

Abschlussbericht

zum

Forschungsvorhaben

„Sanierung von Abwasserleitungen und –kanälen unter besonderer Berücksichtigung der Vermeidung von Vernässung der angeschlossenen Liegenschaften“

im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und
Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen

– Förderkennzeichen IV – 9 042 394–

Projektbeteiligte:

Antragsteller: Abwasserwerk der Stadt Altena (Westf.)

Projektpartner: S & P Consult GmbH, Bochum

Füllung Beratende Geologen GmbH (Geologie / Hydrogeologie), Remscheid

Bochum, Juni 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Veranlassung des Forschungsprojektes	4
1.2	Generelle Problemstellung	8
1.3	Problemstellung und Situation in der Stadt Altena	10
1.4	Ziele des Forschungsvorhabens	14
1.5	Vorgehensweise und Leistungsprogramm des Projektes	15
2	Fremdwasser in technischer und rechtlicher Hinsicht	15
2.1	Fremdwasser in technischer Hinsicht	15
2.2	Fremdwasser in rechtlicher Hinsicht	42
3	Konzeptionelle Entwicklung von möglichen Maßnahmen zur Verhinderung des Anstiegs des Grundwasserspiegels, Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser und Maßnahmen zur Vermeidung von Grundwasserableitungen zu den Liegenschaften unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen	47
3.1	Anforderungen gem. den allgemein anerkannten Regeln der Technik	48
3.2	Bauliche Maßnahmen zur Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs, Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser und Maßnahmen zur Vermeidung von Grundwasserableitungen zu den Liegenschaften unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen	106
4	Bestandsaufnahme und Untersuchungs- / Messprogramme	158
4.1	Bestandsaufnahme und durchgeführte Untersuchungs- / Messprogramme	158
4.2	Entwässerungssituation der Stadt Altena	189
5	Festlegung von Lösungsansätzen und Konkretisierung der geplanten In-situ – Umsetzung in den Gebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“	225

5.1	Allgemeines	225
5.2	Bewertungsmatrix auf Grundlage der Nutzwertanalyse	227
5.3	Vorbereitung geeigneter Beweissicherungsmaßnahmen	241
6	Planung der Erneuerungsmaßnahmen in den Gebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“	242
6.1	Allgemeines	242
6.2	Auflagerung und Bettung der Rohrleitungen	243
6.3	Verlegeverfahren und -technik	245
6.4	Evaluierung RSS-Schachtsystem und Einbettung der Kanäle in Bodenmörtel (Konsultation des Herstellers wg. Planung und Ausführung)	250
6.5	Vorbereitung der Vergabe der erforderlichen Bauarbeiten	255
6.6	Wasserrechtliche Genehmigungen	255
7	Ausblick und Perspektiven auf nachfolgende Projekt- und Arbeitsschritte	255
7.1	Begleitung der Inspektion der Hausanschlussleitungen, Klassifizierung und Bewertung des baulichen Zustands der Hausanschlussleitungen und Koordinierung der privaten und öffentlichen Sanierungsmaßnahmen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 752-5 [70]	256
7.2	Ausführung der Sanierungsarbeiten in den Untersuchungs-gebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“	257
7.3	Analyse der Auswirkungen der getroffenen Maßnahmen auf die Grundwasserstände nach erfolgter Sanierung	257
7.4	Dokumentation sowie Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Ausschreibungsbausteinen für Kanalnetzbetreiber in NRW	259
8	Literatur	261

1 Einleitung

1.1 Veranlassung des Forschungsprojektes

Entwässerungssysteme dienen zur Sammlung und Ableitung von Abwasser in Form von Schmutz- und/oder Regenwasser. Sie umfassen nach DIN EN 752-1 [1] den Bereich, *„wo das Abwasser das Gebäude bzw. die Dachentwässerung verlässt oder in einen Straßenablauf fließt, bis hin zu dem Punkt, wo das Abwasser in eine Behandlungsanlage oder einen Vorfluter eingeleitet wird. Abwasserleitungen und -kanäle unterhalb von Gebäuden sind hierbei eingeschlossen, solange sie nicht Bestandteil der Gebäudeentwässerung sind“*.

Die überwiegende Anzahl der Entwässerungssysteme ist als Freispiegelsystem im Misch- oder Trennsystem (s. Bild 1) ausgebildet, bei dem nach DIN EN 752-1 [1] *„der Abfluss durch Schwerkraft erfolgt und bei dem die Leitung üblicherweise mit Teilfüllung betrieben wird“*.

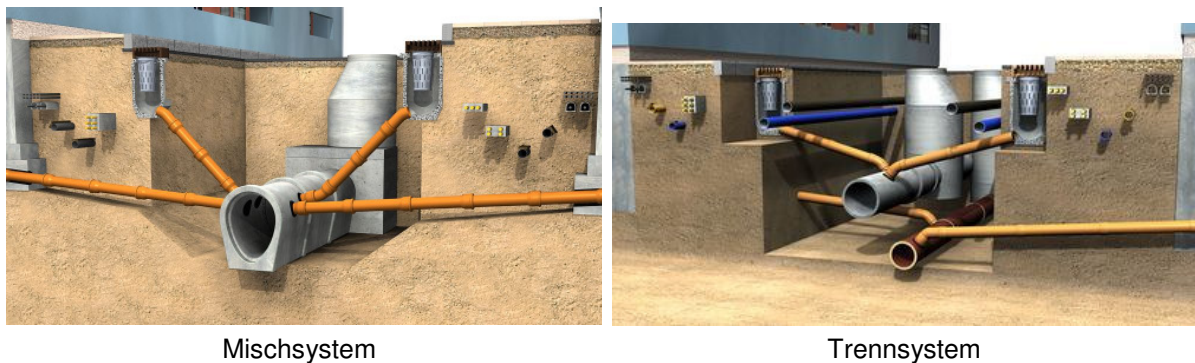


Bild 1 Entwässerungsverfahren (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Unter einem Mischsystem versteht man nach DIN EN 752-1 [1] ein *„Entwässerungssystem, bestehend aus einem einzigen Leitungs-/Kanalsystem zur gemeinsamen Ableitung von Schmutz- und Regenwasser“*. Aufgrund der begrenzten Leistungsfähigkeit der Kläranlagen werden Regenwasserentlastungsanlagen (z.B. Regenüberlaufbecken, Regenüberläufe usw.) angeordnet.

Ein Trennsystem ist ein *„Entwässerungssystem, üblicherweise bestehend aus zwei Leitungs-/Kanalsystemen für die getrennte Ableitung von Schmutz- und Regenwasser“*.

Für die Schmutzwasserableitung sind auch besondere Systeme, wie z.B. die Druck- oder Unterdruckentwässerung einsetzbar [1]. Die Einleitung des Regenwassers erfolgt beim Trennsystem direkt über Regenauslässe oder über Regenwasserbehandlungsanlagen (z.B. Regenklärbecken) in den Vorfluter.

Die Gesamtlänge der öffentlichen Abwasserkanäle in der Bundesrepublik Deutschland betrug im Jahre 2004 ca. 486.159 km (Misch- und Trennwasserkanäle). Hinzu kommen etwa 970.000 km Abwasserleitungen auf Grundstücken und eine entsprechende Anzahl von (Einsteig-) Schächten und anderen Bauwerken der Kanalisation [2].

Im Interesse des Umweltschutzes und insbesondere des Gewässerschutzes haben die Hauptaktivitäten in den letzten Jahrzehnten beim Bau von Einrichtungen der Abwasserbehandlung oder -beseitigung und deren kontinuierlicher Verbesserung gelegen. Das Ergebnis dieser Aktivitäten wird durch die heute in Betrieb befindliche vierte Generation von Kläranlagen eindrucksvoll dokumentiert. Im Gegensatz dazu ist den Entwässerungssystemen bisher nicht in jedem Fall die notwendige Aufmerksamkeit gewidmet worden. Folgen davon sind, dass einerseits in vielen Kommunen nicht nur in Nordrhein – Westfalen noch heute überalterte und den modernen Anforderungen nicht mehr genügende Abwasserleitungen und -kanäle in Betrieb sind und andererseits ein nicht unerheblicher Prozentsatz Mängel, Schäden oder sonstige Unzulänglichkeiten aufweist. Nach Erhebungen der DWA [2] sind die am häufigsten auftretenden Schadensbilder schadhafte Anschlüsse (20% der Gesamtschäden) und Risse (17%). Ein wesentliches Schadensbild sind außerdem undichte Muffen (11%). Vorgenannte Schadensbilder können die Funktionsfähigkeit der Abwasserleitungen und -kanäle u.U. stark beeinträchtigen und im Extremfall bei Undichtigkeiten zu Verunreinigungen des Grundwassers und des Bodens sowie zum Einsturz der Kanäle, verbunden mit Straßeneinbrüchen und Gefährdungen des Verkehrs, der Bebauung sowie des Bewuchses führen [3, 4].

Liegen undichte Abwasserleitungen und -kanäle, die als Freispiegelsystem betrieben werden (der Abfluss erfolgt üblicherweise mit Teilfüllung durch Schwerkraft [5]), ständig oder zeitweise im Grundwasser, kommt es – zumindest im Trockenwetterfall - zu Grundwasserinfiltrationen (s. Bild 2), wobei gleichzeitig auch Bodenmaterial aus der Leitungszone mit eingespült werden kann [6].



Bild 2 Grundwasserinfiltration in einen Abwasserkanal über eine undichte Mauerwerksfuge (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Schadensfolgen der Infiltration können, vgl. auch [7], bspw. sein:

- Absenkung des Grundwasserspiegels, Verringerung der Grundwasserneubildung
- Wurzeleinwuchs
- Änderung der Bettungsbedingungen mit Folgeschäden wie Lageabweichungen, Deformationen / Verformungen, Risse, Rohrbrüche
- Hohlraumbildung, verbunden mit Senkungen oder Setzungen und Einstürzen der Straßenoberflächen
- Schädigende Auswirkungen auf Leitungen, Bauwerke (ggf. einhergehend mit gesundheitlichen Gefährdungen) oder Straßenoberbau und Bewuchs
- Verfestigte Ablagerungen
- Erhöhung des Fremdwasseranteils.

Infiltrierendes Grundwasser zählt zur Kategorie des Fremdwassers und ist somit ein unerwünschter Bestandteil des abzuleitenden Schmutzwassers [8, 9, 10, 11]. Nach DIN 4045 [12] versteht man unter Fremdwasser in die Kanalisation eindringendes

Grundwasser (Undichtigkeiten), unerlaubt über Fehllanschlüsse eingeleitetes Wasser (z.B. Dränwasser, Regenwasser) sowie einem Schmutzwasserkanal zufließendes Oberflächenwasser (z.B. über Schachtabdeckungen).

Nach Klass [10] war in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts in der Bundesrepublik Deutschland von einem Durchschnittswert des Fremdwasserzuflusses in die Kanalisation von 80 l bis 127 l je Einwohner und Tag auszugehen. Folgen der Erhöhung des Fremdwasseranteils sind

- hydraulische Mehrbelastung / ggf. Überlastung der Kanäle, Entlastungsbauwerke, Pumpwerke (längere Pumpenlaufzeiten, höherer Energiebedarf und Verschleiss) oder Kläranlagen ¹
- erhöhte Abrasion in den Rohrwandungen und den Pumpen durch Bodenpartikel
- Erhöhung der Schadstofffracht in die Vorfluter, z.B. durch häufigere und längere Abschlüge aus dem Kanalnetz
- Innenkorrosion oder die Bildung von Inkrustationen in Abwasserleitungen und -kanäle in Abhängigkeit der Zusammensetzung des Fremdwassers
- erhöhter Wartungsaufwand
- Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Kläranlagen, bspw. durch Erhöhung des zu behandelnden Abwasservolumenstroms bei gleichzeitiger Verringerung der Zulaufkonzentration, verringerte Temperatur oder erhöhte Stickstoffkonzentration des Abwassers (zeitweise kann die Fremdwasserbelastung so hoch sein, dass eine ordnungsgemäße Abwasserreinigung nicht mehr sichergestellt ist)
- Erhöhung der Kosten für Abwassertransport und Abwasserreinigung und der Aufwendungen für die Abwasserabgabe und damit letztendlich der Abwassergebühren.

