traitement des rejets	Avertissement, interdiction temporaire de la baignade
	Stress hydraulique: Entrainement ou mortalité d'organismes	Charriage de fond et vitesses élevées engendrés par les rejets par les canalisations	Perméabilisation des surfaces, infiltration	Déplacement du déversoir, rétention, gestion en temps réel traitement des rejets	Adaptation du profil, amélioration du substrat (espace de refuge)
	Problèmes aigus: (Toxicité, ammoniac, oxygène): atteintes ou disparition d'organismes	Apport de substances toxiques, valeurs de pH et températures hautes lors des débits naturels minimaux	Rétention des eaux usées polluées	Déplacement du déversoir, rétention, gestion en temps réel traitement des rejets	Ombre par les arbres et autres plantes, amélioration du régime hydrologique
	Toxicité chronique: atteintes au niveau des organismes	Apports de métaux lourds, pesticides, substances à effets endocriniens	Mesures à la source	Traitement (p. ex. massifs filtrants, traitement physico-chimique)	
	Eutrophisation des milieux: atteintes au niveau des organismes	Apports de substances nutritives	Mesures à la source	Rétention, gestion des débits	Ombre par les arbres et autres plantes

Tableau 1: Exemples de mesures relatives à la problématique dans le système unitaire d'assainissement.

la forme d'un problème ne se manifestant pas encore physiquement mais dont le pronostic d'apparition établi au moyen de modèles et de simulations est considéré comme fiable. Cette catégorie comprend par ex. des problèmes pronostiqués en rapport avec la viabilisation de nouveaux lotissements ou de zones industrielles ainsi que des modifications importantes dans des zones résidentielles existantes. De plus amples informations quant à la clarification de la nécessité des mesures sont à trouver par ex. dans [7].

Choix des mesures

Le choix des mesures se base sur l'identification d'un problème et de la nécessité prouvée de ces mesures. À cet effet, l'ensemble du système «assainissement» influençable (y com-

pris les milieux récepteurs, les eaux souterraines et le sol) doit être pris en compte. Le choix effectif peut avoir lieu en deux étapes:

1. Une première étape consiste à choisir les mesures appropriées parmi l'éventail possible, afin de les soumettre à un examen plus détaillé. Les indications relatives à cette étape peuvent être tirées du tableau 1. En outre, le choix se base sur les connaissances et les expériences de l'auteur du projet.
2. La deuxième étape consiste à examiner les mesures appropriées choisies précédemment au moyen de critères définis. Le critère le plus important est la performance nécessaire pour atteindre les objectifs. D'autres critères, tels que les coûts, la fiabilité, etc. sont également détaillés. Lors de cette étape, des indications supplémentaires, (provenant de la littérature, d'une banque de données ou de demandes adressées à des spécialistes) doivent être trouvées au cas par cas.

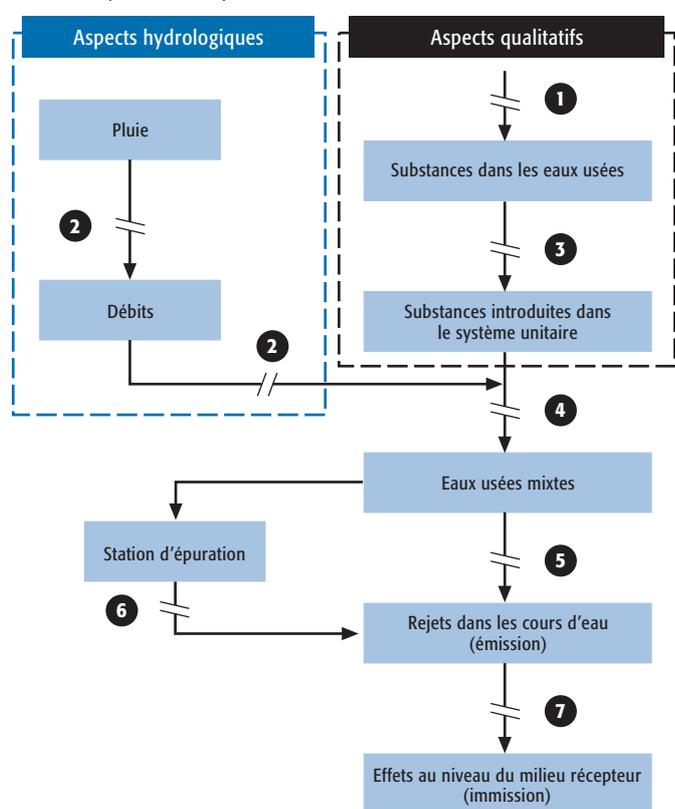
L'éventail des mesures disponibles est plus grand que celui appliqué généralement en Suisse jusqu'à présent et peut s'élargir encore. En principe, une distinction est établie entre les mesures appliquées à la source («source-control») pour empêcher l'entrée des eaux pluviales et des polluants dans le réseau d'assainissement et les mesures directement appliquées en fin de réseau d'assainissement («end of pipe») pouvant réduire les conséquences négatives de l'assainissement par temps de pluie (figure 1).

Les priorités des mesures planifiées doivent être fixées individuellement. En général les priorités sont fortement liées aux performances et aux coûts des mesures («rentabilité»). Le classement suivant montre un exemple quant aux priorités des mesures dans un système d'assainissement (réseau unitaire d'assainissement dans le bassin d'un petit cours d'eau du Plateau):

1. Optimisation de la performance d'un système dans les ouvrages existants (optimisation du débit dans les différents ouvrages).
2. Mesures relatives à la réduction du volume des eaux pluviales (infiltration, rétention).
3. Mesures techniques dans les zones d'habitat et d'industrie (nettoyage régulier des rues, rétention à la source d'eaux usées très polluées provenant par ex. d'une teinturerie).
4. Mesures d'exploitation dans le réseau d'assainissement (entretien régulier des sacs de route, aménagement de système permettant le rinçage automatique des canalisations par temps sec).
5. Traitement des eaux pluviales (augmentation des performances du bassin de décantation existant par l'implantation d'un système lamellaire).
6. Mesures complémentaires dans les cours d'eau (ombrage des berges, amélioration de la morphologie).

