

Naturnahe Regenwasserentsorgung durch Mulden-Rigolen-Systeme

D. Grotehusmann, A. Khelil, F. Sieker, M. Uhl, Hannover

Zusammenfassung

Ein Regenwasserentsorgungssystem, das die Vorteile der gezielten Regenwasserversickerung mit denen der konventionellen Regenwasserableitung verbindet, ist das Mulden-Rigolen-System. Hier sind unter dezentralen Versickerungsmulden Kiesrigolen angeordnet, die durch Drainrohre, Rohrleitungen und durch ein Netz von Kontrollschächten zu einem Ableitungssystem verknüpft sind, das letztendlich einen Auslauf bzw. Überlauf in Richtung Vorflut besitzt. Durch geeignete Ausbildung der Kontrollschächte kann einerseits eine Möglichkeit zur Notentlastung in den Vorfluter realisiert werden und andererseits der Abfluß aus dem System geregelt werden. Die Bemessung der Einzelkomponenten des Mulden-Rigolen-Systems erfolgt in Anlehnung an das ATV-Arbeitsblatt A 138, der Nachweis der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems mit Hilfe der kontinuierlichen Langzeitsimulation.

Anhand einer Pilotstudie im Rahmen der Projekte zur „Internationalen Bauausstellung Emscherpark“ wird die Umstellung eines bestehenden Entwässerungssystems auf das Mulden-Rigolen-System beschrieben. Die hydrologischen Auswirkungen auf den Mischwasserabfluß und auf den Niedrigwasserabfluß der Gebietsvorfluter werden dargestellt.

NATURAL DISPOSAL OF STORM WATER BY A SYSTEM OF TROUGHS AND DRAIN TRENCHES

Summary

A system consisting of troughs and drain trenches is a storm-water disposal system which combines the benefits of targeted storm-water infiltration with those of conventional storm-water drainage. In such a system, gravel-filled drain trenches are placed below decentralized infiltration troughs which are connected by drains, pipes, and a network of inspection shafts to form a drainage system which eventually has an outlet or overflow spillway leading towards the receiving waters. If inspection shafts are designed accordingly, emergency discharge into the receiving waters can be achieved and on the other hand the outlet from the system can be controlled. The individual components of the trough-and-trench system are designed according to ATV worksheet A 138, and the performance of the system at large can be verified by continuous long-term simulation.

Based on a pilot study undertaken within the framework of the projects relating to the "International Emscherpark

Building Exhibition" the paper describes the conversion of an existing drainage system into a trough-drain trench system. The hydrological impact on combined-sewage flow and on low-water flow in the area's receiving waters is explained.

EVACUATION DES EAUX PLUVIALES FAVORABLE AU POINT DE VUE ÉCOLOGIQUE PAR DES SYSTÈMES DE CUVETTE ET DE RIGOLES

Résumé

Un système d'évacuation des eaux pluviales qui lie les avantages de l'infiltration des eaux pluviales avec ceux de l'évacuation conventionnelle est présenté par le système de cuvettes et de rigoles. Des rigoles en cailloux y sont arrangées au – dessous des cuvettes d'infiltration décentralisées. Ces rigoles sont nouées par des tuyaux de drainage, par des conduites et par un réseau de regards de contrôle avec un système d'évacuation qui dispose d'un exutoire respectivement d'un trop-plein vers le cours d'eau récepteur. En employant une construction appropriée des regards de contrôle on peut d'une part réaliser une possibilité de décharge de secours vers le cours d'eau récepteur et d'autre part régler l'effluent du système. Le dimensionnement des éléments individuels du système de cuvettes et de rigoles s'effectue en se servant du standard A 138 de l'ATV, la capacité du système entier est prouvée à l'aide de la simulation continue à long terme.

En se servant d'une étude pilote effectuée dans le cadre des projets sur "L'exposition internationale de la construction: Emscherpark", on décrit la transformation d'un système d'évacuation existante vers le système de cuvettes et de rigoles. Les effets hydrologiques sur le débit d'eaux d'égouts unitaires et sur le débit d'étiage du cours d'eau récepteur de la région sont démontrés.

1. Einleitung

Unter einer ingenieurmäßigen Regenwasserentsorgung wird bisher allgemein die Ableitung über Rohrleitungen im Misch- oder Trennverfahren verstanden. In Bezug auf ein wesentliches Ziel der Regenwasserentsorgung — die Vermeidung oder Reduzierung von Abflüssen von Siedlungs- und Verkehrsflächen — hat sich diese Konzeption zweifellos

bewährt, wie die inzwischen mehr als hundertjährige Erfahrung zeigt. In jüngerer Zeit treten jedoch die Nachteile dieser „klassischen“ Regenwasserentsorgung immer deutlicher hervor:

- Verstärkung der Hochwässer in Fließgewässern
- Schmutzbelastung der Fließgewässer durch Einleitung aus Trennsystemen und/oder Überlaufereignisse der Mischsysteme
- Kosten der Regenwasserbehandlung in Mischsystemen für Speicherbecken- und Kläranlagenausbau

Als Alternative zum Ableitungsprinzip wird immer häufiger das Versickerungsprinzip gefordert. Als wesentliche Verbesserung gegenüber einer einseitigen Praktizierung des Ableitungsprinzips sind zu nennen:

- Dämpfung der Abflüsse in Entwässerungsnetzen und Gewässern
- Reduktion von Mischwasserentlastungen bestehender Entwässerungssysteme hinsichtlich Häufigkeit, Dauer und Menge
- Erhöhung der Grundwasserneubildung
- Verringerung der Betriebskosten von Pumpwerken und Kläranlagen
- Verringerung der Baukosten für Kanalisation, Speicherbauwerke und Kläranlagenausbau.

Es werden jedoch folgende Bedenken und Einwendungen geäußert:

- Versickerung sei nur bei versickerungsfähigen Böden möglich.
- Es bestehe die Gefahr der unkontrollierten Vernässung von Gebäuden und Grundstücken.
- Es bestehe die Gefahr der Grundwasser- und Bodenverschmutzung.
- Bei Schnee und Frost sei die Funktion nicht gewährleistet.
- Allgemein: Die Versickerung sei technisch nicht so beherrschbar und damit nicht so sicher wie konventionelle Kanalnetze.

Bei dem im folgenden zu erläuternden Mulden-Rigolen-System wird versucht, die Vorteile der Versickerungskonzeption mit denen des Ableitungssystems zu verbinden und gleichzeitig die Nachteile beider Konzepte weitgehend auszuschließen. Es handelt sich also um ein Versickerungssystem mit den charakteristischen Eigenschaften eines Ableitungssystems. Je nach Versickerungsfähigkeit des Bodens überwiegt beim Mulden-Rigolen-System die Versickerung oder die (stark gedrosselte) Ableitung. Das System ist also unabhängig von der Bodenart anzuwenden, womit bereits eine der oben genannten Einwendungen entkräftet ist. Es wird sich ferner zeigen, daß das Mulden-Rigolen-System bei ordnungsgemäßer Ausführung und Wartung in Bezug auf Kontrollierbarkeit und Beherrschbarkeit etwa einem geregelten Ableitungssystem entspricht, also einem Ableitungssystem, das hinsichtlich seiner Ableitungs- und Speichereigenschaften betrieblich verändert werden kann.

Das System wurde im Rahmen der Projekte zur „Internationalen Bauausstellung Emscherpark“ in einer Pilotstudie am Beispiel der Altbaustadtteile Schüngelberg und Beckeradelle in Gelsenkirchen entwickelt. Das System dient hier also in erster Linie dem Zweck, die vorhandene Regenentwässerung der Altbauflächen weitgehend vom Mischsystem auf

ein neues System umzustellen. Das System läßt sich jedoch selbstverständlich und erst recht auf Neubaugebiete anwenden.

Konkreter Anlaß der Pilotstudie ist das Ziel, die Emscher und ihre Nebengewässer weitgehend zu renaturieren. Dieses erfordert neben der Hochwasserdämpfung insbesondere eine Erhöhung der Niedrigwasserabflüsse. Insofern besteht das Ziel des neuen Entwässerungskonzeptes in diesem Anwendungsbeispiel primär darin, dem Gewässer einen möglichst gleichmäßigen und langgestreckten Niedrigwasserzufluß zuzuführen — entweder auf dem indirekten Weg über die Versickerung, Grundwasserneubildung und Grundwasserstrom zum Gewässer oder auf direktem Wege über den Drosselabfluß des Mulden-Rigolen-Systems. Da letzterer dem Gewässer nicht nur unmittelbar zugute kommt, sondern darüberhinaus durch Ausführung und Betrieb des Mulden-Rigolen-Systems zu beeinflussen ist, besteht hier weniger Interesse an der Versickerung als an der gedrosselten Ableitung. Dem kommt die geringe Durchlässigkeit des hier anstehenden Bodens entgegen.