¹ Sofern Fremdwasser bei der Dimensionierung der Abwasseranlagen pauschal, aber zu hoch berücksichtigt wurde, kann sich auch eine hydraulische Minderbe- oder Unterlastung mit entsprechenden Folgen ergeben

Die hydraulische Überlastung der Kanalisationen, Entlastungsbauwerke und Kläranlagen, die Erhöhung der Schadstofffracht in die Vorfluter und die beeinträchtigte Funktionalität von Kläranlagen stehen im Widerspruch zum Gewässerschutz und dem Ziel, die Güte der Gewässer in Deutschland weiter zu verbessern.

Dem vorbeschriebenen Zustand wird seit einiger Zeit mit großem technischen und finanziellen Aufwand entgegengesteuert.

1.2 Generelle Problemstellung

Die in Abschnitt 1.1 beschriebenen Folgen undichter Kanalisationen sind in den vergangenen Jahren zunehmend in den Blickpunkt der Öffentlichkeit geraten. Aufgrund eines gesteigerten Umweltbewusstseins und erhöhter gesetzlicher Anforderungen sind in den Kommunen der Bundesrepublik Deutschland bereits umfangreiche Sanierungsprogramme eingeleitet worden mit dem Ziel, Leckagen abzudichten und damit Grundwasserinfiltrationen auszuschließen.

Planung und Durchführung dieser Maßnahmen erfolgen zurzeit fast ausschließlich unter dem Aspekt der Behebung der festgestellten Einzelschäden in Rohrverbindungen, Rohren oder Haltungen. Obwohl lokale Ansätze zumeist nur eine kurzfristige oder eingeschränkte Wirkung hinsichtlich der Fremdwasserbeseitigung haben, findet eine ganzheitliche Betrachtung von Netzbereichen oder des kompletten Entwässerungsnetzes, auch unter Einbeziehung der privaten Grundstücksentwässerungsleitungen und unter Berücksichtigung der hydraulischen, baulichen und umweltrelevanten Anforderungen, bisher kaum statt.

Obwohl z.B. bei einer Umfrage der BWK – Arbeitsgruppe 4.1 „Nutzungskonflikte bei hohen Grundwasserständen – Lösungsansätze“ 6% der befragten Kommunen als Ursache für hohe Grundwasserstände „die Sanierung / Abdichtung und damit Fremdwasserverringerung im Bereich der öffentlichen Kanalisation“ [13] benannten, werden in der Regel mögliche Auswirkungen der Kanalsanierung auf Hydrogeologie, Hydrologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs infolge der verhinderten Infiltration von Grundwasser in die Kanäle bei der Planung vernachlässigt. In Gebieten, in denen undichte Abwasserleitungen und -kanäle als Dränageleitungen wirken und den Grundwasserspiegel z.T. großflächig – gerade auch über einen längeren Zeitraum -

abgesenkt haben, ist nach einer Kanalsanierung – bspw. durch Abdichtung von Rissen und Rohrverbindungen, Beseitigung von Fehlschlüssen, Erneuerung etc. - mit einem entsprechend großflächigen, beträchtlichen Wiederanstieg des Grundwasserspiegels zu rechnen [14]. Die generelle Problemstellung ist schematisch im Bild 3 dargestellt.

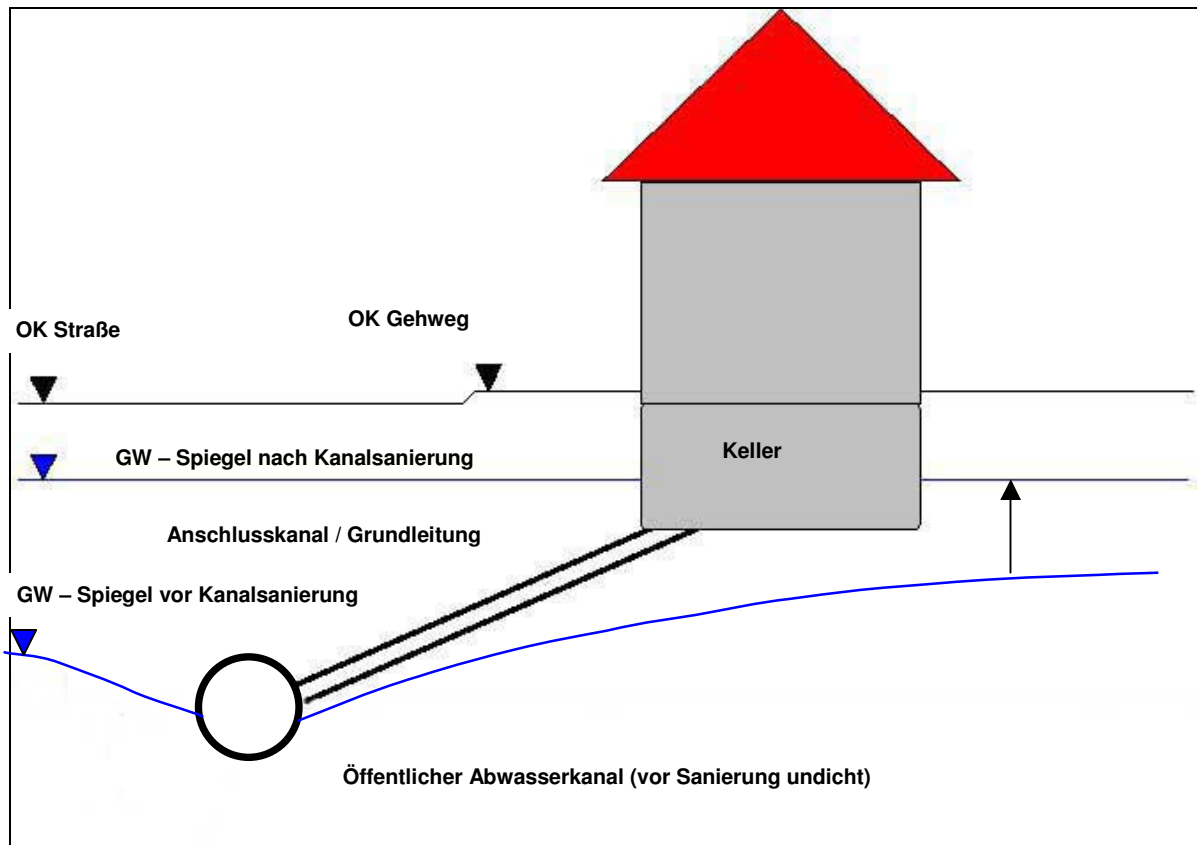


Bild 3 Generelle Problemstellung der Auswirkungen der Kanalsanierung auf das Grundwasser

Folgen des Grundwasseranstiegs können z.B. Schäden an benachbarten Leitungen und Baukörpern durch Hebungs- oder Senkungserscheinungen im Boden, durchfeuchtete bzw. durchnässte oder sogar überflutete Kellerräume, Schädigungen am Bewuchs durch Wassersättigung der Wurzelzonen oder auch die Mobilisierung von Schadstoffen sein [13]. Diese Folgen können u.U. mit enormen volkswirtschaftlichen und ökologischen Schäden verbunden sein [14, 15].

Bei der generellen Problemstellung ist zu berücksichtigen, dass - z.B. infolge klimatischer Veränderungen oder verringerter Grundwasserentnahmen durch öffentliche oder gewerbliche Wasserversorgungsanlagen - Sondereinflüsse auf den Wiederanstieg des Grundwasserspiegels hinzukommen können.

Die Notwendigkeit der Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen ist von der Bevölkerung generell akzeptiert worden. In den Fällen, in denen eine Sanierung jedoch mit einem Anstieg des Grundwasserspiegels und den damit verbundenen Folgeschäden - insbesondere der Vernässung von Gebäudekellern - einhergeht, besteht die Gefahr, dass ein folgenreicher Interessenskonflikt bei der Beurteilung der Wertigkeit der Schutzgüter aus Sicht der öffentlichen Hand (Grundwasser / Boden / Oberflächengewässer) und aus Sicht der Privatpersonen (Haus / Grundstück / Gegenstände) entsteht.

Die DWA weist darauf hin [2], dass ein erheblicher Sanierungsbedarf auch für die Grundstücksentwässerung besteht, der nach Möglichkeit in Verbindung mit der Sanierung der öffentlichen Kanalisation abgebaut werden sollte. Wenn die private Grundstücksentwässerung [12] nicht in die Sanierungsmaßnahmen eingebunden wird, kann – insbesondere bei hohen Grundwasserständen – der Erfolg der Sanierungsmaßnahmen in der Kanalisation im Hinblick auf die Fremdwasserproblematik konterkariert werden, wenn mit Anstieg des Grundwasserspiegels Grundwasser in undichte Anschlusskanäle / Grundleitungen (Definitionen nach [16]) oder heute inaktive Dränageleitungen eindringt und der Kanalisation doch wieder als Fremdwasser Zutritt.

1.3 Problemstellung und Situation in der Stadt Altena

Die **Stadt Altena** (rd. 21.200 Einwohner, Stand: Januar 2008 [17]) arbeitet seit 1990 an einem umfangreichen Programm zur Sanierung schadhafter Abwasserleitungen und -kanäle. Dieses gründet sich auf in Überarbeitung befindliche Abwasserbeseitigungskonzepte bzw. Generalentwässerungspläne, welche die im Rahmen der Selbstüberwachung gemäß Selbstüberwachungsverordnung Kanal SöwVKan NRW [18] gewonnenen Inspektionsdaten berücksichtigen.

Neben der Beseitigung von statisch relevanten Schäden und einer ggf. erforderlichen Anpassung der hydraulischen Leistungsfähigkeit steht insbesondere die Reduzierung des Fremdwasseraufkommens durch Grundwasserinfiltrationen im Vordergrund, da Untersuchungen des Abwasserwerkes der Stadt Altena ergeben haben, dass die abzuführende Fremdwassermenge das über 2,5-fache der eigentlich abzuleitenden

Schmutzwassermenge beträgt, was einem Fremdwasseranteil von rd. 70% bzw. einem Fremdwasserzuschlag von ca. 250% entspricht. Darin sind u.a. auch die in Altena im Vergleich mit anderen Kommunen in Nordrhein – Westfalen sehr hohen Abwassergebühren begründet. In Altena betrugen diese im Jahr 2001 3,63 € / m³ (Einheitsgebührensatz), wohingegen z.B. in der Gemeinde Senden (Kreis Coesfeld) mit ca. 20.000 Einwohnern 2001 ein Einheitsgebührensatz von 1,52 € / m³ [19] galt. Im Juni 2004 lag gem. mdl. Mtt. des Abwasserwerkes der Stadt Altena die Abwassergebühr bei 4,13 € / m³. Nach aktuelleren Erhebungen [20] stiegen die Abwassergebühren in Altena im Jahr 2005 auf 4,29 € / m³ (+ 3,9%), während sie in der Gemeinde Senden nunmehr 1,67 € / m³ betrugen. Im Jahr 2006 war in Altena ein weiterer Anstieg der Abwassergebühr um 2,3% auf 4,39 € / m³ zu verzeichnen [21], in der Gemeinde Senden (Kreis Coesfeld) lag sie in diesem Jahr nach wie vor bei 1,67 € / m³. Auch wenn Abwassergebühren regional nur begrenzt vergleichbar sind, da verschiedene Faktoren regional unterschiedlicher Ausprägung auf die Höhe der Gebühren einwirken, belegen auch andere, relativ neue Untersuchungen [22], dass die Abwassergebühr in Altena im Vergleich mit den Abwassergebühren von Kommunen ähnlicher Einwohnerzahl sehr hoch ist.