Des indications plus précises se rapportant à cette problématique peuvent être trouvées entre autre dans un manuel publié récemment sur les «Bases pour le choix des combinaisons de mesures efficaces par rapport aux coûts» [8] ou dans le manuel américain de l'U.S. EPA (Environmental Pro-

Les mesures peuvent être réparties dans les domaines suivants:



- 1 Mesures à la source: remplacement des substances polluantes dans les matériaux de construction, combustibles et autres produits.
- 2 Diminution du débit des eaux pluviales: infiltration décentralisée, rétention au niveau de la parcelle.
- 3 Mesure pour la réduction du volume de substances au niveau du bassin versant: nettoyage des routes, rétention des eaux polluées, mise en séparatif, etc.
- 4 Mesure d'exploitation dans le bassin versant: entretien des regards, station de pompage, réducteurs de débit, nettoyage des canalisations, gestion en temps réel, etc.
- 5 Mesures relative au traitement des eaux pluviales dans le bassin versant: élimination des matières grossières, rétention, combinaison rétention et traitement des substances solides, traitement chimique, désinfection, etc.
- 6 Traitement des eaux unitaires à la station d'épuration
- 7 Mesures au niveau du cours d'eau: morphologie, hydrologie et mesures opératives.

Figure 1: Domaine d'action de différentes mesures liées à l'assainissement par temps de pluie

tection Agency) sur le traitement des eaux de déversoirs unitaires [9].

Brève description des mesures possibles

Substitution des substances polluantes dans les produits

La gestion la plus efficace de la pollution des eaux pluviales consiste à éviter les émissions nuisibles pour l'environnement à la source. Cette situation peut être favorisée par des prescriptions légales, par des incitations économiques, par un renoncement volontaire, etc. et conduit généralement, à *long terme*, à une *solution efficace* par la disparition complète d'une substance indésirable dans les eaux pluviales. Il est nécessaire d'évaluer les possibilités et les compétences disponibles pour lutter à la source contre les pollutions par exemple dans le cadre des règlements de constructions d'une commune.

Mesures locales pour la réduction du volume des eaux pluviales

L'assainissement pluvial local représente une mesure très efficace pour limiter la charge hydraulique et polluante des égouts unitaires. La fonction et l'utilisation de l'infiltration décentralisée et de la rétention peuvent être trouvées dans la littérature spécialisée [4]. Une brochure de l'OFEFP [10] donne des informations quant à l'utilisation de l'eau pluviale au niveau des bâtiments. La réutilisation de l'eau pluviale n'apporte cependant que peu d'avantages en terme hydraulique par rapport à l'évacuation par les canalisations et ouvrages de décharge. En revanche, le concept d'assainissement pluvial peut être intégré utilement dans l'aménagement extérieur des bâtiments, au niveau de la parcelle. De tels exemples existent aussi bien en Suisse [11] qu'à l'étranger, comme par ex. en Allemagne [12, 13] ou en France [14].

Mesures techniques pour la réduction du volume de substances dans le bassin versant

Réseau unitaire et réseau séparatif d'assainissement modifiés

La modification des réseaux unitaire et séparatif d'assainissement conventionnels introduite par la directive VSA «Plan général d'évacuation des eaux» [5] et les normes SN 592 000 «Evacuation des eaux des biens-fonds» [15] est souvent comprise comme la transformation des systèmes unitaires d'assainissement existants en réseaux séparatifs conventionnels.

Une modification des réseaux d'assainissement ne peut toutefois pas être généralisée et réalisée à court terme. Les directives techniques mentionnées ci-dessus devraient introduire une modification successive de l'assainissement. Cela concerne l'évacuation des biens-fonds où toutes les nouvelles constructions et transformations exigent une séparation entre les eaux usées et les eaux pluviales. Une transformation conséquente du réseau unitaire d'assainissement classique en réseau séparatif classique dans le domaine de l'assainissement urbain n'est cependant pas prévue par les instruments

mentionnés ci-dessus. Abstraction faite des conséquences économiques, toute préférence non critique du système séparatif d'assainissement est suspecte en tant que solution standard, mais aussi du point de vue écologique. Une discussion critique et une documentation concernant cette problématique peuvent être trouvées par ex. dans [16].

Nettoyage des rues

En principe, deux procédés sont utilisés pour le nettoyage des rues: le nettoyage à sec et le nettoyage avec aspersion d'eau. L'efficacité des deux méthodes dépend avant tout de la technique utilisée, de la fréquence du nettoyage et de la minutie du personnel. Un nettoyage régulier peut apporter une réduction importante des rejets pluviaux provenant des routes par rapport aux matières particulaires et aux substances qui y sont liées tels que les métaux lourds et les HAPs. Les références bibliographiques concernant l'efficacité du nettoyage à sec ou par aspersion sont très variées et se montent en moyenne à 20–50% [17, 18, 19]. En combinant les nettoyages à sec et par aspersion d'eau, la retenue des matières solides peut s'élever jusqu'à 80% [17].

Rétention des eaux polluées

Le concept repose sur la retenue des eaux usées particulièrement polluées (par ex. les eaux résiduaires industrielles) avant le déversement dans le réseau unitaire d'assainissement au moment opportun. Ces eaux usées ne seront ainsi déversées dans la canalisation que lorsqu'elles peuvent être transportés vers la station d'épuration, c.-à-d. lorsque les déversoirs ne sont plus actifs. Les éléments techniques du stockage des eaux polluées (instruments de mesure et de régulation) appartiennent à l'état actuel de la technique. Les problèmes éventuels issus de cette mesure se situent dans la résolution des questions sur le lieu de stockage de ces eaux usées (par ex. un site industriel). Ces questions sont étroitement liées à la spécificité du procédé de production et au type d'eaux usées. Les expériences acquises jusqu'à présent indiquent que cette solution s'avère économiquement avantageuse et que l'effet produit peut être considérable. La condition pour le succès de cette mesure consiste toutefois en une collaboration étroite et une coordination entre tous les participants (producteur d'eaux usées, exploitant de STEP et ingénieur lors de la planification). Des indications plus précises se rapportant au stockage d'eaux polluées peuvent être trouvées par ex. dans les références [20, 21].

Le stockage d'eaux polluées peut également comprendre la séparation et le stockage de l'urine à la source. Cette mesure fait actuellement l'objet d'une recherche intensive (www.novaquatis.ch). Dans des conditions appropriées (par ex. nouvelles constructions avec un système d'assainissement unitaire), la séparation de l'urine à la source par le biais de toilettes et d'urinoirs spéciaux représente une barrière importante pour limiter les charges en ammonium dans les eaux en temps de pluie [22].