2. Beschreibung des Mulden-Rigolen-Systems

Das Mulden-Rigolen-System besteht aus einem System von dezentralen Versickerungsanlagen in Form von Kies-Rigolen mit darüberliegenden begrünten Versickerungs-Mulden (vgl. Bild 1). Diese sind durch „Transport-Rigolen“, Drain- und Rohrleitungen, offene Wasserflächen und andere Elemente sowie durch ein Netz von Kontrollschichten zu einem Ableitungssystem besonderer Art verknüpft, das als solches einen Auslauf bzw. Überlauf in Richtung Gewässer besitzt.

Die Versickerungsmulden (ca. 30 cm tief) werden in der Regel oberirdisch über Zuleitungsrinnen mit den Abflüssen der angeschlossenen Flächen beschickt (Bild 1). Das Wasser versickert relativ rasch durch die Mutterbodenschicht von ca. 30—50 cm in die darunterliegende, mit einem Geotextil ummantelte Kiesrigole. Bei der Bodenpassage werden evtl. enthaltene Schmutzstoffe zurückgehalten und organische Verbindungen größtenteils abgebaut. Eine „Verschlammung“ ist wegen der alternierenden und nur kurzfristigen Beschickung unter normalen Verhältnissen nicht zu erwarten, das Bodenleben (Durchwurzelung, Regenwürmer etc.) wirkt dem entgegen. Für etwaige Versagensfälle und für den Lastfall „Schnee und Frost“ können Einläufe in Form von „kiesgefüllten Schluckbrunnen“ als Kurzschlußverbindung zwischen Oberkante Mulde und Kiesrigole vorgesehen werden.

Die belebte Bodenschicht der Mulden ist die „biologische Kläranlage“ des Regenentsorgungssystems und daher eines seiner wichtigsten Elemente. Auf die oberirdische Beschickung der Versickerungsanlagen sollte daher nur in Ausnahmefällen verzichtet werden.

In der Kiesrigole steht entsprechend dem nutzbaren Porenvolumen ein Speichervolumen von ca. 35 % des Rigolenvolumens zur Verfügung. An der Sohle verlegte Drainrohre dienen der gleichmäßigen Füllung einerseits und der Notentlastung andererseits. Die Ummantelung mit einem Geotextil soll das Einschlammern von Feinstoffen verhindern und gegen Durchwurzelung wirken.

Die Mulden-Rigolen-Elemente können dem Grundriß nach beliebig geformt sein, vom streng regelmäßigen Linien-Element (z. B. als Begleitgrün eines Straßenzuges) bis zum völlig unregelmäßigen Flächenelement (z. B. als Bestandteil

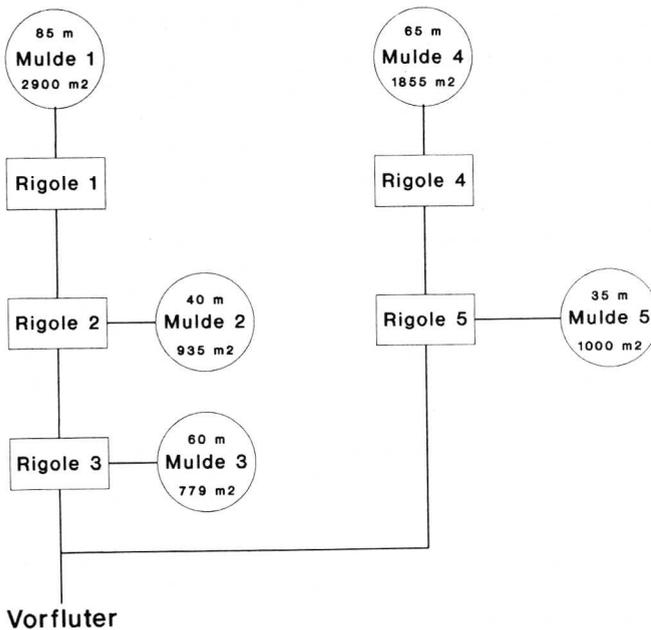


Bild A-1: Verknüpfung der Entwässerungselemente

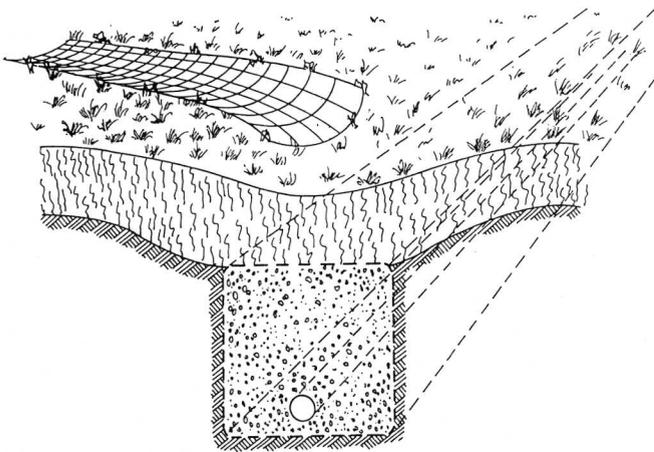


Bild 1: Regelquerschnitt eines Mulden-Rigolen-Elementes

eines begrünten Kinderspielplatzes oder als Teil einer Vorgartenanlage). Da man also bei der Gestaltung der Mulden-Rigolen-Elemente hinsichtlich der Grundrißform an keine regelmäßigen Vorgaben gebunden ist, kann das System weitgehend an die städte- und landschaftsplanerischen Erfordernisse angepaßt werden. Stärkere Geländeneigungen lassen sich durch Rigolen-Kaskaden berücksichtigen, wobei das hydraulische Gefälle in den Kontrollschächten aufzufangen ist. Die längste Ausdehnung eines Elementes

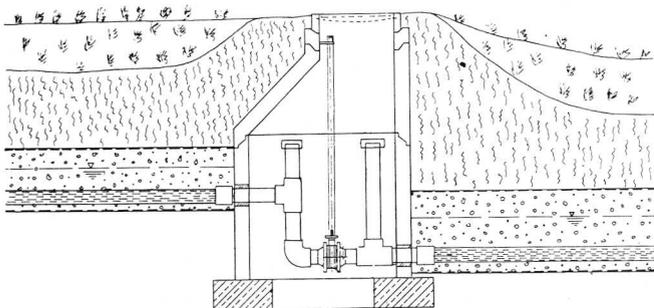


Bild 2: Längsschnitt eines Mulden-Rigolen-Elementes mit Kontrollschacht

sollte aber wie bei einer Kanalhaltung nicht mehr als etwa 50 m betragen. Ein Element wird in der Regel durch einen Kontrollschacht (Bild 2) abgeschlossen.

In der Entwässerungsrichtung aufeinanderfolgende Mulden-Rigolen-Elemente werden entweder direkt über Kontrollschächte miteinander verknüpft, oder durch Einschaltung von Transport-Rigolen bzw. normalen Rohrstrrecken (z. B. bei Straßenunterquerungen). Unter Transport-Rigolen sind dabei grabenförmige Kiesrigolen ohne Versickerungsmulde aber mit eingelagertem Drainrohr zu verstehen. In der Transport-Rigole findet also keine Zusicke rung statt, sondern nur eine Speicherung, eine Exfiltration und eine stark gedrosselte Ableitung.

Durch die Verknüpfung der Mulden-Rigolen-Elemente untereinander — entweder direkt oder über Transportelemente — entsteht eine Netzstruktur oder ein System dezentraler Versickerungsanlagen. Damit entsteht in der Regel ein grundstücksübergreifendes Regenentsorgungssystem, das zu organisieren und rechtlich zu regeln ist. Dieses ist zu betonen, weil man unter dezentraler Versickerung bisher gemeinhin isolierte Anlagen verstanden hat.