Aus den Angaben des DWA Erfahrungsaustausches der Großstädte [29] im Jahr 2000 sind für ausgewählte Städte und Gemeinden Deutschlands die Fremdwasserabflussspenden im Bild 4 dargestellt. Man erkennt, dass sich der Fremdwasseranfall von Münster in einer Größenordnung von 0,005 l/(s·h_{red}) bis hin zu 0,53 l/(s·h_{red}) in Essen bewegt. Die Stadt Altena stellt die Kommune mit der zweitgrößten Fremdwasserabflussspende im Mittel mit 0,34 l/(s·h_{red}) der befragten Kommunen dar. Weiterhin ist ersichtlich, dass die Fremdwasserabflussspenden der Stadt Altena und von weiteren der 7 befragten Kommunen nicht im planerischen Bereich von 0,05 bis 0,15 l/(s·h_{red}) nach Arbeitsblatt ATV-A 128 [23] liegen und weitaus überschritten werden. Auch Pecher [24] weist darauf hin, dass Fremdwasserabflussspenden in dieser Größenordnung in bebauten Gebieten keine Seltenheit sind [29].

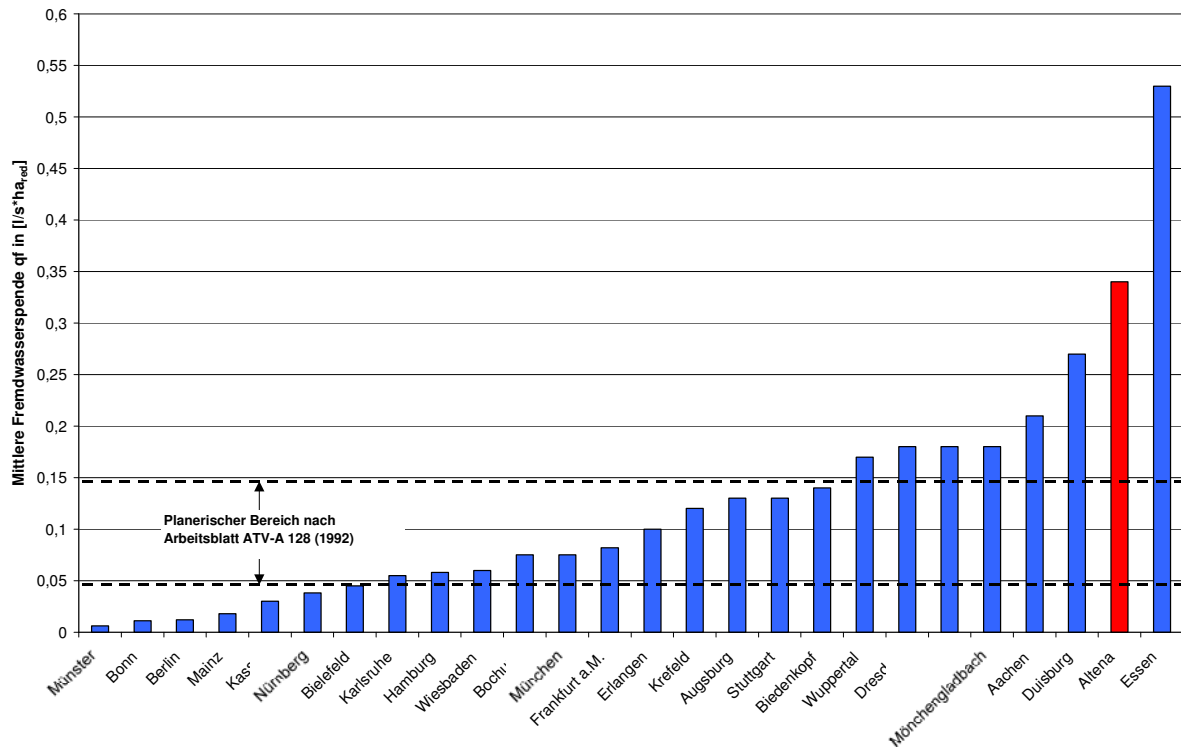


Bild 4 Fremdwasserabflussspenden ausgewählter Städte in Deutschland [29]

Erfahrungen der Stadt Altena zeigen, dass auf Grund der besonderen geologischen Verhältnisse (oberflächennah anstehender Felshorizont aus einer Wechsellagerung von aufgelockerten, grundwasserführenden Sandsteinen und grundwasserstauenden Ton- und Schluffsteinen, überlagert von mehrere Meter mächtigen, grundwasserleitenden verlehnten Bachschottern in Tallagen und von Hangschuttschichten) zu erwarten ist, dass bereits kurze Zeit nach einer Sanierung eine Vielzahl von Anliegern über Kellervernässungen – vornehmlich im Übergangsbereich zwischen Hausanschluss und Grundleitung – klagen wird.

Dies ist darin begründet, dass mit der Abdichtung des städtischen Abwasserkanals dessen Dränagewirkung verloren geht und der Grundwasserspiegel wieder ansteigt. Die vorhandenen oder im Rahmen von Erneuerungsmaßnahmen mit verdichtungsfähigem, nichtbindigem Material verfüllten Leitungsgräben für die Anschlusskanäle / Grundleitungen bzw. Hausanschlüsse wirken grundwasserleitend und das Grundwasser kann über sie in die anstehenden, geringer durchlässigen oder undurchlässigen Gesteine in die Keller der angeschlossenen Liegenschaften eindringen. Die Keller mussten bisher vor den Sanierungsmaßnahmen i.d.R. nicht besonders gegen Feuchtigkeitszutritt abgedichtet werden bzw. es waren keine

Wasserhaltungsmaßnahmen mehr erforderlich, da bis zur Sanierung der städtische Abwasserkanal eine entsprechende Absenkung des Grundwasserspiegels bewirkte.

Die in Folge der Sanierungsmaßnahmen zu erwartenden Feuchtigkeitsschäden werden gegen die Stadt Altena geltend gemacht, da die Sanierung des städtischen Abwasserkanals von den Haus- bzw. Grundstückseigentümern als Ursache für den Grundwasserzutritt angesehen werden wird. Einen entsprechenden Präzedenzfall gab es bspw. bereits im Jahre 1996, nachdem die Stadt Altena einen Abwasserkanal in der Kirchstraße erneuert hatte und Anlieger bzw. Haus- / Grundstückseigentümer später über weitreichende Überschwemmungen des Erd- und Kellergeschosses geklagt hatten [25].

Aus heutiger Sicht handelt es sich bei der Kanalsanierung um einen notwendigen Vorgang, bei dem der natürliche Zustand wiederhergestellt wird, der durch einen nach derzeitigem Wasserrecht zumeist unzulässigen Eingriff (Benutzung) in das Grundwasser gestört wurde.

Die dargestellte Problematik darf die Stadt Altena daher nicht daran hindern, die gesetzlich vorgeschriebene und aus umweltschutztechnischen sowie volkswirtschaftlichen Gründen (Senkung der Abwasserabgabe und -gebühr) dringend erforderliche Sanierung undichter Abwasserkanäle und -leitungen fortzuführen.

In Anbetracht der o.g. Problematik bewilligte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen der Stadt Altena im Mai 2003 einen Zuschuss zu dem im Januar 2003 beantragten Forschungsprojekt „Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen unter besonderer Berücksichtigung der Vermeidung von Vernässung der angeschlossenen Liegenschaften“.

Projektpartner sind:

- S & P Consult GmbH (bis 01.09.2006: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH), Bochum
- Füllung Beratende Geologen GmbH aus Wuppertal (Geologie / Hydrogeologie).

1.4 Ziele des Forschungsvorhabens

Der mit der Kanalsanierung entstehende Interessenskonflikt – gesetzlich vorgeschriebener Schutz von Grundwasser und Boden gegenüber Vermeidung der Beeinträchtigung von Schutzgütern Dritter – hat die Stadt Altena veranlasst, ein Forschungsvorhaben zu initiieren, um zu klären, wie die Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen realisiert und gleichzeitig eine Vernässung der angrenzenden Liegenschaften vermieden und somit der zuvor beschriebene Interessenskonflikt umweltverträglich und für alle Beteiligten zufriedenstellend und wirtschaftlich gelöst werden kann.

Konkretes Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, geeignete bauliche Maßnahmen zur Vermeidung

- des Anstiegs des Grundwasserspiegels bzw.
- von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben

zu entwickeln, welche im Zuge der Erneuerung der Trenn- bzw. Mischkanalisation zur Verhinderung der Vernässung der Liegenschaften bzw. der Keller der angrenzenden Bebauung eingesetzt werden können. Diese Maßnahmen können erforderlichenfalls auch auf die vorhandenen Leitungsgräben für die Anschlusskanäle / Grundleitungen bzw. Hausanschlüsse (z.B. Gas, Wasser) angewendet werden, wenn davon auszugehen ist, dass nach der Sanierung der Abwasserkanäle hier Grundwasserwegigkeiten auftreten und eine Vernässung der Liegenschaften verursachen. Generell waren dabei als Folge der Kanalsanierung zum einen ständig sehr hohe Grundwasserspiegel und zum anderen stark schwankende Grundwasserspiegel, bedingt durch jahreszeitliche Niederschlagsschwankungen, in Betracht zu ziehen.

Als mögliche Lösung sollte eine nachträgliche Abdichtung der Gebäude gegen drückendes Grundwasser ausgeschlossen werden, da diese von den Liegenschaftsbesitzern und Hauseigentümern

- rechtlich nicht eingefordert werden kann und
- auf Grund des finanziellen Aufwandes von Vornherein ausgeschlossen werden muss.

1.5 Vorgehensweise und Leistungsprogramm des Projektes

Für die Realisierung des Forschungsvorhabens war gemäß dem Forschungsantrag das folgende Arbeitsprogramm vorgesehen:

- Konzeptionelle Entwicklung von möglichen Maßnahmen zur Verhinderung des Anstiegs des Grundwasserspiegels bzw. zur Vermeidung von Grundwasserableitungen zu den Liegenschaften unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen
- Bestandsaufnahme und Messprogramm
- Festlegung von Lösungsansätzen und Konkretisierung der geplanten In-Situ-Umsetzung in der „Nettestraße“ bzw. „Im Steinwinkel“
- Planung der Erneuerungsmaßnahme in der „Nettestraße“ bzw. „Im Steinwinkel“.

2 Fremdwasser in technischer und rechtlicher Hinsicht

2.1 Fremdwasser in technischer Hinsicht

2.1.1 Definition von Fremdwasser

Neben Schmutz- und/oder Regenwasser wird ungewollt auch Fremdwasser im Misch- und Trennsystem abgeleitet. Wie bereits im Abschnitt 1.1 erläutert, wird Fremdwasser in der DIN 4045 [12] definiert als *„in die Kanalisation eindringendes Grundwasser (Undichtigkeiten), unerlaubt über Fehllanschlüsse eingeleitetes Wasser (z.B. Dränwasser, Regenwasser) sowie einem Schmutzwasserkanal zufließendes Oberflächenwasser (z.B. über Schachtabdeckungen)“*. Hauptursache für infiltrierendes Grundwasser sind Schäden in Form von Undichtigkeit, verursacht durch eine nicht nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erfolgte Bauausführung bei neuverlegten Kanälen oder als Folge anderer Schäden bei bestehenden Kanälen [8, 9, 10, 11].