Mesures appliquées au niveau du réseau d'assainissement

Sacs de route (regards)

En Suisse, les regards typiques ont un volume d'accumulation d'environ 0,3 m³. La surface de chaussée raccordée à un regard est d'environ 200 m². L'utilisation de ce type de regard est discutée dans la pratique, surtout en considérant les frais d'entretien. Les regards servent non seulement à éviter les odeurs provenant du réseau unitaire mais aussi à la retenue des matières polluantes. Les performances peuvent être positives (retenue des matières décantables) ou négative (érosion), selon la nature de l'écoulement pluvial. Les études de Zurich-Friedacker [23] révèlent que la charge retenue, relative à 1 ha de surface de rue (env. 50 regards) se monte à env. 130 kg MES/année (surtout des particules grossières). Après de brèves mais fortes pluies, un accroissement important de matières solides a pu être observé. En revanche, après des pluies prolongées mais moins intenses, une réduction des sédiments dans le regard est constatée. Le volume utile de ces regards par hectare de surface imperméable correspond approximativement au contenu utile d'un petit bassin d'eaux pluviales (environ 15 m³/ha de surface de chaussée), la retenue des matières décantables se situe, selon les examens mentionnés de Zurich, approximativement dans le domaine de performance d'un décanteur. Cette performance dépend du curage régulier des sédiments accumulés. Cette opération génère toutefois des coûts et un investissement en temps importants. Les sédiments doivent être éliminés en tant que déchets spéciaux. Dans la littérature, de nombreuses indications sont trouvées sur la fonction et la performance des regards, mais ces derniers sont dimensionnés et réalisés de façons différentes, si bien qu'un transfert non critique des informations pourrait conduire à de fausses conclusions.

Un complément efficace, lié à la retenue des matières solides contenues dans le ruissellement sur les surfaces de route, se présente sous la forme de sacs filtrants (géotextiles), pouvant être installés dans les regards. La performance pour les matières en suspension (MES) est élevée (>80%) [24]. Cependant, cette mesure est aussi liée à un entretien régulier. Les matières solides retenues doivent être également traitées comme résidus spéciaux. En Suisse, l'utilisation des sacs filtrants est actuellement examinée de façon expérimentale [24].

Curage des égouts et effet de chasse

Le curage des canalisations est une mesure réalisée en pratique généralement à des intervalles relativement longs, principalement pour garantir la capacité hydraulique des canalisations. Contrairement au curage des canalisations, la vanne à effet de chasse consiste en un rinçage fréquent et régulier des sédiments déposés dans la canalisation. En effet, l'accumulation de ces sédiments est liée aux fluctuations journalières de la force d'entraînement. Ainsi, peut-on réduire aussi bien les problèmes hydrauliques que le taux de sédiments accumulés dans les canalisations unitaires.

Il existe différentes possibilités techniques pour actionner régulièrement une vanne à effet de chasse. Selon les conditions locales, les sédiments accumulés dans les canalisations peuvent être réduits de 50 à presque 100%. Les informations actuellement disponibles à ce sujet proviennent d'Allemagne et des USA et sont par exemple réunies dans un rapport de l'U.S. EPA [25].

Gestion en temps réel (Real-Time-Control)

Lors de la gestion en temps réel, pour les conditions suisses, un ensemble d'ouvrages d'accumulation sont gérés au niveau du réseau d'assainissement par temps de pluie et après la pluie. Les points clés résident dans l'utilisation optimale des volumes de rétention disponibles et dans la coordination de leur vidange après la pluie. La performance effective de cette mesure dépend des conditions locales et ne peut être estimée qu'à l'aide de programmes de simulation appropriés. Hormis quelques exceptions, le potentiel pour une gestion «réelle» du flux est modeste en Suisse en raison des déclivités souvent importantes et du petit volume d'accumulation qui en résulte dans les canalisations. Des indications plus précises à ce sujet sont données par [26, 27] par exemple.

Traitement des eaux en système unitaire

Malgré les efforts accrus pour le contrôle à la source des polluants et pour la reconversion de l'assainissement pluvial en utilisant l'infiltration, la rétention et la mise en séparatif des réseaux, des déversements d'égouts unitaires ne pourront pas être évités en Suisse, même pendant les prochaines décennies. Ainsi, des installations de traitement pour les déversoirs d'orage seront construites à l'avenir. Ces installations sont généralement limitées quant à leur performance et n'atteignent jamais un rendement de 100%. Toutefois, la superposition de différentes combinaisons de mesures à la source et à d'autres niveaux favorise aussi l'augmentation de la performance relative du traitement des eaux déversées (par ex. au cas où le ruissellement pluvial et/ou le débit de pointe et le volume ruisselé sont réduits).

Mesures pour la retenue des déchets grossiers

Les matières grossières provenant des déversoirs unitaires conduisent, comme chacun le sait, au problème de protection des eaux le plus fréquemment identifié et reproché par temps de pluie en Suisse. En raison des expériences acquises sur plusieurs années en Suisse et à l'étranger, il existe aujourd'hui différentes installations (dégrilleurs, tamis, brosses etc.) pouvant être utilisées avec succès pour la retenue des matières grossières provenant des déversoirs d'orage. L'efficacité des installations actuellement en service est généralement satisfaisante. Il est cependant inutile de chiffrer la quantité des matières grossières retenues. La limitation des déchets visibles et la fréquence du trop-plein de secours de l'installation sont déterminantes pour l'évaluation de l'efficacité. Les informations fondamentales à ce sujet peuvent être trouvées

par ex. dans la référence [28]. Pour le choix des différentes mesures techniques, de nombreuses informations sont disponibles chez les fabricants d'appareils en Suisse et à l'étranger.

Bassins d'eaux pluviales

Les eaux d'égout unitaire ne sont temporairement que stockées dans les bassins d'eaux pluviales, (dans des bassins ou des canaux d'interception) ou stockées et partiellement épurées (dans des bassins de décantation). Les bassins d'eaux pluviales appartiennent aux mesures majoritairement réalisées depuis des décennies en Suisse pour le traitement des eaux d'égout unitaire. Ainsi le sujet ne nécessite pas de description plus détaillée. La performance d'un bassin d'eaux pluviales ne peut être évaluée que par l'établissement du bilan des eaux d'égout unitaire (apports dans l'ouvrage, écoulement vers la STEP, rejets dans le milieu récepteur) au moyen d'une simulation (de longue durée) spécifiquement locale et/ou à l'aide de mesures. La capacité de sédimentation d'un bassin de décantation dépend principalement de la vitesse de sédimentation des matières solides et des conditions hydrauliques dans le bassin. Une méthode permettant d'estimer cette capacité de sédimentation des matières en suspension (MES) a été publiée dans la référence [29].