Eine besondere Bedeutung kommt beim Mulden-Rigolen-System den Kontrollschächten zu. Dieses soll am Bild 2 erläutert werden: Es soll sich um den Schacht einer Mulden-Rigolen-Kaskade handeln. Das Drainrohr der oberliegenden Rigole (links) geht vor dem Schacht in ein geschlossenes Rohrsystem innerhalb des Schachtes über. Der Schacht ist gegen die Rigolen und gegen Umläufigkeit gedichtet. Die Verbindung zwischen den Drainrohren der oben- und untenliegenden Rigole wird über eine geschlossene Rohrführung hergestellt. Der Abfluß aus der oberliegenden Rigole wird über eine Absperrklappe gedrosselt und gegebenenfalls geregelt. Im Falle einer Überlastung der oberliegenden Rigole springt die Notentlastung an, bestehend aus den beiden oben offenen Standrohren rechts und links vom Absperrorgan.

Der Kontrollschacht dient also gleichzeitig der Revision, der Notentlastung — und vor allem — der Regelung des Abflusses aus den Rigolen. Damit lassen sich etwaige Vernässungen oder umgekehrt eine zu geringe Speicherung bzw. Versickerungsleistung nachträglich korrigieren und regeln. Es handelt sich also um ein regelbares Entsorgungssystem. Durch Probenahme in den Schächten lassen sich auch die qualitativen Aspekte der Versickerung überwachen.

Abschließend sei noch auf ein besonderes Merkmal des Mulden-Rigolen-Systems hingewiesen: Das System ist so konzipiert, daß es seinen Zufluß in aller Regel nur über die Passage einer belebten Bodenschicht oder über einen künstlichen Reinigungsfilter erhält, also nach Durchlaufen einer Reinigungsstufe. Ein direkter Anschluß von Regenentwässerungsleitungen an die Schächte wird deshalb ausgeschlossen. Um auch die potentielle Gefahr einer Verschmutzung über die Schächte auszuschließen, ist hier die Verbindung zwischen dem ankommenden und dem abgehenden Drainrohr als geschlossenes Rohrsystem ausgeführt.

3. Bemessung

3.1 Systemanalyse eines Mulden-Rigolen-Elementes

Die Systemanalyse eines Mulden-Rigolen-Elementes ist in Bild 3 dargestellt. Mulde und Rigole werden als hintereinandergeschaltete Speicher betrachtet.

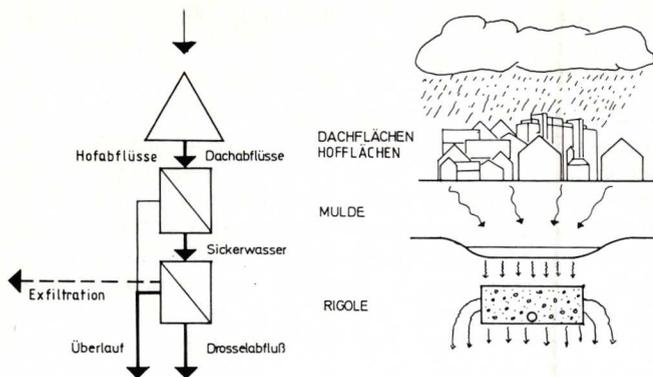


Bild 3: Systemanalyse eines Mulden-Rigolen-Elementes

Der Zufluß von den angeschlossenen abflußwirksamen Flächen wird in der Mulde zwischengespeichert. Er gelangt von dort über die kurze Sickerstrecke des Mutterbodens verzögert und gestreckt in den darunterliegenden Speicher Rigole. Der Abfluß der Mulde in die Rigole hängt von der Durchlässigkeit der Sickerstrecke sowie der zeitlich veränderlichen Füllhöhe und Sickerfläche ab.

Die Abflußganglinie der Mulde wird zur Zuflußganglinie des Speichers Rigole, dessen Speichervolumen sich aus dem Produkt von Rigolenvolumen und nutzbarem Porenanteil der Kiesfüllung ergibt. Der Abfluß aus der Rigole wird durch die Absperrklappe gedrosselt und in die unterhalb befindliche Rigole weitergeleitet. Weiterhin findet eine Versickerung in den anstehenden Boden (Rigolenexfiltration) statt. Sie hängt von der Durchlässigkeit des anstehenden Bodens, der Rigolengrundfläche und dem zeitlich veränderlichen Wasserstand in der Rigole ab.

Für den Fall der Überlastung der Mulde kann ein Überlauf in die Rigole vorgesehen werden. Ist auch die Speicherkapazität der Rigole erschöpft, wird das weiterhin aus der Mulde zusickernde bzw. überlaufende Wasser planmäßig über Standrohre in den Schächten (vgl. Bild 2) direkt in die Drainrohre an der Rigolensohle eingeleitet. Für diesen Fall übernehmen die Drainrohre die klassische Ableitungsfunktion.

Für die numerische Modellierung wird eine Mulde demnach als ein Speicher mit den Auslässen

- Versickerung in die Rigole (Berechnung durch Kennlinie $Q_S = f(h_M, k_{fM})$)
- Überlauf in die Rigole

eine Rigole als Speicher mit drei Auslässen

- regelbarer Drosselabfluß in die nächste Rigole (Berechnung mit Kennlinie $Q_{dr} = f(h_R, \text{Drosselklappenstellung})$)
- Exfiltration in den anstehenden Boden (Berechnung mit Kennlinie $Q_{ex} = f(h_R, k_{fR})$)
- Überlauf in die nächste Rigole

angesehen.

Einzelne Mulden-Rigolen-Elemente können zu einem Entwässerungssystem, dem Mulden-Rigolen-System verknüpft werden. Je nach städtebaulicher Struktur und Topographie des Einzugsgebietes können sich verästelte oder vermaschte Netzstrukturen ergeben (vgl. Bild 10).

3.2 Bemessung und Nachweis der Leistungsfähigkeit

Das Mulden-Rigolen-System ist überlastet, wenn bei Vollfüllung der Rigole und Mulde der Wasserstand in den Mulden die maximal zulässige Höhe (i. a. 5 cm unter Gelände) überschreitet und die zulaufende Wassermenge nicht mehr über das Drainrohr abgeführt werden kann.

Als zulässige „Wiederkehrzeit“ eines Versagensfalles wird für Mulden-Rigolen-Systeme $T_n = 10$ Jahre vorgeschlagen. Dieses entspricht einer jährlichen Häufigkeit von $n = 0,1$. Diese höhere Sicherheit im Vergleich zu dezentral isolierten Anlagen nach ATV-Arbeitsblatt A 138 — dort wird eine Wiederkehrzeit von $T_n = 5$ Jahren entsprechend $n = 0,2$ zugelassen — ist wegen des aus der Netzstruktur resultierenden Risikos zweckmäßig.

Für die Bemessung wird ein zweistufiges Vorgehen vorgeschlagen. Die Bemessung der Versickerungsmulden wird nach dem ATV-Arbeitsblatt A 138 für $n = 0,1$ bzw. $T = 10$ Jahre vorgenommen. Aus den Eingangsdaten angeschlossene abflußwirksame Fläche, Durchlässigkeit des Muldenbodens und einer angenommenen Muldenfläche wird die mittlere Muldentiefe bzw. das erforderliche Speichervolumen für jede einzelne Mulde ermittelt. Erscheint die errechnete Muldentiefe zu hoch (z. B. > 40 cm) wird mit einer vergrößerten Mulden- und damit Versickerungsfläche die Bemessung wiederholt. Aus den errechneten Muldenvolumina, der Muldengeometrie und dem k_f -Wert des Bodens lassen sich mittlere Zusickerungsraten $[l/s]$ zu den entsprechenden Rigolen berechnen.

Bei der Muldenbemessung sind unter Annahme einer sinnvollen Muldentiefe die Versickerungsleistung (= Drosselleistung des Speichers Mulde) und Muldenfläche/-volumen voneinander abhängige Größen, womit das notwendige Speichervolumen eindeutig festzulegen ist.

Bei den Rigolen ist die Drosselleistung unabhängig vom Rigolenvolumen einstellbar. Für eine Rigolenbemessung muß deshalb einer der beiden „Freiheitsgrade“, Rigolenvolumen oder Drosselleistung vorab festgelegt werden. Soll durch ein Mulden-Rigolen-System u. a. eine direkte Niedrigwassererhöhung erzielt werden, wie es in der weiter unten beschriebenen Pilotstudie der Fall ist, erweist sich folgende Vorgehensweise als sinnvoll: Zunächst wird die Drosselleistung der letzten in den Vorfluter mündenden Rigole vorgegeben. Ausgehend von dieser Zielgröße wird der Drosselabfluß für jede einzelne Rigole in Abhängigkeit der jeweiligen mittleren Zusickerungsrate aus der oberliegenden Mulde im System bestimmt. Dabei kann ggf. die Exfiltrationsrate der Rigole einbezogen werden. Ist wegen planerischer Randbedingungen das Rigolenvolumen begrenzt, kann ausgehend von vorgegebenen Abmessungen der jeweiligen Rigole der Drosselabfluß bestimmt und eingestellt werden.