In der derzeit gültigen DIN EN 752 Teil 1 [1], die als teilweiser Ersatz der DIN 4045 vorgesehen ist, wird Fremdwasser als *„unerwünschter Abfluss in einem Entwässerungssystem“* definiert.

Die Definition der DIN EN 752, Teil 1 [1] wurde in das ATV – Arbeitsblatt A 118 [26] *„Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“* übernommen und dort ebenfalls als *„unerwünschter Abfluss in einem Entwässerungssystem“* definiert.

Die Problematik dieser Definition liegt darin, dass der Begriff „unerwünscht“ subjektiv ist. So ist Fremdwasser in Abwasserreinigungsanlagen und Regenbecken stets unerwünscht, es kann aber beim Betrieb von Kanälen im Hinblick auf eine verbesserte Wandschubspannung ($\tau_0 > 1 \text{ N/m}^2$) manchmal erwünscht sein.

Auch bei Pfeiff [27] ist Fremdwasser ein nicht erwünschter Abfluss, wobei näher definiert wird, wann ein Abfluss nicht erwünscht ist: *„Fremdwasser sind Wasserabflüsse, die in dem jeweiligen Kanalsystem nicht erwünscht, da sie dieses und die Abwasserreinigung unnötig belasten, wobei die Belastung einer Abwasseranlage dann unnötig ist, wenn die Qualität des einleitenden Wassers besser ist als der Ablauf der Abwasserreinigungsanlage“*.

Die umfangreichste Definition des Fremdwassers findet man im Arbeitsbericht der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“ [48]:

„Fremdwasser ist das in Abwasseranlagen abfließende Wasser, welches weder durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert ist noch bei Niederschlägen von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt und gezielt eingeleitet wurde. Fremdwasser erfordert auf Grund seiner Qualität keine Abwasserbehandlung, erschwert diese bzw. belastet auf Grund seiner Quantität Abwasseranlagen unnötig und ist unter dem Aspekt des Gewässerschutzes unerwünscht“.

Für die Erarbeitung von Sanierungsmaßnahmen und –strategien für fremdwasserbelastete Gebiete sind im Sinne des Gewässerschutzes Kenntnisse über die Herkunft des Fremdwassers erforderlich. Sobald die entscheidenden Gründe für das Auftreten von Fremdwasser in Kanalisationen bekannt sind, lassen sich gezielt

Strategien entwickeln, um dem unerwünschten Eindringen entgegenzuwirken. Fremdwasserabflüsse können durch geeignete Sanierungsmaßnahmen reduziert und in Einzelfällen sogar vollständig vermieden werden [28]. Insofern liegt die Ermittlung der Herkunft vorhandener Fremdwasserabflüsse im unmittelbaren Interesse von Planern und Betreibern in der Siedlungswasserwirtschaft.

2.1.2 Herkunft des Fremdwassers

Das eingeleitete Fremdwasser in Misch- und Trennsystemen stammt überwiegend aus den in Tabelle 1 aufgeführten Quellen:

Tabelle 1 Quellen von Fremdwasser in Kanälen verschiedener Entwässerungssysteme [29]

Quellen des Fremdwassers		beeinflusst durch (...)	Fremdwasserquelle im (...)		
			Mischsystem	Schmutzwasserkanal	Regenwasserkanal
Undichtigkeiten	kommunale Abwasserkanäle und Schachtbauwerke	Grundwasser	•	•	•
	Hausanschlüsse / Hausanschlussleitungen und Grundstücksentwässerungsleitungen	Grundwasser	•	•	•
Fehlanschlüsse und Fehleinleitungen	Dränagen (Grundstücke, Baustellen, landwirtschaftliche Flächen, unter Abwasserkanälen verlegte Dränagen)	Niederschlag Grundwasser	•	•	
	durch die Öffnungen von Schachtdeckeln zufließendes Oberflächenwasser				
	Überläufe vom Regenwasser- in den Schmutzwasserkanal	Niederschlag		•	
	Dach- und Straßenabläufe an den Endpunkten der Schmutzwasserkanäle				
	Wegeseitengräben, Siefen und Außengebiete, unbefestigte Flächen	Niederschlag	•	•	•
	Bachläufe, Quellfassungen und Brunnenüberläufe	Niederschlag Grundwasser	•	•	•
	nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser von befestigten Flächen (siehe MERTSCH, 2001)	Niederschlag		•	•
sonstige Einleitungen	Flusswasser (Überflutungen)	Niederschlag	•	•	
	nicht schädlich verunreinigtes Kühlwasser, Wasser aus Wärmepumpen	anthropogen	•	•	
	Trinkwasserverluste	anthropogen	•	•	•
	Löschwasser, Spülwasser aus der Kanal- und Schachtreinigung	anthropogen	•	•	

Eine Übersicht über die Quellen von Fremdwasser am Beispiel eines Trennsystems ist im Bild 5 dargestellt.

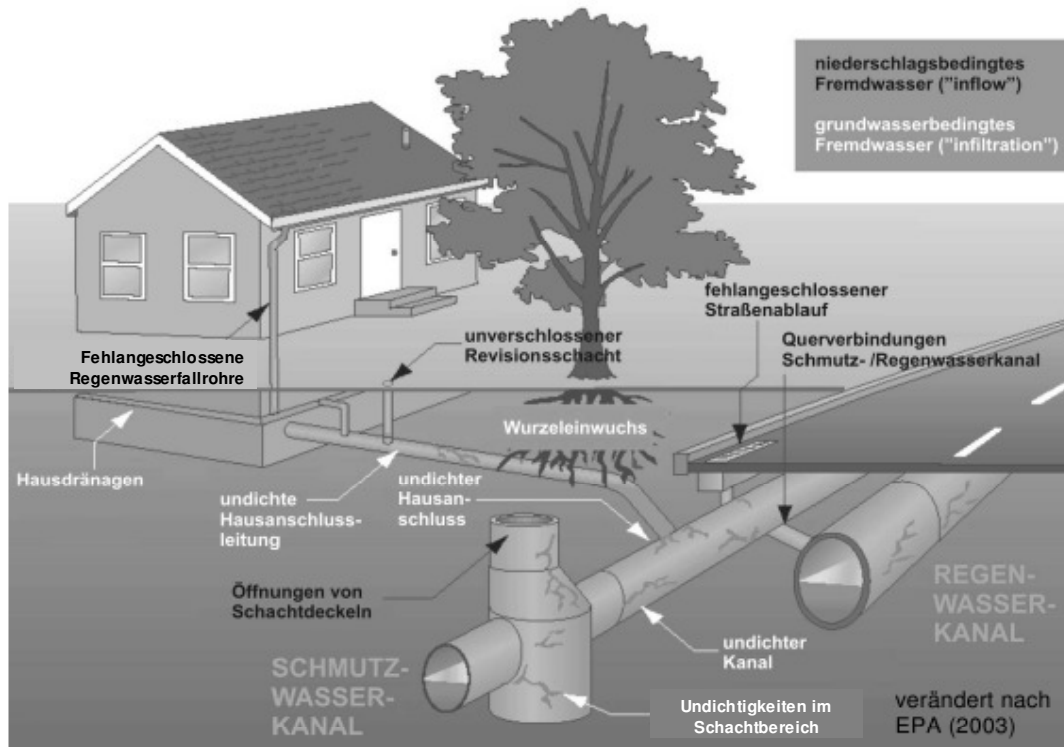


Bild 5 Darstellung der Herkunft von Fremdwasser am Beispiel eines Trennsystems (Bildmaterial: [29])

Eine weitere Übersicht über die Quellen von Fremdwasser am Beispiel eines Mischsystems liefert Bild 6.

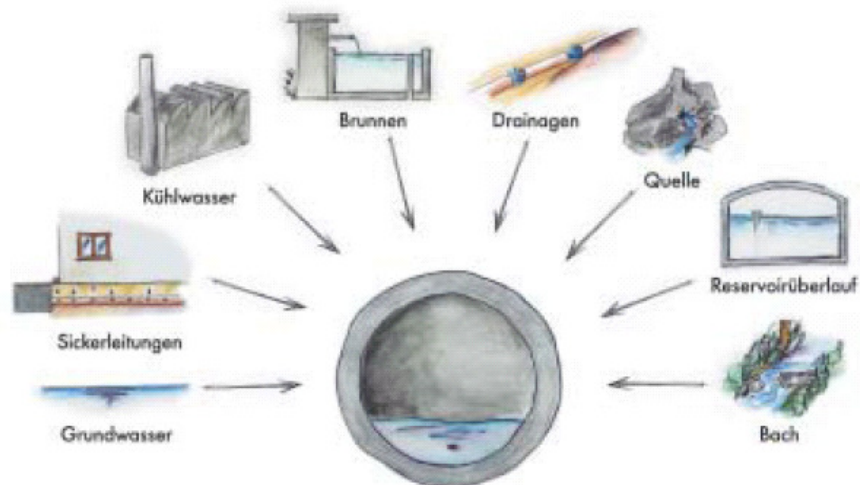


Bild 6 Darstellung der Herkunft von Fremdwasser am Beispiel eines Mischsystems (Bildmaterial: [30])

Die häufigsten Fremdwasserquellen in Entwässerungssystemen sind in der Praxis Infiltrationen in undichte private (s. Bild 7 e) wie öffentliche Kanäle (s. Bild 7 b und c) und Schächte (s. Bild 7 d) sowie Einleitungen von Bach- und Dränwasser (s. Bild 7a).



a)



c)



d)



b)



e)

Bild 7 a) Bach als Fremdwasserquelle (Bildmaterial: S & P Consult GmbH) b) Grundwasserinfiltration im Sohlbereich eines Abwasserkanals (Bildmaterial: S & P Consult GmbH) c) Grundwasserinfiltration im gesamten Abflussquerschnitt (Bildmaterial: [31]) d) Grundwasserinfiltration in einen undichten Schacht (Bildmaterial: [32]) e) Zutritt von Fremdwasser in einen Abwasserkanal nach Grundwasserinfiltration in einen undichten Anschlusskanal (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Eine Zusammenstellung der Vor- und Nachteile des Misch- und Trennsystems im Hinblick auf den Fremdwasseranfall enthält Tabelle 2:

Tabelle 2 Zusammenstellung ausgewählter Vor- und Nachteile des Misch- und Trennsystems im Hinblick auf den Fremdwasseranfall [29]