La performance d'un bassin d'eaux pluviales relative aux MES, déterminée au moyen d'une simulation sur une longue durée, peut servir de base à l'estimation de la charge d'autres polluants. Des indications statistiques provenant de recherches expérimentales, comme par ex. les indications du tableau 2, peuvent servir à cette estimation.

Les bassins d'eaux pluviales (particulièrement les bassins de décantation) peuvent aussi être utilisés dans le réseau séparatif. Théoriquement, les principes valables pour le système unitaire d'assainissement le sont pour la planification et le dimensionnement du réseau séparatif. Comparé au système unitaire d'assainissement (où après la pluie, les boues sont transportées directement dans la station d'épuration),

l'enlèvement régulier et l'élimination appropriée des sédiments doivent être assurés pour ces installations dans un réseau séparatif.

Séparateur hydrodynamique

Les séparateurs hydrodynamiques permettent la séparation du débit des eaux unitaires en un courant fortement pollué par les MES acheminé à la station d'épuration, et en un rejet contenant de plus petites concentrations de particules. Les séparateurs sont approvisionnés tangentiellement et sont vidés radialement. Comparé aux bassins d'eaux pluviales, ils présentent un volume relativement modeste et une «dynamique élevée». Dans la pratique, les séparateurs hydrodynamiques (appelés également séparateurs à vortex) ont été utilisés exclusivement pour le traitement des eaux d'égout unitaire. Leur utilisation se limite essentiellement aux petits bassins versants [31].

La performance de ces installations ne peut pas être pronostiquée facilement, car elle dépend d'un grand nombre de paramètres variables. Parmi les plus importants, nous trouvons les propriétés des particules (densité, grandeur et forme) et toute une série de caractéristiques hydrauliques au sein de l'installation, influençant la séparation des eaux usées et des matières solide sous différentes conditions d'exploitation (approvisionnement tangential, charge superficielle, rapport de débits, volumes et autres). Lors de petites pluies, les eaux d'égouts unitaires peuvent être entièrement stockées dans l'installation. Lors de pluies moyennes, le courant d'eaux d'égouts unitaires enrichi de matières solides est dirigé vers la station d'épuration, alors que le courant d'eaux d'égouts unitaires, le moins chargé de matières solides, est déversé dans le milieu récepteur. Lors de pluies moyennes, la charge hydraulique de l'installation est plutôt faible et la performance relative à la séparation des matières solides satisfaisante. Lors de fortes pluies, la charge hydraulique de l'installation est si intense que l'effet de séparation des particules est peu important.

La performance d'un séparateur hydrodynamique planifié en fonction de la séparation des MES peut être évaluée pour différentes conditions de construction et d'exploitation au moyen d'un modèle de simulation hydrodynamique (tel que par ex. FLUENT) [32]. Le résultat de cet examen correspond à l'effet de séparation «pur» (comme l'effet de sédimentation d'un décanteur, sans prise en compte du stockage). L'effet de séparation varie en fonction de la situation d'exploitation entre 15 % et plus de 90 % [33, 34, 35]. Pour une introduction à cette problématique, nous recommandons la directive «planification et le dimensionnement d'installations de séparation par effet vortex» [36].

«Traitement poussé des eaux pluviales»

En relation avec des exigences plus élevées imposées pour la retenue de différents polluants, liés principalement aux matières solides (métaux lourds, etc.), différentes mesures

	Fréquence d'apparition	Quantité de substance dans 1 kg de MES*					
		COT [g]	P-tot [g]	Cd [mg]	Pb [mg]	Cu [mg]	Zn [mg]
Système unitaire	25%	150	4	5,7	183	422	1192
	Médian	170	7	8,0	402	559	1605
	75%	320	17	28,7	632	774	2516
Système séparatif	25%	120	1,7	8,2	326	198	908
	Médian	140	2,9	16,3	836	340	1950
	75%	200	4,9	35,4	1690	780	3560

* Rapport entre MES médiane et pourcentage 25%, médiane et pourcentage 75% des substances évaluées. La valeur médiane de 178 analyses de MES dans le système unitaire: 174,5 mg/l de MES, dans le réseau séparatif: 141 mg/l de MES (56 analyses).

Tableau 2: Taux de polluants liés aux matières en suspension (MES) dans les eaux d'égout unitaires et dans les eaux de ruissellement d'un réseau séparatif (calculé selon [30]).

ont été introduites au cours des dernières années pour traiter les eaux pluviales, conduisant à une amélioration des installations existantes, à leurs développements ou encore à leurs remplacements. Parmi le large assortiment d'installations de type «traitement poussé des eaux pluviales», il sera brièvement discuté des séparateurs lamellaires, des ouvrages filtrants, des étangs et des «installations de système pour le traitement des eaux pluviales».

La performance d'un décanteur peut être accrue par ex. à l'aide d'un séparateur lamellaire et le cas échéant en utilisant des produits chimiques. Un taux de séparation jusqu'à 60 % peut ainsi être atteint, en rapport avec les MES [37]. En ajoutant des polymères (4 mg/l) un taux de séparation de 80–85 % a par exemple pu être atteint lors d'une étude à Toronto [38]. Il s'agissait dans ce cas d'un système de séparation étudié pendant 51 événements pluviaux et avec une charge superficielle de 15 m/h. Dans cet exemple, la boue retenue était fortement chargée en métaux lourds et a dû être éliminée comme «déchets spéciaux». Des expériences semblables ont également été faites à Genève sur un séparateur lamellaire. Des indications plus précises quant à la performance et à l'exploitation de ce séparateur sont présentées dans la référence [39].

Après des expériences faites aux USA et au Canada, différentes installations sous forme d'étangs de rétention combinés avec des sols filtrants ont également été implantées en Europe au cours des dernières années (principalement en Allemagne) pour le traitement des eaux pluviales, [40, 41, 42, 43, 44]. Ces aménagements (dans le système unitaire d'assainissement comme compléments aux bassins pluviaux existants) servent de «mesures poussées» à la protection des eaux particulièrement sensibles. L'implantation et l'effet possible des aménagements sous forme d'étang et de sols filtrants sur les eaux de ruissellement routières sont également discutés dans la section 9 de la Directive VSA sur l'«assainissement pluvial» [4]. Le dimensionnement et en particulier l'exploitation de ces installations fait toujours l'objet de recherches. Au cours des dernières années, en Allemagne notamment, des indications pour la planification, la construction et l'exploitation de filtres de rétention dans le système unitaire d'assainissement et dans le réseau séparatif ont été publiées [44, 45].