Die Bemessung der Rigole wird in Anlehnung an das ATV-Arbeitsblatt A 138 unter der Annahme durchgeführt, daß die in Wirklichkeit über Mulden in die Rigolen entwässernden Flächen direkt an die Rigole angeschlossen werden. Die Annahme ist berechtigt, weil die Drosselleistung der Rigolen immer kleiner ist, als die Sickerleistung der Mulden — sonst würde ja auch keine Speicherung in den Rigolen stattfinden. Es besteht demnach für die Bemessung wenig Unterschied, ob die Abflußmenge eines Niederschlagsereignisses direkt in die Rigolen oder zeitlich gestreckt über die Mulden zugeleitet wird.

Unter Vorgabe einer Drosselleistung berechnet sich das notwendige nutzbare Rigolenvolumen $[m^3]$ zu:

$$V_R = (A_{red} + A_S \cdot L) \cdot r_{(n)} \cdot D \cdot 10^{-7} \cdot 60 - (Q_{dr} + Q_{ex}) \cdot D \cdot 60/1000$$

Die Wiederkehrhäufigkeit kann hier deutlich höher angesetzt werden als bei der Muldenbemessung, da bei Überschreitung des Rigolenspeichervolumens planmäßig das Wasser durch die Drainrohre abgeführt wird. Um die Abmessungen der Rigolen in Grenzen zu halten, wird eine Wiederkehrhäufigkeit von $n=0,2$ bis $n=1,0$ vorgeschlagen.

Die Drainrohre in ihrer Funktion als Ableitungssystem werden so bemessen, daß die Summe der Infiltrationswassermenge aller oberhalb liegenden Mulden abgeführt werden kann.

Da es sich bereits im einfachsten Fall eines einzelnen Mulden-Rigolen-Elementes um ein System von zwei hintereinandergeschalteten Speichern handelt und bei der Speicherberechnung aufgrund der langsamen Entleerung immer die Aufeinanderfolge von Niederschlagsereignissen einen Einfluß auf die Überlaufhäufigkeit hat, ist bei Mulden-Rigolen-Systemen eine kontinuierliche Langzeitsimulation (ATV, 1985) — also die Vorgabe einer langjährigen kontinuierlichen Niederschlagsmeßreihe — zum Sicherheitsnachweis zwingend erforderlich. Dabei muß nachgewiesen werden, daß das System an keiner Stelle häufiger als der bei der Bemessung zugrunde gelegten Versagenshäufigkeit ($n=0,1$) versagt.

Im Anhang wird ein Beispiel für eine Dimensionierung eines Mulden-Rigolen-Systems mit dem Nachweis der Leistungsfähigkeit durchgerechnet.

4. Pilotstudie Gelsenkirchen

4.1 Gebietsbeschreibung

Die Studie bezieht sich — wie eingangs erwähnt — auf die beiden Stadtteile Schüngelberg und Beckeradsdelle. Gemeinsamer Vorfluter der beiden Stadtteile ist der Oberlauf des Lanferbaches, eines Nebengewässers der Emscher. Der Lanferbach ist derzeit, wie die meisten Gewässer im Emscher-Einzugsgebiet ein offener Mischwasser-Ableiter. Er soll im Zuge der Renaturierung des Emscher-Einzugsgebietes in einen konventionellen Mischwasserkanal und ein natürliches Fließgewässer aufgeteilt werden. Es besteht jedoch das Problem, daß — bedingt durch die Versiegelung, die Ableitung des Regenwassers im Mischsystem und durch die von Bergsenkungen verursachten niedrigen Grundwasserstände — nur eine sehr geringe Wasserführung des renaturierten Fließgewässers zu erwarten ist. Es besteht also hohes Interesse, dem künftigen Gewässer einen möglichst gleichmäßigen und zeitlich möglichst langgestreckten Niedrigwasserabfluß zuzuführen.

Der Stadtteil Schüngelberg wurde für die Studie auch deshalb gewählt, weil hier im Rahmen eines Sanierungs- und Neubauprogramms die Gelegenheit besteht, ein neues Regenentsorgungssystem kurzfristig zu realisieren. Bild 4 zeigt den Lageplan des insgesamt ca. 16 ha großen Gebietes. Bild 5 zeigt die Aufteilung der abflußwirksamen Flächen im Endzustand. Der Lanferbach umgibt den Stadtteil am westlichen und südlichen Siedlungsrand, was den Vorteil relativ kurzer Fließwege des Regenwassers eröffnet. Die Geländeneigung zum Vorfluter beträgt ca. 1—3%. Der Durchlässigkeitsbeiwert der oberen Bodenschicht wurde über Versickerungsversuche zu $k_f=10^{-6}$ – 10^{-7} m/s ermittelt.

Der Stadtteil Beckeradsdelle wurde zusätzlich gewählt, weil er im Gegensatz zum Stadtteil Schüngelberg ein Altbauge-

biet darstellt, in dem sich baulich in den nächsten Jahren kaum etwas verändern wird. Hier kommt es also auf die Frage an, welche Möglichkeiten der Umstellung des Entsorgungssystems überhaupt bestehen und ob es sich auch für ein solches Gebiet „lohnt“, eine Umstellung in Erwägung zu ziehen. Insofern ist dieser Stadtteil eher typisch für das gesamte Emscher-Einzugsgebiet als der vorgenannte, der eher dem Fall „Neubaugebiet“ zuzurechnen ist. Das Untersuchungsgebiet (Bild 6) ist ca. 75 ha groß. Vorfluter des Stadtteils ist der Lohmühlenteich bzw. der Lohmühlenbach — ein Nebengewässer des Lanferbaches. Durch seine Lage an der Südgrenze des Siedlungsgebietes ergeben sich relativ lange Fließwege innerhalb des Stadtteils in Nord-



Bild 4: Lageplan der Schüngelbergsiedlung

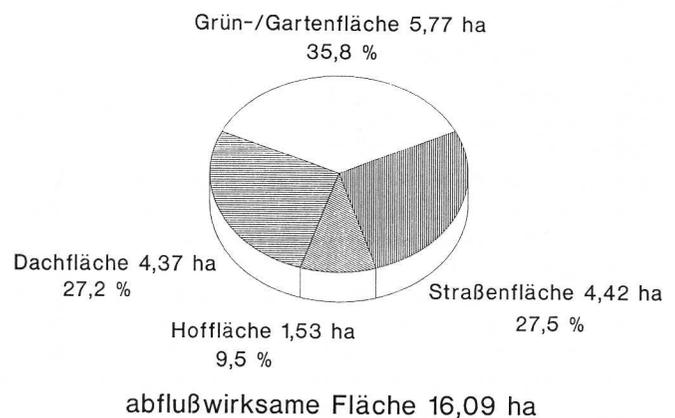


Bild 5: Aufteilung der abflußwirksamen Fläche Bestand und Neubaugebiet



**Bild 6: Lageplan
des Projektgebietes
Beckeradsdelle**

Süd-Richtung. Das Geländegefälle beträgt im Mittel ca. 3 %, liegt bereichsweise aber auch deutlich darüber. Die Durchlässigkeit des Bodens ist ähnlich wie im Stadtteil Schüngelberg.

4.2 Entwässerungskonzepte

Für den Stadtteil Schüngelberg hat sich in Abstimmung mit allen betroffenen Planern und Entscheidungsträgern ein dreigeteiltes Entwässerungssystem ergeben:

- Das vorhandene Mischwassernetz wird grundsätzlich beibehalten, nimmt aber in Zukunft außer dem Schmutzwasser des Altbestandes und der Neubaufächen (letzteres über zusätzliche neue Schmutzwasserkanäle) nur noch das Regenwasser auf, dessen Entsorgung auf einem der beiden folgenden Wege zu aufwendig ist. Hinzu kommen würde im allgemeinen Fall auch noch hochgradig verschmutztes Regenwasser, z. B. von Industrieflächen oder hochbelasteten Straßen. Dieser Fall liegt jedoch hier nicht vor, weil es sich um ein reines Wohngebiet handelt ohne Durchgangsverkehr. Das Mischnetz wird an den aus dem Lanferbach hervorgehenden künstigen Mischwasserkanal angeschlossen.
- Der größte Teil der Straßenabflüsse einschließlich eines kleineren Teils der Dach- und Hofabflüsse wird über ein sogenanntes Flachnetz (vgl. Bild 7) in semizentrale Versickerungsmulden geleitet, die längs des Lanferbaches angelegt werden (Bild 8). Die potentiell in Straßenabflüssen enthaltenen Schmutzstoffe werden zwar in diesen semizentralen Anlagen konzentriert, der Sickerweg durch die bewachsene Bodenschicht zum Vorfluter läßt jedoch erwarten, daß es zu keiner Beeinträchtigung des Grundwassers kommt.
- Die verbleibenden Anteile der Dach- und Hofflächen werden über Mulden-Rigolen-Systeme entwässert. Bild 9 zeigt die in sich abgeschlossenen Einzelsysteme, die je für sich in den Lanferbach münden. Es ist darauf hinzuweisen, daß die Systeme größtenteils auf privaten Grundstücken verlaufen, die allerdings hier vorwiegend in einer Hand liegen.