Trennsystem	Mischsystem
Vorteile	Vorteile
• theoretisch konzentrierte Ableitung des Schmutzwassers zur Kläranlage, dadurch kleinere Dimensionierung der Kläranlage, keine Mitbehandlung von Regenwasser, in der gängigen Praxis wird immer Fremdwasser mit abgeleitet • keine Regenbecken und Entlastungen im Kanalnetz • Nutzung des Regenwasserkanals für die Mitableitung von Dränwasser, führt zu einer Niedrigwasseranreicherung in den Gewässern; Kläranlagenemissionen fallen weniger stark in Gewicht • kein schädlicher Rückstau aus dem Regenwasserkanal in die Wohnhäuser	• auch behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser wird der Kläranlage zugeführt • geringer Raumbedarf durch Einkanal-Lösung, v.a. im Bau geringere Baugrubenbreite erforderlich; gut geeignet für Innenstadtbereiche • nur ein Anschlusskanal erforderlich, minimiertes Risiko eines Fehlschlusses; geringere Anschlusskosten für die Anwohner • geringeres Gefälle und somit geringere Tiefenlage erforderlich als im Trennverfahren • gute Spülwirkung bei Regen zur Mobilisierung von Ablagerungen
Nachteile	Nachteile
• ein hoher Fremdwasseranteil im Schmutzwasserkanal führt aufgrund des geringen Durchmessers zu hydraulischen Problemen und zur Kläranlagenüberlastung • im Straßenquerschnitt ist ein größerer Raumbedarf erforderlich (zwei Kanäle schräg versetzt), es entstehen höhere Kosten • Gefahr von Fehlschlüssen durch zwei erforderliche Anschlusskanäle • Schmutzwasserkanal liegt tiefer als der Regenwasserkanal, größere Anschlusstiefe für Hausanschlüsse erforderlich • Teile des Regenwassers sind durchaus behandlungsbedürftig und gelangen u.U. unbehandelt in Gewässer • Ablagerungen in den Anfangshaltungen der Schmutzwasserkanäle	• große Differenzen bei den Fließtiefen und auftretenden Schleppspannungen von Trocken- und Regenwetterabfluss • Auftreten von typischen Spülstößen bei Regenereignissen • Gewässerbelastungen durch Entlastungsereignisse bei Regenbecken und Abschlussbauwerken • Hohe Investitionen in den Bau und Betrieb von Regenbecken • Hohe Mitbehandlungskosten für den Niederschlagsanteil auf den kommunalen Kläranlagen; leistungsfähige Regenwasserpumpen erforderlich • Gefahr von Rückstau und Kellerüberschwemmungen bei Niederschlagsereignissen

2.1.3 Fremdwasseranfall

Der Fremdwasseranfall wird in der Literatur und in der Praxis oft auf unterschiedliche Weise dargestellt. Neben Angaben der durch die Kanalisation erfassten Einzugsgebietsfläche, Kanallänge oder angeschlossenen Einwohner wird Fremdwasser

oft als Fremdwasserzuschlag (FWZ) oder als Fremdwasseranteil (FWA) angegeben.

Der Fremdwasseranteil (FWA) ist der in % angegebene Anteil des Fremdwassers am Trockenwetterabflusses [33, 34]:

$$\text{Fremdwasseranteil (FWA)} = \frac{Q_f}{Q_t} = \frac{\text{Fremdwasserabfluss [l/s]}}{\text{Trockenwetterabfluss [l/s]}} \cdot 100 \% \quad \text{Gl. 1}$$

Der Fremdwasseranteil ist immer kleiner 100%.

Der Fremdwasserzuschlag (FWZ) wird auf den Schmutzwasserabfluss bezogen:

$$\text{Fremdwasserzuschlag (FWZ)} = \frac{Q_f}{Q_s} = \frac{\text{Fremdwasserabfluss [l/s]}}{\text{Schmutzwasserabfluss [l/s]}} \cdot 100 \% \quad \text{Gl. 2}$$

Der Fremdwasserzuschlag kann durchaus größer als 100% sein.

Die Umrechnung der beiden Größen ist nach den folgenden Formeln möglich.

$$\text{Fremdwasserzuschlag (FWZ)} = \frac{\text{FWA}}{1 - \text{FWA}} \quad \text{Gl. 3}$$

$$\text{Fremdwasseranteil (FWA)} = \frac{\text{FWZ}}{1 + \text{FWZ}} \quad \text{Gl. 4}$$

Die quantitative Darstellung von Fremdwasser mit den angegebenen Begriffen setzt stets das Vorhandensein eines Schmutzwasserabflusses voraus, auf den Bezug genommen wird. In Regenwasserkanälen sind damit keine Mengenangaben möglich.

Decker [33] empfiehlt den Gebrauch des Fremdwasserzuschlags, da hierbei im Gegensatz zum Fremdwasseranteil Schmutzwasser- und Fremdwasserabfluss linear zusammenhängen. Besonders bei hohen Fremdwasserabflüssen kann der Gebrauch des Fremdwasseranteils eine Fehlinterpretation bewirken, da geringe Veränderungen des Parameters Fremdwasser einen proportional erhöhten Fremdwasserabfluss widerspiegeln (s. Bild 8).

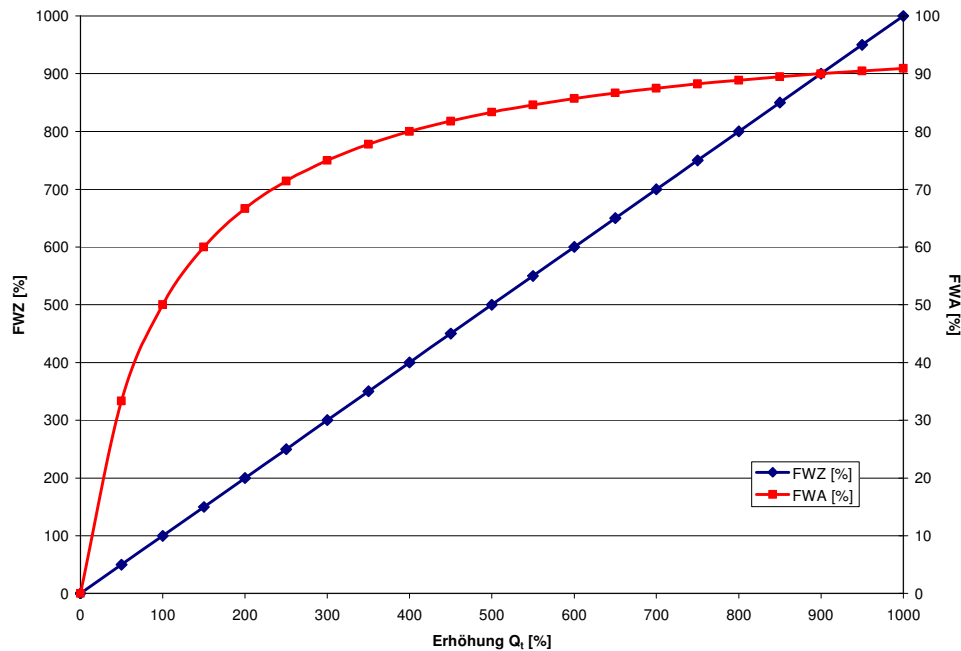


Bild 8 Fremdwasseranteil (FWA) und Fremdwasserzuschlag (FWZ) als Funktion des gesamten Trockenwetterabflusses bei konstanter Schmutzwassereinleitung [34]

Eine erste systemische Ermittlung des Fremdwasserzuschlags auf breiterer Grundlage wurde im Jahre 1979 an etwa 250 bayerischen Kläranlagen durchgeführt. Der festgestellte Fremdwasserzuschlag betrug im Mittel 55%. Nur bei ca. 33% der Anlagen lag der Anteil unter 25%, dafür aber bei rd. 25% der Anlagen über 100% [35]. Nach Rosenzweig [36] lag der Fremdwasserzuschlag im Jahresmittel von 1992 knapp oberhalb von 100%. Es ist zu vermuten, dass sich dieser erhebliche Unterschied durch die unterschiedliche Verwendung von Messmethoden und eine größere Beteiligung erklären lässt [29].

Der errechnete mittlere Fremdwasserzufluss für das gesamte Entwässerungsnetz der Stadt Hamburg liegt mit ca. 80 l/E·d noch unter dem mit 88 l/E·d ermittelten Durchschnittswert für Großstädte [37]. Für das innerstädtische Mischwassernetz wird bedingt durch dessen Altersstruktur von 100 l/E·d Fremd- und Infiltrationswasserzufluss ausgegangen [38]. Das bedeutet, dass in diesen Stadtteilen mit ca. 750.000 angeschlossenen Einwohnern eine Grundwassermenge von etwa 75.000 m³/d und bezogen auf Hamburg (gesamt) von etwa 120.000 m³/d über die Kanalisation abgeführt wird.

Besonders extreme Verhältnisse offenbarte eine in Niedersachsen durchgeführte

Untersuchung bezüglich des Fremdwasserzulaufs in Schmutzwasserkanäle. Sie ergab einen Fremdwasserzuschlag von teilweise 500 bis 2500% [39, 40].

Besonders problematisch werden in diesem Zusammenhang Hausanschlüsse und Grundstückentwässerungen angesehen, die nach [39] nur 10% der Baukosten, aber fast 90% der Fremdwasserprobleme verursachen.

In den letzten Jahren wurden in weiteren Veröffentlichungen über Fremdwasser, über die Messung des Fremdwasserabflusses, über statistische Auswertungen der Ergebnisse sowie über die daraus resultierenden Schlussfolgerungen berichtet [24, 29, 33, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47]. Die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1998 betrug im Bundesmittel aller Kläranlagen der offiziell gemeldete Fremdwasseranteil am Trockenwetterabfluss 29%, das entspricht einem Fremdwasserzuschlag von ca. 40% im Jahresmittel. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Gesamtabfluss der Ems, die etwa 4% des Bundesgebietes entwässert. Für Nordrhein-Westfalen beträgt der durchschnittliche Fremdwasserzuschlag ebenfalls etwa 40%, entsprechend $180 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$. Dieser scheinbar günstige bundesweite Mittelwert verdeckt die Tatsache, dass der Jahresmittelwert des Fremdwasserzuschlages in Einzelfällen ein Vielfaches von 100% beträgt.
- Der Fremdwasseranfall unterliegt zusätzlich sehr starken saisonalen Schwankungen. Vor allem im Winterhalbjahr treten bei den Monatsmittelwerten oft starke überhöhte Fremdwasserzuschläge auf.
- Besonders hohe Werte kann das niederschlagsbedingte Fremdwasser in Schmutzwasserkanälen bei der Trennentwässerung erreichen. Bei Starkregen kann der Spitzenabfluss das 30 bis 40 - fache des Schmutzwassers betragen.
- Fremdwasser ist kein Problem besonderer kleiner oder besonders großer Abwasseranlagen, sondern betrifft alle Größenklassen.
- Der Fremdwasseranfall ist abhängig vom Entwässerungssystem. So nimmt der Fremdwasseranfall mit steigendem Anteil an Mischkanalisationen auch tendenziell zu. Im Bild 9 ist der mittlere länderspezifische Fremdwasserzuschlag für das

Gesamtjahr 2004 dargestellt. Die Ausnahme Berlin mit 0 Prozent Fremdwasser ist wohl eher fehlenden Angaben zuzuschreiben. Ein Fremdwasseranteil nahe bei Null signalisiert auch eine ganz andere Gefahr der Exfiltration mit der Folge, dass das Abwasser aus undichten Kanälen in das Grundwasser versickert [46].

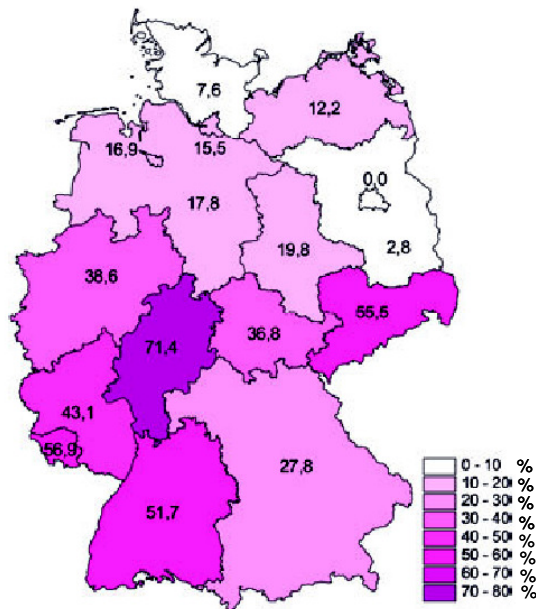


Bild 9 Mittlerer Fremdwasserzuschlag in Prozent vom Schmutzwasserzufluss während des Jahres 2004
(Bildmaterial: [46])

- Häufig, aber nicht immer, besteht eine deutliche Korrelation zwischen der Jahresganglinie des Grundwasserspiegels und der Ganglinie des Fremdwassers.