Un traitement poussé des eaux pluviales peut également être fait à l'aide de systèmes compacts (comme par ex. les méthodes «Actiflo» et «ECOSTAR») [46, 47]. Ces systèmes font intervenir différents procédés physico-chimiques pouvant être complétés par une désinfection UV. La performance de ce type d'installation est élevée (85–95 % pour les MES). En cas de désinfection UV, les exigences bactériologiques imposées au déversement dans les eaux de baignade sont satisfaites [47].

Traitement des eaux de pluviales dans les stations d'épuration

Au cours des dernières décennies, les déversements ont été supprimés entre la partie mécanique et biologique des sta-

tions d'épuration. Les nouvelles installations sont généralement dimensionnées par rapport au double du débit par temps sec. Cette situation correspond aux recommandations basées sur les études réalisées dans les années soixante, par ex. [48]. Dans le cadre de l'étude EAWAG sur la Glatt [49], une évaluation portant sur la minimisation des charges polluantes a été effectuée dans un système comprenant canalisations et station d'épuration. Un des résultats de cette étude a montré que le traitement des eaux par temps de pluie, jusqu'à un débit double de celui par temps sec, ne représente pas partout la conception de drainage optimale. Cependant l'optimisation du système bassin – canalisation – station d'épuration – milieu récepteur par temps de pluie n'est généralement pas réalisée lors de l'évaluation des stations d'épuration.

Mesures au niveau du milieu récepteur

Les mesures écomorphologiques se placent au premier plan des mesures appliquées au niveau du milieu récepteur. À l'aide de celles-ci, certains problèmes de protection des eaux engendrés par l'assainissement en temps de pluie peuvent éventuellement être atténués. Il s'agit principalement d'une limitation possible des atteintes mécaniques-hydrauliques aux organismes dans les petits cours d'eau urbains, mais il peut aussi s'agir de mesures d'accompagnement (comme par ex. ombrager le plan d'eau par une plantation sur les rives).

Les mesures écomorphologiques pour l'atténuation des atteintes mécaniques-hydrauliques signifient des interventions dans le lit visant la réduction de la contrainte de cisaillement du fond (par ex. réduction de la pente) et la constitution d'espaces protégés appropriés (par ex. l'augmentation de la variabilité en largeur et en profondeur). Inversement, dans les parties du cours d'eau où apparaissent des dépôts de sédiments, cela peut signifier des interventions possibles visant l'augmentation de la contrainte de cisaillement du fond (par ex. par la suppression de seuils ou barrages).

Généralement, les mesures écomorphologiques ont aussi un effet positif sur la composition chimique d'un milieu récepteur et peuvent contribuer à la beauté du paysage et à la valeur récréative du cours d'eau. Cependant, des conditions marginales importantes, comme par ex. la défense contre les crues, le besoin en terrain et les coûts sont à prendre en compte. Indépendamment de cela, ce domaine manque encore toujours d'expériences et la planification d'une telle mesure présuppose de profondes connaissances en biologie. Des informations plus détaillées sur la performance et les coûts de ces mesures, sont présentées dans l'étude [8].

Coûts et «rentabilité» des mesures

Il est évident que la relation entre les coûts et la performance des mesures («rentabilité») peut être le plus fortement influencée dans la première phase de planification. La pratique montre cependant que la «rentabilité» n'a guère été examinée jusqu'à présent dans la planification. L'explication se trouve

Installation/processus	Coûts d'investissement en Euro/m ² de surface contributive			
	Moyenne	Médiane	Valeur minimale	Valeur maximale
Infiltration dans un fossé	5,62	5,11	1,28	15,34
Infiltration par rigole ou drain	11,76	7,67	3,58	24,54
Infiltration dans une chambre	13,29	12,27	3,83	25,56
Infiltration par rigole et fossé	25,77	24,03	6,14	42,95
Autre combinaison d'infiltration	16,05	14,32	8,44	31,70
Rétention avec Q _{fuite} contrôlé	15,49	11,91	9,20	33,23

Tableau 3: Exemple d'investissements spécifiques pour l'infiltration décentralisée et rétention, en Allemagne [50].

dans l'implantation plus ou moins généralisée, jusqu'à présent, de bassins d'eaux pluviales et dans le procédé de planification et d'évaluation appliqué jusqu'à présent. Cependant, lors de la prise en compte d'un large éventail de mesures, des indications de coûts et de performance constituent les documents les plus importants permettant une prise de décision.

Les réflexions sur les performances et les coûts doivent être faites dans la première étape de la planification des mesures (cf. chapitre «Choix des mesures»). La «rentabilité» évaluée peut contribuer à une première sélection de mesures. Des indications non spécifiquement locales peuvent également être utilisées dans cette phase, comme par ex. différentes fonctions de coûts ou d'autres indications souvent basées sur

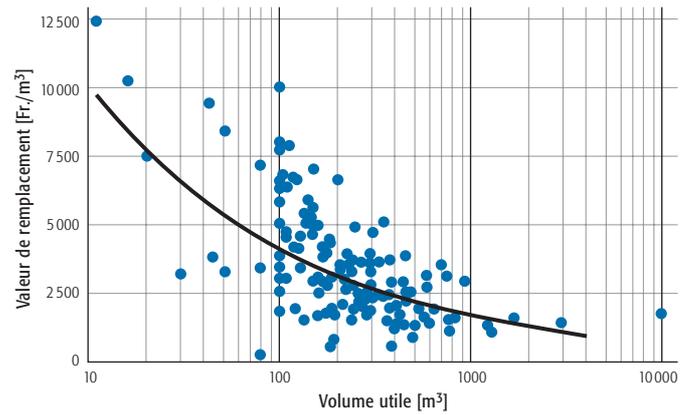


Figure 2: Valeur de remplacement des bassins d'eaux pluviales en Suisse [50].

les coûts d'installations déjà réalisées (tableau 3). À cet effet, des instruments administratifs ont été publiés par ex. en Bavière [51] et en Hesse [52]. Ces instruments définissent les fonctions et les valeurs indicatives de coûts pour différentes installations couvrant le domaine des mesures discutées.