Hinsichtlich der Aufteilung der Regenentsorgung auf die Mischentwässerung einerseits und das Flachnetz bzw. das Mulden-Rigolen-System andererseits sind verschiedene „Abkoppelungs-Szenarien“ untersucht worden. Der Anteil

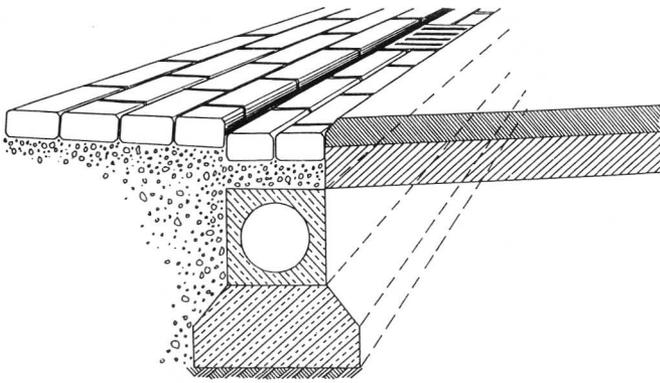


Bild 7: Ausführungsbeispiel für das Flachnetz

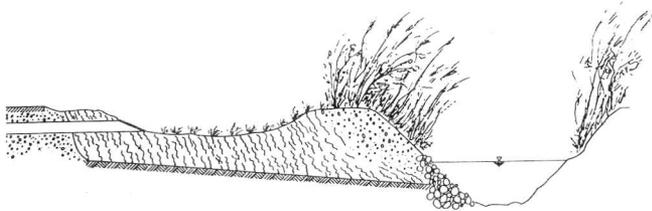


Bild 8: Versickerungsmulde längs des Lanferbaches



Bild 9: Entwässerungsplan der Dach- und Hofflächen Schüngelbergsiedlung

der am Mischnetz verbleibenden abflußwirksamen Flächen schwankt danach zwischen 70 und 25 %. Bei der zur Realisierung vorgeschlagenen Lösung verbleibt ein Anteil von ca. 40 % am Mischnetz.

Für den Stadtteil Beckeradsdelle ergibt sich aufgrund der örtlichen Verhältnisse zwingend, die Entwässerung aller Straßen sowie eines Teils der Dächer und Hofflächen über das vorhandene Mischnetz beizubehalten. Andererseits bieten die relativ großen Freiflächen innerhalb der Wohnbereiche die Gelegenheit, Mulden-Rigolen-Systeme anzulegen und einen signifikant großen Anteil der Dach- und Hofflächen an diese anzuschließen. Aus Ortsbegehungen und grundstücksscharfen Bewertungen hat sich ein realistischer „Abkoppelungsanteil“ von ca. 40 % ergeben. 60 % aller versiegelten Flächen einschließlich der Straßen verbleiben also am Mischnetz. Aus der Topographie des Gebietes ergibt sich ein Mulden-Rigolen-System mit drei voneinander unabhängigen Teilsystemen mit jeweils eigener Ausmündung in den Vorfluter. Bild 10 zeigt die Verknüpfung der Elemente als Systemskizze. Die alternierend aufgetragenen Mulden M_i und Rigolen R_j liegen in der Realität jeweils paarweise übereinander. Bei den übrigen Rigolen handelt es sich um Transport-Rigolen. Man erkennt, daß sich eine relativ komplexe Netzstruktur von Mulden-Rigolen-Elementen und Transportstrecken ergibt.

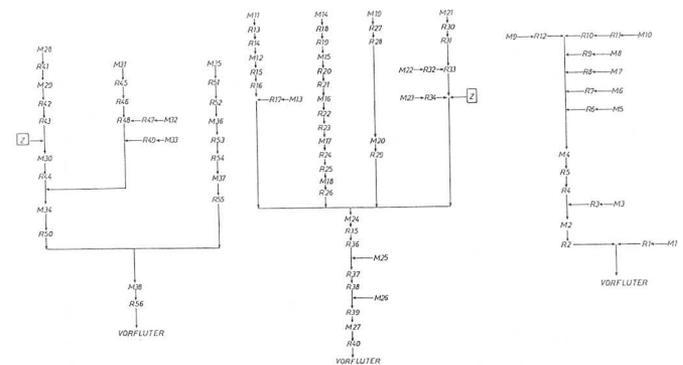


Bild 10: Verknüpfung der Entwässerungselemente, Beckeradsdelle

4.3 Hydrologische Ergebnisse

Die Untersuchungen (SIEKER, et al., 1991) haben gezeigt, daß mit den vorgeschlagenen neuen Entwässerungssystemen erhebliche hydrologische Verbesserungen zu erzielen sind.

In Bezug auf den Stadtteil Schüngelberg wurde u. a. untersucht, welche Auswirkungen das neue Konzept auf den Mischwasserabfluß dieses Gebietes hat. Folgende Varianten wurden verglichen:

- Baubestand 1990 mit einem konventionellen Mischsystem
- Baubestand 1990 und geplante Neubaufächen mit einem konventionellen Mischsystem
- Baubestand 1990 und geplante Neubaufächen mit einem Mulden-Rigolen-System und einem ergänzenden Mischsystem

Für alle Varianten wurde angenommen, daß zur Mischwasserbehandlung Regenüberlaufbecken nach ATV-Arbeitsblatt A 128 gebaut werden. Es wurden Durchlaufbecken im Hauptschluß gewählt, deren Überlauf in den künftigen

Lanferbach entlastet. Es wurde eine Langzeitsimulation über 21 Jahre für die Abflußmenge und die Schmutzfrachten „Abfiltrierbare Stoffe“ (AFS) und „Chemischen Sauerstoffbedarf“ (CSB) durchgeführt. Aus den Simulationsergebnissen wurden u. a. die Spitzenabflüsse und Abflußvolumina in

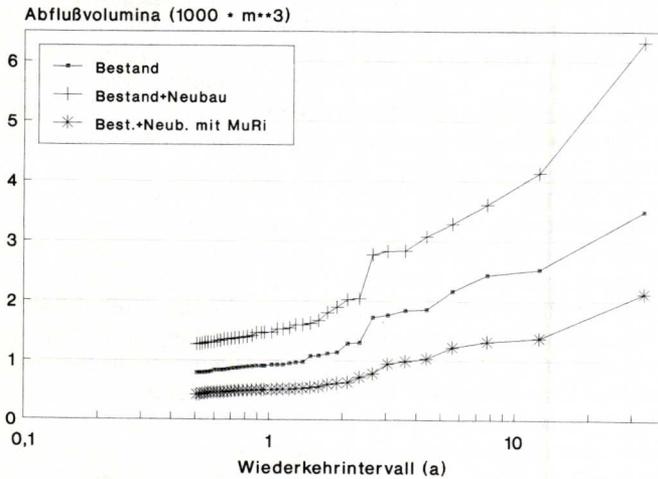


Bild 11: Abflußvolumina des Mischwasserabflusses der drei Untersuchungsvarianten in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall

Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit, die Anzahl, Dauer und Volumina und Schmutzfrachten der Entlastungsereignisse in Abhängigkeit von der spezifischen Größe der Regenrückhaltebecken, sowie die Dauer von Mischwasserzuflüssen zur Kläranlage entnommen.