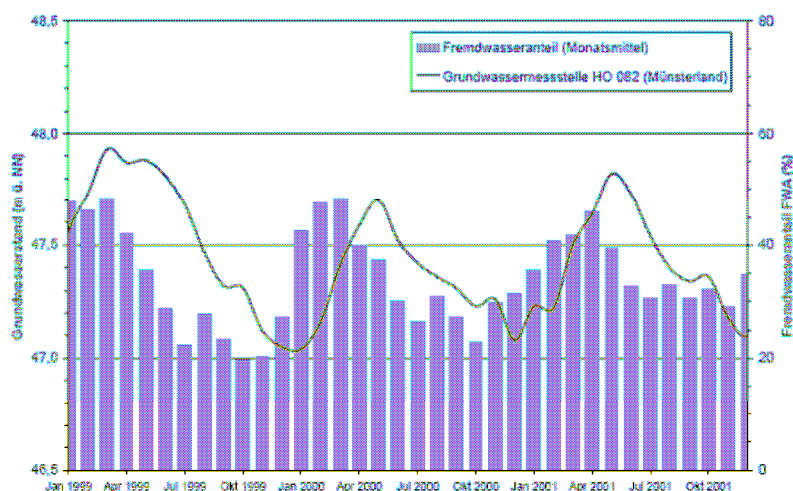


Bild 10 Verlauf von Grundwasserstand und Fremdwasseranteil im Abwasserzufluss einer Kläranlage im Trennsystem (Bildmaterial: [29, 47])

- Besonders hohe oder niedrige Fremdwasserabflüsse können manchmal durch spezielle regionale oder historische Randbedingungen geklärt werden. Diese lassen sich aber nicht verallgemeinern.
- Es ist zu vermuten, dass das Alter von Kanalisationen den Fremdwasserabfluss beeinflusst, da bei älteren Kanälen die Wahrscheinlichkeit von Bauschäden höher ist und die früher verwendeten Dichtungsmittel (Teerstricke) aus heutiger Sicht mangelhaft sind. Einen statistisch abgesicherten Beweis für die Vermutung gibt es aber nicht [114].

2.1.4 Auswirkungen von Fremdwasser

Fremdwasser hat eine Reihe negativer Auswirkungen (s. Abschn. 1.1) auf die hydraulische Leistungsfähigkeit und den Betrieb von Entwässerungssystemen sowie auf die Gewässerqualität, die nicht zuletzt auch bedeutende wirtschaftliche Folgen haben:

Wirtschaftliche Probleme/Erhöhte Kosten (s. Tabelle 3)

- Erforderliche hydraulische Sanierungen (Querschnittsvergrößerung)
- Erforderliche Vergrößerung von Rückhalteräumen
- Erhöhter Strombedarf durch lange Pumpenlaufzeiten
- Hoher und schneller Verschleiß von Anlagen und Maschinen
- Erhöhung des Wartungsaufwandes
- Höhere Abwasserabgabe
- Hoher Zuschlag für Fremdwasser im Klärkostenbeitrag eines Wasserverbandes.

Tabelle 3 Einfluss eines erhöhten Fremdwasseranteils auf die Investitions- und Betriebskosten von Abwasseranlagen (nach Michalska und Pecher, 2000) [48]

Abwasseranlage		Investitions- kosten	Betriebs- kosten
Abwasserableitung (Kanalnetz)	Schmutzwasserkanal	+	-
	Regenwasserkanal	0	0
	Mischwasserkanal	0	-
	Pumpwerke	+	++
Regenwasser- behandlung	Regenrückhaltebecken	+	0
	Regenüberlaufbecken / Stauraumkanäle	++	0
Abwasserbehand- lung (Kläranlage)	hydraulisch bemessene Anlagenteile	++	++
	Biologische Abwasserreinigung mit konzentrationsbezogenen Ablaufanforderungen	--	--
	biologische Abwasserreinigung mit frachtbezogenen Ablaufanforderungen	++	++
	Abwasserabgabe	k. A.	++
Erläuterungen: 0 keine bzw. geringe Beeinflussung der Kosten (++) + (starker) Anstieg der Kosten (--) - (starke) Abnahme der Kosten			

Betriebliche Probleme:

- Verfestigte Ablagerungen und Inkrustationen
- Änderung der Bettungsbedingungen mit Folgeschäden, wie Lageabweichungen, Verformung, Risse, Rohrbruch oder Einsturz
- Hohlraumbildung, verbunden mit Setzungen und / oder Einstürzen
- Wurzeleinwuchs
- Rück- und Überstauereignisse im Kanalnetz
- Lange Pumpenlaufzeiten
- Häufiges Anspringen von Entlastungsbauwerken im Mischsystem
- Unzureichende Reinigungswirkung der Kläranlage.

Umweltbeeinflussungen:

- Einleitung von Abwasser in Oberflächengewässer, Boden und Grundwasser durch

erhöhte oder unerlaubte Abschläge

- Einleitung von unzureichend geklärtem Abwasser aufgrund von Verdünnungen durch Fremdwasser
- Absenkung des Grundwasserwassersiegels (Infiltration), verbunden mit Schäden an der Bebauung und am Bewuchs.

Angesicht der o.g. Nachteile sollte im Rahmen einer Fremdwasseranalyse bzw. Bearbeitung eines Fremdwassersanierungskonzeptes der Fremdwasseranfall auf Basis von Durchflussmessdaten zuvor quantifiziert werden. Nachfolgend werden verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Fremdwasseranfalls vorgestellt.

2.1.5 Bestimmung von Fremdwasseranfall [28, 49]

Die Ermittlung von Fremdwasserabflüssen in der Siedlungsentwässerung ist grundsätzlich schwierig. Darüber hinaus sind die Ergebnisse mit vergleichsweise hohen Unsicherheiten hinsichtlich der Genauigkeit behaftet, da sich die Fremdwasserkomponenten im Kanal unmittelbar mit dem restlichen Abfluss vermischen und deshalb nur gemeinsam mit diesem gemessen werden können. Der Fremdwasserabfluss lässt sich deshalb in der Regel ausschließlich über eine Subtraktionsrechnung bestimmen. Bei Abwesenheit von Niederschlagskomponenten wird der Gesamtabfluss an einer beliebigen Messstelle um die an diesem Ort zu erwartende Schmutzwassermenge reduziert. Der rechnerisch verbleibende Abfluss besteht definitionsgemäß aus Fremdwasser.

Der zu erwartende Schmutzwasserabfluss lässt sich verhältnismäßig einfach und mit guter Genauigkeit ermitteln. Das Produkt aus angeschlossener Einwohnerzahl und spezifischem Schmutzwasseranfall ergibt den häuslichen Schmutzwasserabfluss. Gegebenenfalls vorhandene gewerbliche und industrielle Abflüsse müssen hinzu addiert werden. Dabei sind starke Schwankungen innerhalb einer Woche (Arbeitstage – Wochenende) zu beachten. Außerdem können in touristisch geprägten Regionen oder in kleinen Gemeinden während der Urlaubszeiten zeitweise signifikante Änderungen der täglich zu erwartenden Schmutzwassermenge auftreten. Diese sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Die quantitative Bestimmung von Regenwasser in Kanalisationssystemen ist zwangsläufig sehr ungenau, weil viele unbekannte Faktoren bei der Abflussbildung von Niederschlag beteiligt sind. Bei entsprechenden Wetterbedingungen müsste neben dem Schmutzwasser auch Niederschlagswasser vom Gesamtabfluss abgezogen werden. Da dieser Anteil jedoch nicht mit ausreichender Genauigkeit quantifizierbar ist, sind die Verfahren zur Fremdwasserbestimmung in ihrer Anwendung grundsätzlich auf Trockenwettertage beschränkt.

Die Wahl der Methode hat jedoch einen erheblichen Einfluss auf die erzielbaren Ergebnisse. Einerseits bestimmt das gewählte Verfahren die erreichbare Genauigkeit, andererseits liefern die einzelnen Verfahren grundlegend unterschiedliche Arten von Resultaten. Teilweise werden aus einigen wenigen Messwerten Monats- oder Jahresmittelwerte errechnet, teilweise werden tägliche Abflusswerte ausgewertet und zur Bestimmung von Fremdwasserganglinien benutzt. Insofern lassen sich in Abhängigkeit der Verfahren verschiedenartige Erkenntnisse gewinnen.

Zur Ermittlung des Fremdwasseraufkommens existieren verschiedene Verfahren, die in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben werden. Die gebräuchlichsten Verfahren sind die

- Jahresschmutzwassermethode
- Methode des Nachtminimums
- Methode des gleitenden Minimums
- Chemische Methode
- Dreiecksmethode.

2.1.5.1 Jahresschmutzwassermethode

Die einfachste Methode zur Fremdwasserbestimmung ermittelt das Fremdwasser aus der Differenz der so genannten Jahresschmutzwassermenge (nachfolgend JSM bezeichnet) und dem aus dem Trinkwasserverbrauch ermittelten Schmutzwasserabfluss. Die JSM ist in Mischsystemen die bei Trockenwetter zum

Abfluss kommende Abwassermenge. Die Bezeichnung „Jahresschmutzwassermenge“ ist irreführend, weil neben dem Schmutzwasser auch das Fremdwasser enthalten ist. Das Verfahren benötigt die Tagesabflussmengen und den zugehörigen Wetterschlüssel aus dem Betriebstagebuch der Kläranlage, um Trockenwettertage zu identifizieren. Der Fremdwasserzuschlag (FWZ) für ein Jahr errechnet sich aus der JSM, dem spezifischen Schmutzwasseranfall w_s und der Einwohnerzahl EZ [28, 50] zu

$$FWZ = \frac{JSM - (EZ \cdot w_s \cdot 365)}{EZ \cdot w_s \cdot 365} \cdot 100\% \quad \text{Gl. 5}$$

Die Jahresschmutzwassermethode funktioniert ausschließlich bei Trockenwetter. Grundsätzlich lässt sich mit dieser Methode eine saisonale Ganglinie erzeugen, wenn jeder Trockenwettertag ausgewertet würde. Dies ist in der Praxis nicht üblich. An Nicht-Trockenwettertagen würde die Ganglinie Fehlstellen aufweisen, wäre also mathematisch eine nicht stetige Funktion.

Die Hauptfehlerquelle der Jahresschmutzwassermethode liegt in der Abhängigkeit vom subjektiv auf der Kläranlage einzutragenden Wetterschlüssel. Zwar sind „Regen“ oder „Gewitter“ relativ einfach festzustellen. Ob allerdings ein erhöhter Zufluss im Frühjahr als Ursache „Schneesmelze“, „Regennachlauf“ oder Fremdwasser hat, ist dagegen schwer zu entscheiden. Außerdem ist nicht festgelegt, über welche Zeitspannen regenbedingter Nachlauf anhalten kann. Insbesondere zur Frage der zulässigen Anzahl von Regennachlauftagen hat das Land Baden-Württemberg in seinem Leitfaden zur Abwasserabgabe (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) [49] unmissverständliche Regeln erlassen. Die Festsetzungsbehörden erlauben demnach nicht mehr als einen Tag Regennachlauf, „großen Netzen“ werden zwei Tage zugebilligt. Trotz dieser Festlegung suchen die Betreiber im Rahmen der legalen Möglichkeiten nach für sie „günstigen“ Messtagen [50]. Im Ergebnis führt das Verfahren deshalb tendenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlich vorliegenden Fremdwasserbelastung.