L'application des fonctions de coûts requiert toutefois de la prudence. Les indications sur la valeur de remplacement des bassins d'eaux pluviales, provenant de plusieurs cantons suisses, présentent de grandes variations entre les coûts réels et les coûts calculés au moyen de la fonction des coûts (figure 2).

Dans la deuxième étape de la planification proposée (cf. chapitre «Choix des mesures»), l'évaluation des coûts sera basée sur un pré-dimensionnement (ou un examen prélimi-

Bassin de rétention Werdinsel, Zürich		
Volume du bassin	[m ³]	20000
Volume dans la canalisation d'amenée	[m ³]	20000
Bassin versant directement connecté	[ha _{red}]	300
Décharge préalable par les déversoirs de crue	[ha _{red}]	230
Décharge préalable par les bassins pluviaux	[ha _{red}]	870
Total	[ha _{red}]	1400
Contenu spécifique (seulement bassin)	[m ³ /ha _{red}]	14,3
Contenu spécifique (total)	[m ³ /ha _{red}]	28,6
Coûts de construction (bassin et canal d'amenée 1988)	[Mio Fr.]	52
Valeur de remplacement (estimation 2004)	[Mio Fr.]	65
Coûts annuels: annuité 3,6 % (avec intérêts 2%, durée de vie de 40 ans)	[Mio Fr./a]	2,35
Exploitation, entretien	[Mio Fr./a]	0,21
Total	[Mio Fr./a]	2,56
Coûts spécifiques annuels (pour un volume utile de 40 000 m³)	[Fr./m ³ /a]	64

Tableau 4: Caractéristiques choisies du bassin pluvial de Werdinsel à Zurich [55, 56]

Performance et coûts: bassin Werdinsel, Zürich	Selon projet	Performances réelles	
Remplissage du bassin	[a ⁻¹]	85	70–75 ¹
Déversements	[a ⁻¹]	23	10–15 ¹
Débit direction bassin	[Mio m ³ /a]	4,0	2,09 ²
Rétention dans le bassin	[Mio m ³ /a]	2,7	1,6 ²
Déversement	[Mio m ³ /a]	1,3	0,49 ²
Rétention de MES dans le bassin:			
▶ sans épuration des eaux usées	[t MES/a]	550	80–120 ¹
▶ avec épuration des eaux usées	[t MES/a]	530 ³	75–115 ³
Déversements dans la Limmat	[a ⁻¹]	220 t MES	12 t MF ⁴
Estimation des coûts pour les MES retenues:			
▶ sans épuration des eaux usées	[Fr./kg MES]	4,65	21–32
▶ avec épuration des eaux usées	[Fr./kg MES]	>10	>25

1 Évaluations basées sur le calcul de simulation (2004).

2 Valeurs moyennes tirées des indications mesurées au cours des années 1991–1995 [56]. Au cours de ces années, le bassin pluvial a été exploité selon les estimations du projet (c.-à-d. avant la modification du Qentrant de 9 m³/s à env. 6 m³/s).

3 Estimations.

4 Valeur moyenne des indications mesurées [56]. MF = matières filtrables, Filtre 8 mm, 1992 (11,3 t MF/année) et 1994 (13 t MF/année).

Tableau 5: Performances et coûts du traitement des eaux mixtes dans le bassin pluvial de Werdinsel à Zurich [55, 56].

naire semblable). La situation locale y sera prise en compte de manière spécifique (ville/campagne, transformation/nouvelle construction, travaux de terrassement/retenue d'eau, construction souterraine/en surface, équipement technique selon offres, etc.). Un exemple de ce type de détermination de coûts a été présenté à un cours organisé par l'EAWAG [54].

La «rentabilité» d'une installation peut être discutée sur l'exemple du bassin de rétention des eaux pluviales de Werdinsel à Zurich. Les caractéristiques les plus importantes de ce bassin sont réunies dans les tableaux 4 et 5 ci-dessous [55, 56].

Les indications techniques du tableau 4 et les coûts de construction proviennent de la publication sur le bassin pluvial de Werdinsel [55], les coûts d'exploitation et d'entretien ont pu être obtenus au près de la ville de Zürich [56], les indications de coûts restantes ont été calculées.

Les indications sur les performances planifiées du bassin pluvial de Werdinsel proviennent de la publication mentionnée ci-dessus [55], les indications sur les performances réelles proviennent partiellement des mesures effectuées [56], les indications manquantes ont été estimées au moyen d'une simulation de longue durée. Pour l'évaluation des performances, ce ne sont pas les fréquences, mais les charges des eaux usées et des MES qui sont déterminantes dans ce cas, par la présence d'une retenue sur la Limmat.

Les coûts spécifiques ont été estimés à partir des coûts annuels et des performances annuelles. Les coûts pour le traitement ultérieur des MES de la STEP Werdhölzli sont basés sur les estimations de coûts découlant de la rétention annuelle de MES (env. 3 Fr./kg de MES, y compris le traitement des boues pour un traitement de 15 000 t de MES/année) et sur les coûts résultants de la rétention annuelle de MES dans le système de filtration de la STEP Werdhölzli (env. 5 Fr./kg de MES pour un traitement de 900 t de MES/année).

L'exemple montre que

- la disparité entre la fonction planifiée et la fonction réelle du bassin pluvial de Werdinsel à Zurich est importante. Ainsi dispose-t-on d'un ordre de grandeur possible des incertitudes lors de la planification.
- à supposer que les charges annuelles soient la grandeur déterminante pour l'évaluation, même des mesures onéreuses investies dans la station d'épuration seraient plus rentables que le traitement des eaux d'égouts unitaires dans des bassins d'eaux pluviales.

Conclusions

Les nouvelles connaissances relatives à l'assainissement par temps de pluie, particulièrement dans le domaine des micropolluants, exigent une adaptation de la stratégie appliquée jusqu'à présent, orientée avant tout vers la retenue des matières grossières et de la boue dans des bassins d'eaux pluviales. Aussi impose-t-on, en plus des anciennes, de nouvelles exigences à ces déversements.

Afin de satisfaire à ces exigences, outre les anciennes mesures, de nouvelles doivent être prises en compte. Cela concerne aussi bien les mesures à la source que la mise en place de différentes «barrières» et également des mesures dans les milieux récepteurs mêmes.