Bild 11 zeigt die Abflußvolumina des Mischwasserabflusses als Funktion des Wiederkehrintervalls für die drei o. g. Varianten. Deutlich wird, daß die vorgesehene Neubebauung eine Verdoppelung des Mischwasserabflusses herbeiführen wird, wenn das ganze Gebiet im konventionellen Mischverfahren entwässert. Wird jedoch das Mulden-Rigolen-System im bautechnisch möglichen Umfang im Baubestand und Neubaufäche zur Regenentwässerung angewendet, so reduziert sich der Mischwasserabfluß drastisch für alle Wiederkehrintervalle.

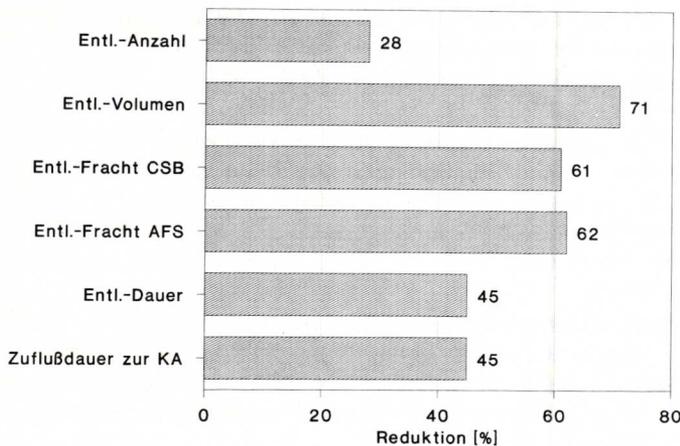


Bild 12: Reduktion der Entlastungskenngrößen der Mischkanalisation bei Einsatz des Mulden-Rigolen-Systems verglichen mit einem konventionellen Mischsystem

Bild 12 verdeutlicht die Reduktion verschiedener Entlastungskenngrößen der Mischkanalisation, die durch den Einsatz des Mulden-Rigolen-Systems im Vergleich zur konventionellen Mischentwässerung erzielbar sind. Etwa 58 % der befestigten Flächen können realitätsgerecht durch das Mulden-Rigolen-System entwässert werden. Bereits ohne ein Regenüberlaufbecken wird damit eine überproportionale Reduktion der mittleren jährlichen Entlastungsvolumen und -frachten bewirkt.

In Bezug auf den Stadtteil Schüngelberg war weiterhin von Interesse, in welchem Umfang der Niedrigwasserabfluß des Vorfluters durch das neue Konzept verbessert wird. Bild 13 zeigt das Ergebnis: Der Niedrigwasserabfluß des Vorfluters von z. B. 2 l/s wird im Istzustand (untere Kurve) an 20 Tagen überschritten, bei Verwirklichung des neuen Konzeptes (obere Kurve) dagegen an 110 Tagen. Insgesamt zeigt der Vergleich der beiden Kurven, daß die Niedrigwasserabflüsse durch das Mulden-Rigolen-System deutlich erhöht werden.

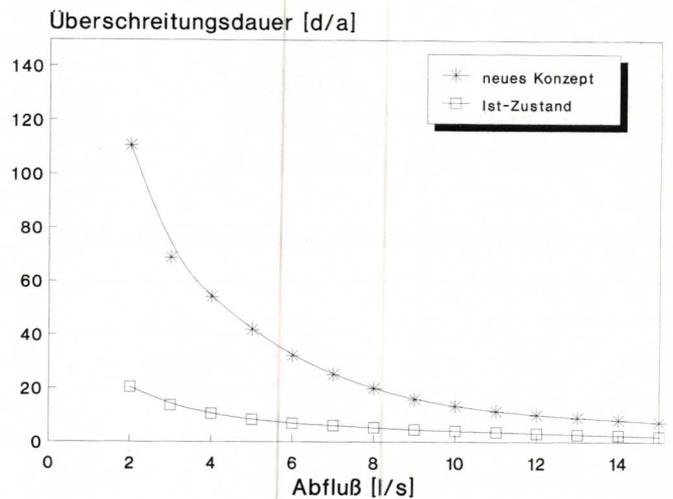


Bild 13: Überschreitungsdauer bestimmter Abflüsse im Lanferbach

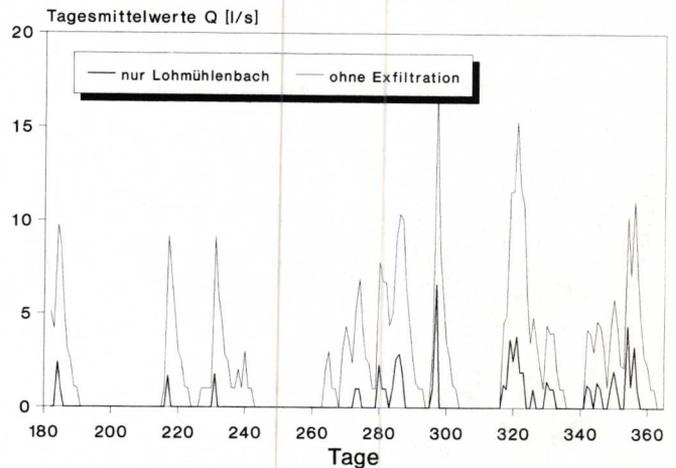


Bild 14: Abflußganglinie des Lohmühlenbaches 2. Halbjahr 1982

Andererseits werden die Starkregenabflüsse des Gesamtgebietes unabhängig von der jahresbezogenen Häufigkeit im Mittel halbiert.

Bezogen auf den Stadtteil Beckeradsdelle führten die gleichen Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß der Vorfluter

Lohmühlenbach, der derzeit nur einen verschwindend geringen Niedrigwasserabfluß von 0,3 l/s führt, nach Ausführung des vorgeschlagenen Mulden-Rigolen-Systems eine Wasserführung erhält, die die Bezeichnung Fließgewässer verdient. Bild 14 zeigt die simulierten Ganglinien des Gewässers für ein ausgewähltes Halbjahr.

5. Schlußfolgerungen

Mulden-Rigolen-Systeme der vorgeschlagenen Art stellen eine Kombination aus Versickerungs- und Ableitungssystem dar. Sie sind daher — unabhängig von der anstehenden Bodenart — eine allgemein anwendbare Alternative zur herkömmlichen Regenwasserentsorgung. Dieses gilt nicht nur für Neuanlagen sondern gerade und insbesondere für die Sanierung und den Ausbau vorhandener Mischsysteme: Um das Überlaufen der Mischsysteme zu reduzieren, werden derzeit in großem Umfang Speicherbecken gebaut. Dieses ist nicht nur teuer — die Schätzung lautet allein auf die alten Bundesländer bezogen auf 2 Milliarden jährlich und 50 Milliarden insgesamt — sondern hinsichtlich seiner positiven Wirkung auf die Gewässer auch noch ungewiß, weil die Auswirkung der Speicherung auf die Kläranlage unberücksichtigt bleibt und weil die Becken im allgemeinen wesentlich zu klein sind, um auch die großen Überlaufereignisse, die für die Gewässer besonders schädlich sind, signifikant zu reduzieren. Demgegenüber wirken Mulden-Rigolen-Systeme nicht nur abflußdämpfend sondern signifikant abfluß-reduzierend. Weiterhin wird durch Mulden-Rigolen-Systeme das vermieden, was als größter Nachteil des Mischsystems anzusehen ist: die Vermischung des noch relativ sauberen Regenabflusses mit häuslichem und gewerblichen Schmutzwasser. Dieses wird zwar auch durch das herkömmliche Trennsystem vermieden, doch gelangen hierbei die auch im Regenabfluß enthaltenen Schmutzstoffe unreduziert in die Gewässer. Anders beim Mulden-Rigolen-System der vorgeschlagenen Art: Hier wird zunächst zwischen hoch- und geringverschmutztem Regenabfluß unterschieden. Der hochverschmutzte Abfluß wird entweder als Mischwasser über die Kläranlage geleitet oder separat über gedichtete Regenklärmulden (in diesem Aufsatz nicht näher beschrieben) gereinigt dem Gewässer zugeführt. Der geringverschmutzte Regenabfluß wird in der natürlichen Kläranlage „begrünte Mulde“ nachhaltig und auf Dauer (wie ein laufendes BMFT-Forschungsprojekt gezeigt hat) gereinigt.