2.1.5.2 Methode des Nachtminimums

Die gebräuchlichste Methode zur Fremdwasserbestimmung ist die Methode des Nachtminimums (auch Nachtmessungsmethode genannt). Oft wird dieses direkt als

Fremdwasser ausgewiesen, der Großteil der Ansätze sieht jedoch den Abzug eines Schmutzwasseranteils vor [51, 52] (s. Bild 11). Die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg [49] hält für die Abwasserabgabenerklärung mindestens eine Messung im Monat für notwendig. Der Abstand einzelner Messungen muss mindestens 14 Tage betragen. Bis 1997 genügten vier Messungen pro Jahr mit einem Mindestabstand von zwei Monaten. Es ist erlaubt, mehr Messungen als notwendig durchzuführen. Werden tägliche Messungen vorgenommen - was dank automatischer Durchflussmessgeräte auf den meisten Kläranlagen heute üblich ist - lassen sich für die Berechnung der Jahresfremdwassermenge diejenigen Tage mit den geringsten Zuflüssen im Monat auswählen.

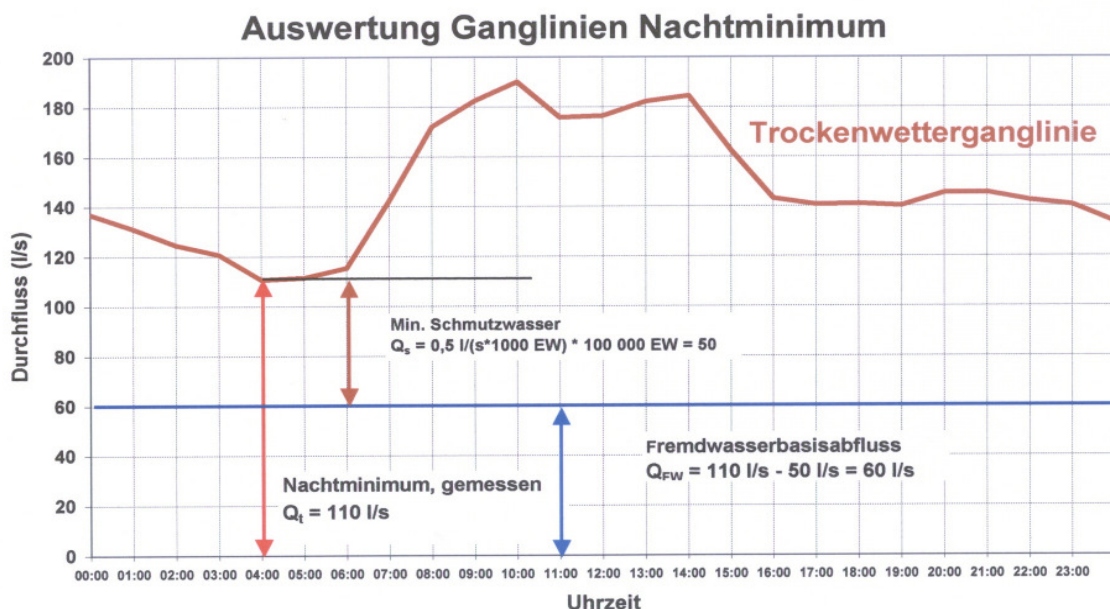


Bild 11 Tagesganglinie einer Kläranlage (Bildmaterial: [53])

Die Nachtmessungsmethode funktioniert wie die Jahresschmutzwassermethode ausschließlich an Trockenwettertagen, wird aber nicht direkt vom Wetterschlüssel beeinflusst. In jedem Monat geht nur ein einzelner Tag mit einem sehr geringen Nachtminimum in die Berechnung ein. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Trockenwettertag. Die im Abschnitt 2.1.5.1 bei der JSM-Methode genannten Einschränkungen im Hinblick auf die Darstellung der Saisonalität mittels Ganglinien gelten uneingeschränkt auch für die Methode des Nachtminimums.

2.1.5.3 Methoden des gleitenden Minimums

Die von der Firma Umwelt und Fluidtechnik GmbH UFT [54] entwickelte Methode des gleitenden Minimums ermittelt das Fremdwasser, indem für jeden Tag des Untersuchungszeitraumes der Trockenwetterabfluss gleich dem minimalsten Tagesabfluss aus den letzten 21 Tagen gesetzt wird. Davon subtrahiert man die in der Regel als Konstante angesetzte Schmutzwassermenge. Durch Aneinanderreihung der ermittelten täglichen Abflüsse ergibt sich eine stetige Ganglinie des Fremdwassers. Um mittlere Fremdwasserabflüsse zu erhalten, können Integrale über die Messzeit gebildet werden. Die Ganglinie erlaubt außerdem Auswertungen unter saisonalen Aspekten.

Das Verfahren des gleitenden Minimums arbeitet mit jeder Tabellenkalkulation auf einem handelsüblichen PC, beispielsweise mit Microsoft Excel. Bild 12 zeigt exemplarisch die Ganglinie der Tagesabflüsse einer Kläranlage mit der darunter gezeichneten Ganglinie des Fremdwassers. Eine grundlegende Annahme für die Methode ist, dass Schwankungen beim Fremdwasserabfluss um eine Größenordnung langsamer ablaufen als Abflussspitzen, die sich unmittelbar nach Niederschlagsereignissen einstellen. Weiterhin wird vorausgesetzt, dass während der letzten 21 Tage mindestens einmal Trockenwetter herrschte, so dass sich der Tageszufluss an diesem Tag nur aus Schmutz- und Fremdwasser zusammensetzt. Die Festlegung des Zeitraumes von 21 Tagen ist zwar nicht wissenschaftlich belegt, jedoch hat sich dieser Wert bei eingehenden Untersuchungen als praktikabel erwiesen [50].

Mit der Methode des gleitenden Minimums können jahreszeitliche Schwankungen des Fremdwasserabflusses im Zulauf einer Kläranlage lückenlos abgebildet werden. Die Ganglinie im Bild 12 lässt beispielsweise erkennen, dass der Kläranlage im Winterhalbjahr wiederkehrend mehr als doppelt so viel Fremdwasser wie in den Sommermonaten zufließen. Überlagert werden diese saisonalen Schwankungen innerhalb eines Jahres von der jährlichen Niederschlagshöhe. Die trockeneren Jahre 1992 und 1993 rufen im Vergleich zum feuchteren Jahr 1994 deutlich niedrigere Fremdwasserbelastungen hervor.

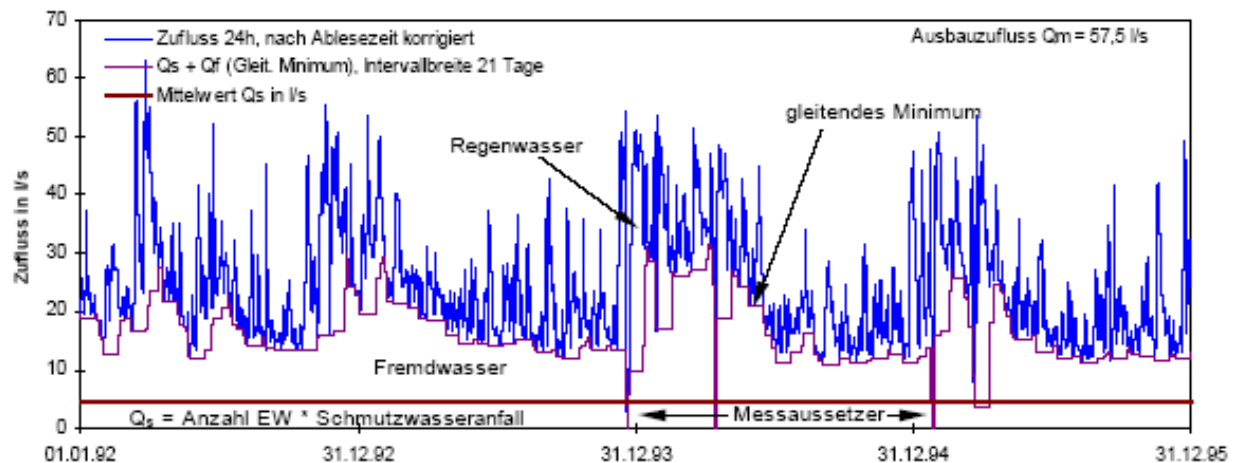


Bild 12 Beispiel für die Fremdwasserermittlung nach der Methode des gleitenden Minimums (Bildmaterial: [50])

Die Methode des gleitenden Minimums basiert – von der notwendigen Festlegung des Schmutzwasserabflusses abgesehen – ausschließlich auf den Tageszuflusswerten des Kläranlagen-Tagebuches. Sie ist dadurch frei von willkürlichen Einflüssen. Zur Empfindlichkeit des Verfahrens machte Hüffmeier [55] eingehende Untersuchungen. Er variierte den Zeitraum des gleitenden Minimums in einer Bandbreite von 1 bis 35 Tagen. Dieser Parameter soll den Zeitabschnitt widerspiegeln, in dem mindestens ein Trockenwettertag enthalten ist, so dass sich der Gesamtabfluss an diesem Tag ungestört von Regenwasser einstellt. Die Dauer „Einige Tage“ wäre zu kurz und würde zeitweise Regenabflüsse als Fremdwasser werten. Bei „mehreren Monaten“ würden keine saisonalen Schwankungen mehr erkennbar sein, die Ergebnisse wären zu stark aggregiert. In Ermangelung eines physikalischen Modells – das Verfahren ist rein phänomenologisch entstanden – wurden die Auswirkungen verschieden angesetzter Zeitdauern getestet. Es zeigte sich, wie vermutet, dass sehr kurze Zeiträume unter zwei Wochen den ermittelten Fremdwasserabfluss stark ansteigen lassen. Ab 21 Tagen lieferten größere Zeitdauern nur noch geringfügig veränderte Resultate, so dass dieser Standardwert beibehalten wurde.

Die Methode des gleitenden Minimums hat u.a. Eingang gefunden in das ATV-DVWK-A 198 [56].

2.1.5.4 Chemische Methode

Das Bundesamt für Umweltschutz der Schweiz ließ vor einigen Jahren die so genannte Chemische Methode entwickeln [51]. Das Verfahren basiert auf der Verringerung von gelösten Schmutzstoffkonzentrationen im Abwasser, die durch Verdünnungseffekte mit Fremdwasser hervorgerufen werden. Wichtig ist die Wahl eines geeigneten Abwasserparameters. Als Parameter können CSB_{hom} , TKN_{hom} , $P_{ges,hom}$ sowie der TOC/DOC herangezogen werden.

Damit der Verdünnungsgrad und damit die Fremdwasserbelastung messbar ist, darf sich die Konzentration während des Fließvorganges nicht oder nur vernachlässigbar gering verändern. Der Fremdwasseranfall lässt sich über das Verhältnis der mittleren Tageskonzentration und der Konzentration zur Zeit des Nachtminimums bestimmen.

Als Eingangsgrößen werden benötigt:

- Mittlerer Trockenwetteranfall $Q_{T,m}$ [m^3/h]
- Nachtminimum $Q_{T,min}$ [m^3/h]
- Tagesfracht des verwendeten Parameters S [kg/h]
- Mittlere Konzentration des verw. Parameters $C_{T,m}$ [mg/l]
- Konzentration des Nachtminimums C [mg/l].