La planification de mesures relativement simple et guère spécifique aux problèmes, pratiquée jusqu'à présent, deviendra beaucoup plus exigeante dans le futur. Pour garantir à l'avenir l'efficacité et la transparence du procédé de planification, celui-ci devra être adapté aux nouvelles exigences. Cela concerne particulièrement le choix systématique et critique des solutions, l'évaluation de leurs performances et de leurs coûts. En plus, le contrôle des résultats prendra une place prépondérante. La combinaison de différentes solutions devra être réalisée successivement en vertu des priorités fixées. Chaque mesure réalisée doit être examinée par rapport aux performances prévues et réelles. De précieuses expériences sont ainsi recueillies et ce contrôle des résultats représente simultanément une base pour un ajustement éventuel des mesures. Comme pour le traitement des eaux usées dans les stations d'épuration, une «planification par itération» peut également être assurée pour le domaine de l'assainissement urbain.

Les informations relatives au développement dans ce domaine peuvent être tirées des publications spécialisées. À ce propos, la participation accrue des experts et des personnes actives dans ce domaine aux conférences nationales et internationales est également importante.

Littérature

- [1] Rossi L., Krejci V., Kreikenbaum S. (2004): Anforderungen an die Abwassereinleitungen. GWA n° 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>.
- [2] Ordonnance sur la protection des eaux (1998): État au 6 mars 2001 (RS 814.201)
- [3] OFEFP (2002): Instructions – Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communications. Collection «L'environnement pratique», VU-2310-F, 57 pp, OFEFP, Berne.
- [4] VSA (2002): Evacuation des eaux pluviales. Directive sur l'infiltration, la rétention et l'évacuation des eaux pluviales dans les agglomérations. Association Suisse des professionnels de la protection des eaux. 120 pp, www.vsa.ch, Zürich.
- [5] VSA (1989): Plan général d'évacuation des eaux. Manuel d'explication. Association Suisse des professionnels de la protection des eaux, www.vsa.ch, Zürich.
- [6] OFEFP (1998): Système modulaire gradué. Méthode d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Information concernant la protection des eaux no. 26, www.modul-stufen-konzept.ch publication OFEFP, Bern.
- [7] Krejci V., Frutiger A., Kreikenbaum S. und Rossi L. (en préparation): Projet «STORM: Assainissement par temps de pluie» – Impacts des rejets pluviaux urbains par temps de pluie. Brochure disponible courant 2005 sur le site <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>.
- [8] Interwies E., Kraemer R.A., Kranz N., Görlach B., Dworak T., Borchart D., Richter S., Willecke J. (2004): Grundlagen für die Auswahl der kosteneffizientesten Massnahmenkombination zur Aufnahme in das Massnahmenprogramm nach Artikel 11 der Wasserrahmenrichtlinie – Handbuch, Umweltbundesamt Berlin, UBA-FB 000563/kurz (www.umweltbundesamt.de).