Das vorgeschlagene Mulden-Rigolen-System kann also zur Realisierung allgemein empfohlen werden. Man sollte jedoch die Ansprüche an den planerischen, baulichen und betrieblichen Aufwand nicht unterschätzen. Schon die Beschreibung der Bemessungsaufgabe (Abschnitt 3) hat gezeigt, daß es sich um eine Ingenieuraufgabe handelt, die über die Bemessung eines Kanalnetzes hinausgeht. Der bauliche Aufwand (und damit die Baukosten) dürften etwa in der Größenordnung eines normalen Ableitungssystems liegen. Der betriebliche Aufwand — also das „Einfahren“ des Systems und seine permanente Unterhaltung — verlangt besondere organisatorische und auch juristische Überlegungen, insbesondere wenn das System über nichtöffentlichen Bereich verläuft (vgl. SIEKER, et al., 1991).

6. Literatur

ATV (1985):
Langzeitsimulation — Begriffsbestimmung unter Berücksichtigung besonderer Anwendungsbereiche
Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.6
Korrespondenz Abwasser 32, 4/85

ATV (1990):
Arbeitsblatt A 138
Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser

Sieker, F.; Uhl, M.; Grotehusmann, D.; Kheil, A. (1991):
Hydrologisch-stadtökologische Studie über künftige Möglichkeiten der Regenwasserentsorgung versiegelter Flächen im Emscher-Einzugsgebiet, Schlußbericht.

ATV (1989):
Überlastungshäufigkeit von Kanalnetzen — Vorschlag zur Festlegung von Grenzwerten für Nachweisberechnungen und Bemessungen
Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.6
Korrespondenz Abwasser 36, 8/89

Anhang

Beispiel zur Dimensionierung eines Mulden-Rigolen-Systems

I. System und Eingangsdaten

Es soll ein Mulden-Rigolen-System bemessen und anschließend der Nachweis der Leistungsfähigkeit durchgeführt werden. Es wird angenommen, daß die Mulden linienförmig zu den jeweils angeschlossenen Flächen (z. B. Reihenhausbebauung) angelegt werden. Die Systemdaten und die Verknüpfung der Einzelelemente sind in Bild A-1 dargestellt. Über der Muldenbezeichnung ist die Länge der Mulde angegeben, die gleichzeitig der Länge der untenliegenden Rigole ist, unter der Muldenbezeichnung die Größe der jeweils angeschlossenen abflußwirksamen Fläche. Rigole 3 und 5 entwässern über eine angeschlossene Rohrleitung in den Vorfluter.

Der Muldenboden habe eine aus Feldversuchen nach dem open-end-Test bestimmte Infiltrationsrate von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Die gesamte Abflußleistung der beiden in den Vorfluter mündenden Rigolen soll maximal 2 l/s betragen (Niedrigwassererhöhung). Die statistische Auswertung der maßgebenden Regenstation ergibt die folgenden für die Bemessung notwendigen Regenspenden in Abhängigkeit der Dauerstufe und des Wiederkehrintervalls.

Dauer	Regenspenden [l/(s ha)]		
	n = 0,1 T = 10	n = 0,2 T = 5	n = 1,0 T = 1
15 min	216,4	185,7	114,2
20 min	179,6	154,0	94,8
30 min	135,9	116,6	71,7
45 min	101,4	87,0	53,5
60 min	81,8	70,2	43,2
90 min	59,9	51,4	31,6
2 h	47,8	41,0	25,2
3 h	34,6	29,7	18,3
4 h	27,4	23,5	14,4
6 h	19,6	16,8	10,3
8 h	15,4	13,2	8,1
12 h	11,0	9,4	5,8

Tabelle 1: Regenspenden [l/(s ha)] in Abhängigkeit der Dauerstufe und des Wiederkehrintervalls

II. Muldenbemessung

Die Muldenbemessung erfolgt in zwei Stufen. In einer Vorbemessung wird nach ATV A 138 unter Vorgabe einer Muldenfläche das erforderliche Muldenvolumen und damit -tiefe nach folgender Beziehung bestimmt:

$$V_M = (A_{\text{red}} + A_S \cdot L) \cdot r_{(n)} \cdot D \cdot 10^{-7} \cdot 60 - A_S \cdot L \cdot k_{\text{fn}} \cdot D \cdot 60$$

Die maßgebende Dauer des Bemessungsregens ist dabei zunächst unbekannt. Sie ergibt sich durch wiederholte Lösung der obigen Gleichung, wobei für $r_{(n)}$ die Regenspende der Dauerstufe D und der Häufigkeit n einzusetzen ist. Maßgebend ist die Regendauer D , für die das größte Speichervolumen ermittelt wird. Damit ist gleichzeitig das benötigte Speichervolumen festgelegt.

Aus der Formel für die Vorbemessung wird deutlich, daß die Versickerungsfläche, bzw. die Versickerungsleistung über die gesamte Ereignisdauer als konstant angesehen wird. Dieses trifft jedoch nur näherungsweise für einen Rechteckquerschnitt zu. In der Praxis wird die Versickerungsleistung von der aktuell benetzten Muldenfläche und damit vom aktuellen Wasserstand beeinflusst. Aus diesem Grund wird im zweiten Bemessungsschritt unter Annahme eines in der Realität eher zutreffenden parabolischen Muldenquerschnittes die sog. Hauptbemessung durchgeführt. Das geschieht unter Berücksichtigung der wasserstandsabhängigen Versickerungsleistung der jeweiligen Mulde. Die Berechnung erfolgt nach einem iterativen Schema, wobei das bei der Vorbemessung bestimmte Muldenvolumen als Initialwert zugrunde gelegt wird.

Die Ergebnisse der Vor- und Hauptbemessung sind in Tabelle 2 bzw. 3 aufgetragen.

Nr.	A_{red} [m ²]	L [m]	A_S [m ² /m]	$r_{(0,1)}$ [l/sha]	D [min]	V_M [m ³]	T [m]	T_E [h]
1	2 900	85	5,0	59,9	90	84,6	0,20	5,5
2	935	40	4,0	59,9	90	26,8	0,17	4,6
3	779	60	5,0	101,4	45	21,4	0,07	2,0
4	1 855	65	5,0	59,1	90	53,0	0,16	4,5
5	1 000	35	6,0	81,8	60	28,1	0,13	3,7

Tabelle 2: Ergebnisse der Vorbemessung der Mulden

Nr.	A_{red} [m ²]	L [m]	A_S [m ² /m]	$r_{(0,1)}$ [l/sha]	D [min]	V_M [m ³]	h_M [m]	T_E [h]	Q_{S_m} [l/s]
1	2 900	85	5,0	59,9	90	90,6	0,35	7,6	3,3
2	935	40	4,0	59,9	90	29,0	0,30	6,4	1,3
3	779	60	5,0	101,4	45	23,6	0,13	2,5	2,6
4	1 855	65	5,0	59,9	90	57,6	0,29	6,3	2,5
5	1 000	35	6,0	81,8	60	30,1	0,23	4,8	1,7

Tabelle 3: Ergebnisse der Hauptbemessung der Mulden

Die gesamte mittlere Versickerungsleistung (Q_{S_m}) aller Mulden beträgt 11,4 l/s.

III. Rigolenbemessung

Die Drosselleistung jeder Rigole wird in Abhängigkeit der jeweiligen mittleren Sickerwassermenge Q_{S_m} aus den Mulden (Muldenvolumen/Entleerungszeit) festgelegt, wobei die Gesamtdrosselleistung aller Rigolen von 2 l/s nicht überschritten werden darf.

$$\begin{aligned} Q_{\text{dr},R1} &= 3,3/11,4 \cdot 2,0 = 0,6 \text{ l/s} \\ Q_{\text{dr},R2} &= 1,3/11,4 \cdot 2,0 = 0,2 \text{ l/s} \\ Q_{\text{dr},R3} &= 2,6/11,4 \cdot 2,0 = 0,5 \text{ l/s} \\ Q_{\text{dr},R4} &= 2,5/11,4 \cdot 2,0 = 0,4 \text{ l/s} \\ Q_{\text{dr},R5} &= 1,7/11,4 \cdot 2,0 = 0,3 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Unter Vernachlässigung der Abflußverzögerung durch die Mulden wird mit der Formel

$$V_R = (A_{\text{red}} + A_S \cdot L) \cdot r_{(n)} \cdot D \cdot 10^{-7} \cdot 60 - (Q_{\text{dr}} + Q_{\text{ex}}) \cdot D \cdot 60/1000$$

für die Wiederkehrhäufigkeiten $n=1$ und $n=0,2$ analog zur Vorbemessung der Versickerungsmulden das jeweilige nutzbare Rigolenvolumen ermittelt. Dabei wird auf der sicheren Seite liegend eine Exfiltration aus den Rigolen nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der Rigolenbemessung sind in Tabelle 4 dargestellt.