- [9] U.S. EPA. (1993): Combined Sewer Overflow Control Manual. United States Environmental Protection Agency, EPA/625/R-93/007, Washington DC 20460, USA.
- [10] BUWAL (2002): Ökobilanz von Trinkwasserversorgung und Regenwassernutzung, Umwelt-Materialien Nr. 147, Bern.
- [11] OFEFP (2000): Où évacuer l'eau de pluie? Infiltration – Rétention – Evacuation superficielle. Exemples pratiques. Référence DIV-2302-F, 58 pp, www.buwalshop.ch, Berne.
- [12] Geiger W. und Dreiseitl H. (1995): Neue Wege für das Regenwasser, Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München, ISBN 3-486-26259-9.
- [13] Dreiseitl H., Grau D., Ludwig K.H.C. (2001): Planen, Bauen und Gestalten mit Wasser, Birkhäuser – Verlag für Architekten, Basel, ISBN 3-7643-6508-0.
- [14] Communauté Urbaine de Bordeaux (1996): Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial sur la commune urbaine de Bordeaux – Guide de réalisation, 14 Juin 1996.
- [15] SN 592 000 (2002): Norme suisse: Evacuation des eaux des biens-fonds (VSA/ASMFA).
- [16] Brombach H., Weiss G., Fuchs S. (2004): Combined or separate sewer systems? A critical comparison using a new database on urban runoff pollution, Conf. Proceedings Novatech 2004, Vol. 1, pp. 599–606, Lyon, France.
- [17] Novotny V., Chester G. (1981): Handbook of Non-Point Pollution, Sources and Management; van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series, New York.
- [18] Balades J.D., Petinicolos F. (2001): Les stratégies de réduction des flux polluants par temps de pluie à la source: approche technico-économique. Conf. Proceedings NOVATECH 01, Vol. 1, pp. 367–373, Lyon, France.
- [19] German J., Svensson G. (2001): Street sweeping as a pollutant control measure. Conference. Proceedings Novatech 2001, Vol. 1, pp. 383–390, Lyon, France.
- [20] Grottker M. (1995): Schmutzwasserspeicher, Gas-Wasser-Abwasser, Nr.5/1995, S. 394–401.
- [21] Kollatsch D.-Th., Schilling W. (1990): Control Strategies of Sanitary Sewage Detention Tanks to Reduce Combined Sewer Overflow Pollution Loads, Proceedings 5th ICUSD, Osaka, Japan.
- [22] Rossi L., Lienert J., Rauch W. (2004): At-source control of urine to prevent acute wet-weather impacts of ammonia. Proceedings of the 5th Int. Conference NOVATECH, Vol. 2: S. 919–926, Lyon, France.
- [23] Dauber L. und Novak B. (1982): Quellen und Mengen der Schmutzstoffe im Regenabfluss einer städtischen Mischkanalisation, EAWAG, Dübendorf.
- [24] Boller M., Kaufmann P., Ochsenbeim U., Steiner M. und Langbein S. (2003): Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbiermaterial. Versickerung von Strassenabwasser über das Bankett. 1. Zwischenbericht der Forschungsprojekte. S. 32, EAWAG, Dübendorf.
- [25] U.S. EPA. (1998): Sewer and Tank Sediment Flushing: Case Studies, EPA/600/R-98/157, Washington DC 20460, USA.
- [26] Schilling W. (1995): Abflusssteuerung in einem kleinen Kanalnetz, Gas-Wasser-Abwasser, 4/1995, S. 321–328.
- [27] Schilling W. (1991): Leitfadens Abflusssteuerung – Planung, Entwurf und Betrieb, ATV Dokumentation und Schriftenreihe aus Wissenschaft und Praxis, Nr.28, GFA, St. Augustin, ISBN 3-927729-14-0.
- [28] Krejci V. (1991): Sieb- und Rechenanlagen für Behandlung von Regenüberläufen aus Mischkanalisation in der Schweiz, in: Anforderungen an die Regenwasserbehandlung bei Mischkanalisation, Universität Kassel, S. 201–214.
- [29] Rossi L. (2004): Modélisation des matières en suspension (MES) dans les rejets urbains en temps de pluie, Gas-Wasser-Abwasser, Nr. 10: 753–761.
- [30] Fuchs S., Brombach H., Weiss G. (2004): New database on urban runoff pollution; Conf. Proceedings Novatech 2004, Vol. 1, pp. 145–152, Lyon, France.
- [31] Weiss G.J., Brombach H., Bauer T. (1998): Vortex separator for stormwater treatment: applications, dimensioning, performance. Conf. Proceedings Novatech 1998, Vol. 1, pp. 491–498, Lyon, France.
- [32] Egarr D.A., Faram M.G., O'Doherty T., Syred N. (2004): An investigation into the factors that determine the efficiency of a hydrodynamic vortex separator. Conf. Proceedings Novatech 2004, Vol. 1, pp. 61–68, Lyon, France.
- [33] Luyckx G., Vaes G., Berlamont J. (1998): Experimental investigation on the efficiency of a hydrodynamic separator. Conf. Proceedings Novatech 1998, Vol. 1, pp. 443–450, Lyon, France.
- [34] Weiss G., Brombach H. (2000): Regenwasserbehandlung mit Wirbelabscheidern, KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Nr. 12, S. 1793–1800.
- [35] Okamoto Y., Kunugi M., Tsuchiya H. (2002): Numerical Simulation of the Performance of a Hydrodynamic Separator, In: Global Solution for Urban Drainage, edited by E.W. Strecker and W.C. Huber, Proceedings of the 9th Int. Conference On Urban Drainage, Portland, OR 97204, USA.
- [36] LfU Baden-Württemberg (1997): Wirbelabscheideranlagen – Les installations de séparation par effet vortex: Hinweise zu Entwurf und Bemessung, Handbuch Wasser 4, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, ISSN 0940-0272.
- [37] Daligault A., Meaudre D., Arnault D., Duc V., Bardin N., Aires N., Biau D., Schmid J., Clement P., Viau J.-Y. (1998): Eaux pluviales et dépollueurs: efficacité et réalité. Conf. Proceedings Novatech 1998, Vol. 1, pp. 471–479, Lyon, France.
- [38] Wood J., Yang M., Rochefort Q., Chessie P., Marsalek J., Seto P., Kok S. (2004): Feasibility of stormwater treatment by conventional and lamellar settling with and without polymeric flocculant addition. Conf. Proceedings Novatech 2004, Vol. 1, pp. 227–234, Lyon, France.
- [39] Baumgartner J. (2001): Assainissement du Plateau de Frontenex: Etude du rendement du décanteur particulaire. Lausanne, EPFL: 56 pp + annexes.
- [40] Born W. (2002): Weitergehende Mischwasserbehandlung in Bodenfilterbecken, in: Schriftenreihe der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft. Universität – Gesamthochschule Kassel.
- [41] Dittmer U., Welker A., Schnitt T.G. (2004): Optimizing the Operation of Constructed Wetlands for the Treatment of Combined Sewer Overflows, Conf. Proceedings Novatech 2004, Vol. 1, pp. 211–218, Lyon, France.
- [42] Kutzner R., Mietzel T, Mang J., Geiger W.F. (2004): Efficiency of a treatment train consisting of an inline retention sewer and a wetland. Conf. Proceedings Novatech 2004, Vol. 1, pp. 219–226, Lyon, France.
- [43] Pettersson T.J.R., Svensson G. (1998): Particle removal in detention ponds modelled for a year of successive rain events. Conf. Proceedings Novatech 1998, Vol. 1, pp. 567–574, Lyon, France.
- [44] Brunner P.G. (2002): Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, LfU Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- [45] Uhl M. (2003): Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb, MUNLV Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- [46] Plum V., Dahl C.P., Bentsen L., Petersen C.R., Napstjert L., Thomsen N.B. (1998): The Actiflo method, Water Science and Technology, Vol. 37, No. 1, pp. 269–275, IWA Publishing.
- [47] Lainé S., Poujol T., Baron J., Robert P., Tabuchi J.-P. (1998): Dépollution physico-chimique et bactériologique des effluents urbains de temps de pluie par aéroflottation-filtration-désinfection UV. Conf. Proceedings Novatech 1998, Vol. 1, pp. 371–378, Lyon, France.
- [48] Munz W. (1966): Die Wirkung verschiedener Gewässerschutzmassnahmen auf den Vorfluter, Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Vol. 28, Fasc. 2, S. 184–237.
- [49] EAWAG (1979): Regionale abwassertechnische Studie Glattal, Teil III: Gewässerzustand bei Regenwetter, Dübendorf/ZH.
- [50] Londong D., Nothnagel A. (1999): Bauen mit Regenwasser, Oldenbourg Industrieverlag, München.
- [51] Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (2002): Richtlinien für Zuwendungen zu wasserwirtschaftlichen Vorhaben Bayern (RZWass2000), München.
- [52] Hessisches Ministerium für Umwelt Landwirtschaft und Forsten (2002): Verordnung über pauschale Investitionszuweisungen zum Bau von Abwasseranlagen vom 26.04.2002.
- [53] BUWAL (2003): Kosten der Abwasserentsorgung – Coûts de l'assainissement, Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 42.

- [54] Krejci V., Burkhalter H. (2000): Kosten-Nutzen-Überlegungen im Zusammenhang mit Gewässerschutzmassnahmen bei Regenwetter, EAWAG-PEAK-Kurs «Der GEP-Zustandsbericht Gewässer», Kursteil 2, 27.–29. Juni 2000.
- [55] Conradin F., Steiner H.R. (1988): Das Projekt, in: Regenbecken Werdinsel Zürich 1983–1988, Tiefbauamt der Stadt Zürich.
- [56] Entsorgung+Recycling Zürich (2004): Unveröffentlichte Betriebsangaben.

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, Küssnacht

Graphisme

Lydia Zweifel

Commande

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