Nr.	$A_{\text{red}}+A_S \cdot L$ [m ²]	Q_{dr} [l/s]	$r_{(1,0)}$ [l/sha]	D [min]	V_R (n=1) [m ³]	$r_{(0,2)}$ [l/sha]	D [min]	V_R (n=0,2) [m ³]
1	3 325	0,6	10,3	360	61	9,4	720	109
2	1 095	0,2	10,3	360	20	9,4	720	36
3	1 079	0,5	25,2	120	16	23,5	240	29
4	2 180	0,4	10,3	360	40	9,4	720	71
5	1 210	0,3	14,4	240	21	23,5	240	37

Tabelle 4: Ergebnisse der Rigolenbemessung (n = 1,0 / n = 0,2)

Die Abflußleistung der Drainrohre ($Q_{\text{drä}}$) in den Rigolen wird auf die Summe der maximalen Infiltrationswassermenge ($Q_{S_{\text{max}}} = A_S \cdot L \cdot k_{\text{fm}}$) aller oberhalb liegenden Mulden festgelegt.

$$\begin{aligned} Q_{\text{drä},R1} &= (85 \cdot 5,0 \cdot 1 \cdot 10^{-5} \cdot 1000) = 4,25 \text{ l/s} \\ Q_{\text{drä},R2} &= 4,25 + (40 \cdot 4,0 \cdot 1 \cdot 10^{-5} \cdot 1000) = 5,85 \text{ l/s} \\ Q_{\text{drä},R3} &= 5,85 + (60 \cdot 5,0 \cdot 1 \cdot 10^{-5} \cdot 1000) = 8,85 \text{ l/s} \\ Q_{\text{drä},R4} &= (65 \cdot 5,0 \cdot 1 \cdot 10^{-5} \cdot 1000) = 3,25 \text{ l/s} \\ Q_{\text{drä},R5} &= 3,25 + (35 \cdot 6,0 \cdot 1 \cdot 10^{-5} \cdot 1000) = 5,35 \text{ l/s} \end{aligned}$$

IV. Nachweis der Leistungsfähigkeit

Der Nachweis der Leistungsfähigkeit wird mit einem hydrologischen Niederschlag-Abflußmodell unter Vorgabe einer kontinuierlichen 21jährigen Niederschlagsmeßreihe geführt. Eine Exfiltration aus den Rigolen wird hier nicht berücksichtigt. Es wird angenommen, daß aus den Mulden überlaufende Wassermengen direkt in die darunter liegende Rigole eingeleitet werden. Aus den Rigolen überlaufendes Wasser wird über die nächsten Rigolen zur Vorflut hin abgeleitet.

Bei der Bemessung sind die Rigolen als Einzelelemente angesehen worden. Da in der Realität die einzelnen Rigolen miteinander verbunden sind, muß die Drosselleistung jeder

Nr.	N_{ue} [—]	$Q_{\text{ue,max}}$ [l/s]	ΣV_{ue} [m ³]	ΣD_{ue} [h]
1	1	6	5	0,25
2	1	2	2	0,25
3	0			
4	1	3	3	0,25
5	1	2	2	0,25

Tabelle 5: Nachweis der Leistungsfähigkeit (Mulden) (Simulation über 21 Jahre)

Nr. [—]	N_{ue} [—]	$N_{ue,Dr}$ [—]	$Q_{ue,max}$ [l/s]	ΣV_{ue} [m ³]	ΣD_{ue} [h]	N_{ue} [—]	$N_{ue,Dr}$ [—]	$Q_{ue,max}$ [l/s]	ΣV_{ue} [m ³]	ΣD_{ue} [h]
n = 1,0						n = 0,2				
1	37	2	5	987	202,50	8	1	6	271	47,00
2	35	1	6	1 271	199,25	8	1	7	347	44,50
3	30	0	6	1 151	165,50	8	0	7	317	35,75
4	38	2	4	620	168,75	8	0	3	172	38,00
5	34	2	5	851	149,25	8	1	5	234	32,50

Tabelle 6: Nachweis der Leistungsfähigkeit (Rigolen, n = 1,0 / n = 0,2) (Simulation über 21 Jahre)

Rigole um die Summe der Drosselleistungen der oberhalb angeschlossenen Rigolen erhöht werden.

Die Ergebnisse der kontinuierlichen Langzeitsimulation sind in Tabelle 5 und 6 dargestellt.

Das Mulden-Rigolen-System ist überlastet, wenn bei Vollfüllung der Rigole die zulaufende Wassermenge nicht mehr über das Drainrohr abgeführt werden kann. Aus Tabelle 6 ist ersichtlich, daß dieser Fall maximal 2 mal (Rigolenbemessung mit n=1) bzw. 1 mal (Rigolenbemessung mit n=0,2) auftritt. Das entspricht bei einer Simulation über 21 Jahre einer Wiederkehrhäufigkeit von n=0,010 bzw. n=0,005 auf das Gesamtsystem bezogen. Damit wird die zulässige Wiederkehrhäufigkeit von n=0,01 entsprechend einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren erreicht, bzw. unterschritten. Der Nachweis der Leistungsfähigkeit ist somit erbracht. Bei einer Überlastungshäufigkeit von 1mal in 21 Jahren sollte das zugrunde liegende Ereignis zusätzlich analysiert werden. Damit soll ausgeschlossen werden, daß es sich um ein „Jahrhundertereignis“ handelt, dessen Wiederkehrhäufigkeit bei der zugrunde liegenden Regenreihe über 21 Jahre nicht zutreffend bestimmt werden kann.

Interessant ist, daß die Leistungsfähigkeit des Gesamtnetzes sowohl für eine Rigolendimensionierung mit n=0,2 als auch mit n=1 gegeben ist, obwohl das nutzbare Speichervolumen der Rigolen im letzten Fall im Mittel um den Faktor 0,55 geringer ist als im ersten (vgl. Tabelle 4). Der Speicherraum der Rigolen ist bei Dimensionierung auf n=1 zwar weitaus häufiger ausgelastet (mittleres N_{ue} =35) als für n=0,2 (mittleres N_{ue} =8), jedoch können auch hier die Überlaufwassermengen durch die Drainrohre abgeführt wer-

den, so daß der Nachweis der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems erbracht ist. Positive Auswirkung auf die Niedrigwassererhöhung ist mit beiden Varianten zu erzielen. Die Rigolen führen im Mittel an 279 (n=1) bzw. an 314 (n=0,2) Tagen im Jahr Wasser.

V. Verwendete Bezeichnungen:

A_{red}	angeschlossene abflußwirksame Fläche [m ²]
A_S	Fläche der Versickerungsmulde pro lfd. m [m ² /m]
D	Dauer des jeweiligen Bemessungsregens [min]
ΣD_{ue}	Summe der Überlaufdauer = Zeitraum der Entlastung über die Drainrohre [h]
h_M	Tiefe der Versickerungsmulde bzw. Muldenwasserstand [m]
h_{R}	Höhe der Rigole bzw. Rigolenwasserstand [m]
k_{fM}	Durchlässigkeit des Muldenbodens [m/s]
k_{fR}	Durchlässigkeit des die Rigolen umgebenden Bodens [m/s]
L	Länge der Mulden/Rigolen [m]
N_{ue}	Anzahl der Überlaufereignisse (bei Mulden = Anzahl der Entlastungen in die Rigole, bei Rigolen = Anzahl der Entlastungen durch das Drainrohr) [—]
$N_{ue,Dr}$	Anzahl der Überschreitungen der max. Drainrohrkapazität = Anzahl der Überlastungen des Gesamtsystems [—]
Q_{dr}	Drosselabfluß aus der Rigole [l/s]
$Q_{drä}$	Abflußleistung des Drainrohrs [l/s]
Q_{ex}	Exfiltrationsleistung aus der Rigole [l/s]
Q_S	Versickerungsleistung der Mulde [l/s]
Q_{Sm}	mittlere Versickerungsleistung der Mulde [l/s]
Q_{Smax}	maximale Versickerungsleistung der Mulde [l/s]
$Q_{ue,max}$	max. Überlaufwassermenge aus den Mulden/Rigolen [l/s]
$r_{(n)}$	Regenspende der Wiederkehrhäufigkeit n [l/sha]
T_E	Entleerungszeit der Mulde [h]
V_M	Volumen der Mulde [m ³]
V_R	nutzbares Volumen der Rigole [m ³]
ΣV_{ue}	Summe der Überlaufwassermenge (über Drainrohre abgeführt) [m ³]