Es wird empfohlen, die vorgegebenen Einheiten beizubehalten, da nachfolgende Gleichungen teilweise nicht dimensionsecht sind. Die Ermittlung des Fremdwasseranteiles erfolgt nach der Gleichung 6:

$$FWA = \frac{100}{m} \cdot [1 - s \cdot (m - 1 + c)] [\%] \quad \text{Gl. 6}$$

mit

$$m = \frac{Q_{T,m}}{Q_{T,min}} [-] \quad \text{Gl. 7}$$

$$c = \frac{C_{T,min}}{Q_{T,m}} [-] \quad \text{Gl. 8}$$

$$s = \frac{C_{T,min} - Q_{T,min}}{S} [-] \quad \text{Gl. 9}$$

Durch die erforderliche Analytik ist die „Chemische Methode“ vergleichsweise sehr aufwändig. Sie kann deshalb nicht für den täglichen Einsatz in der Praxis empfohlen werden. In Einzelfällen kann sie als Ergänzung zu anderen Verfahren jedoch sinnvoll sein [50].

Eine weitere chemische Methode stellt die CSB-Zulaufwert-Methode dar. Bei Kläranlagen ohne automatische Durchflussmessung kann der Fremdwasseranfall auf Basis der verdünnenden Wirkung von Fremdwasser auf die Abwasserinhaltsstoffe ermittelt werden. Durch Messung der CSB-Konzentration im Zulauf bei Trockenwetter wird auf den Fremdwasseranfall rückgerechnet. Bei der in Baden-Württemberg im Rahmen des Vollzugs der Abwasserabgabe angewendeten Methode wird dabei eine einwohnerspezifische CSB-Fracht von 120 g/(E·d) und ein einwohnerspezifischer Schmutzwasseranfall von rund 150 l/(E·d) zugrunde gelegt. Basierend auf diesen Werten wurde das im Bild 13 dargestellte Nomogramm erstellt. Dabei sind die Fremdwasseranteile und Fremdwasserzuschläge etwas in Richtung „betreiberfreundlich“ verschoben. Von den bei Trockenwetter gemessenen CSB-Zulaufkonzentrationen eines Jahres ist der arithmetische Mittelwert zu bilden. Dieser dient als Eingangswert für das im Bild 13 dargestellte Kurve. Man erhält dadurch sowohl den Fremdwasseranteil (FWA) als auch den Fremdwasserzuschlag (FWZ).

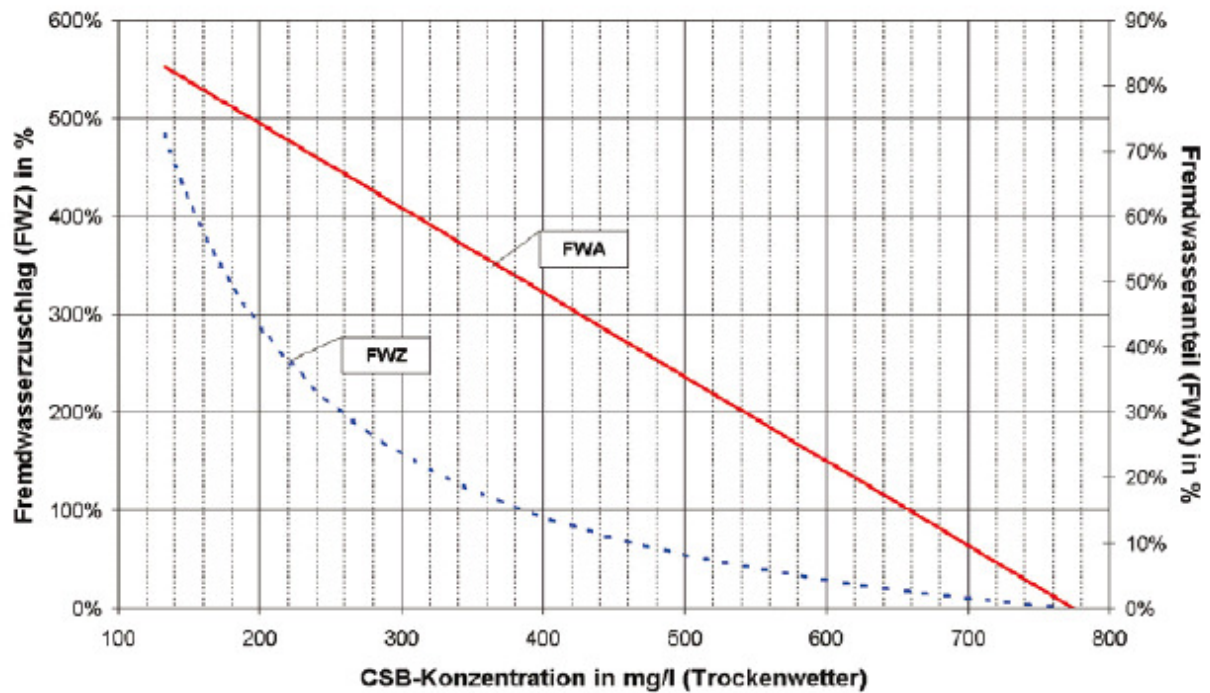


Bild 13 Nomogramm zur Ermittlung des FWA bzw. FWZ bei Kläranlagen ohne automatische Durchflussmesseinrichtung nach der CSB-Zulaufwert-Methode (Bildmaterial: [28, 49])

Ist darüber hinaus der jährliche Schmutzwasserabfluss bekannt, kann mit der Gleichung 10 auch die Jahresschmutzwassermenge (JSM) berechnet werden:

$$JSM = Q_S (1 + FWZ) \quad \text{Gl. 10}$$

2.1.5.5 Dreiecksmethode

Die Baden-Württembergische Landesanstalt für Umweltschutz hat in einer Studie ein grafisches Verfahren vorgestellt, das für Mischsysteme neben einer mengenmäßigen Ermittlung von Fremdwasserzuflüssen auch einen Maximalwert für das Fremdwasseraufkommen liefert (s. Bild 14).

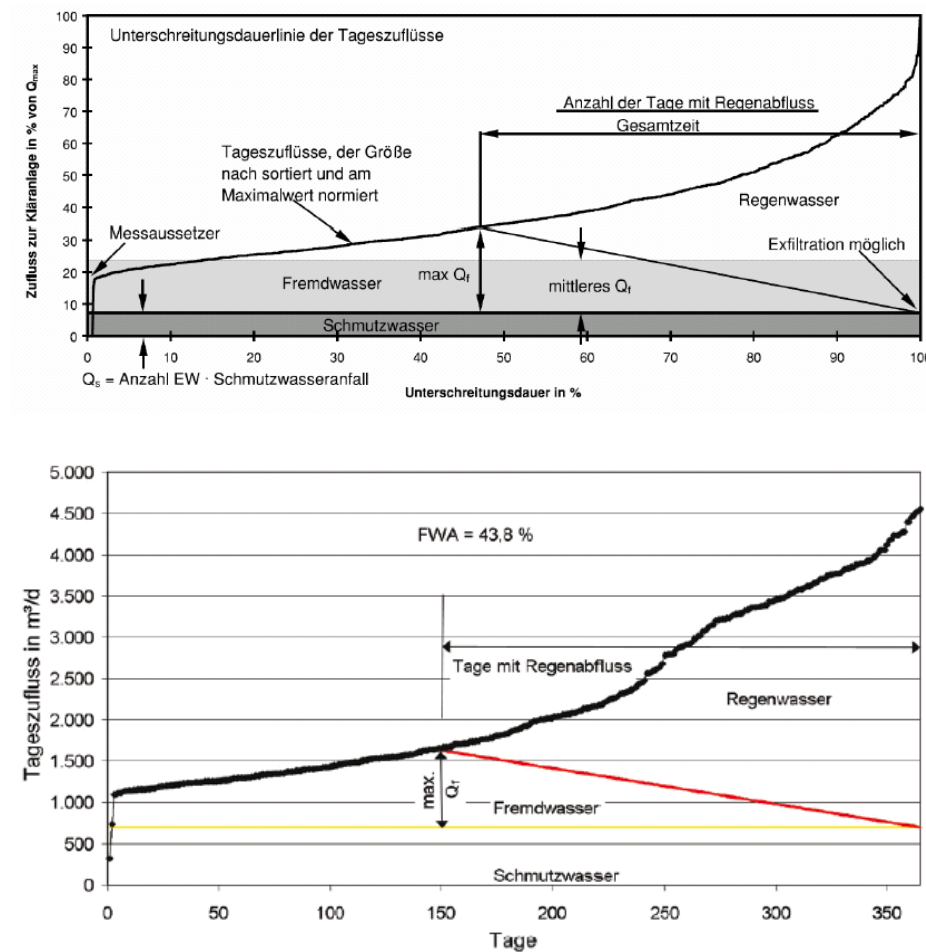


Bild 14 Grafische Umsetzung der Dreiecksmethode (oben: Schema; unten: Anwendung) (Bildmaterial: [28, 49])

Alle Tagesabflüsse einer Messstelle werden nach der Unterschreitungsdauer, d.h. nach der Anzahl der Tage, an denen der Abfluss unterschritten wird, geordnet und anschließend in einem Diagramm dargestellt. Der Schmutzwasseranteil, der z.B. durch Ermittlung des Trinkwasserbezugs bestimmt werden kann, wird als mittlerer Anfall gleichmäßig über den Bilanzierungszeitraum aufgetragen, d.h. es entsteht eine parallele Linie zur Abszisse.

Messausssetzer können an der Unterschreitung der Schmutzwasserlinie erkannt werden. An dem Punkt der maximalen Anzahl von Trockenwettertagen, d.h. wo kein Niederschlag bzw. Nachlauf auftritt, befindet sich der maximale Fremdwasserabfluss. Von diesem Punkt wird eine Gerade zum Endpunkt der Schmutzwasserlinie gezeichnet. Einer derartigen grafischen Lösung liegt die Vorstellung zugrunde, dass während der Zeiten mit verstärktem Regenabfluss erhöhte Wasserstände im Kanal einer Infiltration von Fremdwasser entgegenwirken.

Die Fläche zwischen Schmutzwasserlinie, der Linie der Tagesabflüsse und der erstellten Verbindungslinie repräsentiert den Fremdwasserabfluss. Durch Integration kann der Absolutwert des Fremdwasseraufkommens (z.B. in $[m^3]$) bestimmt werden. Wird der ermittelte absolute Fremdwasserabfluss auf den Betrachtungszeitraum bezogen, so sind Angaben zum mittleren Fremdwasseraufkommen möglich (z.B. in $[l/s]$ oder $[m^3/d]$).

2.1.5.6 Bewertung der Verfahren

Tabelle 4 enthält die Zusammenstellung der wichtigsten Merkmale der oben erläuterten Methoden zur Fremdwasserermittlung. Die Inhalte der Tabelle sind Fuchs et al. [50] entnommen. Dort werden darüber hinaus weitere Ermittlungsmethoden beschrieben und verglichen. Außerdem finden sich bei Hüffmeier [55] die Schwachpunkte der etablierten Verfahren gegenüber der Methode des gleitenden Minimums ausführlich an Beispielen erläutert.

Tabelle 4 Vergleich verschiedener Methoden zur Fremdwasserbestimmung [50]

„Jahres-schmutzwasser“-Methode	Benötigte Daten	Tagesabflussmengen, Wetterschlüssel, Ansatz für Schmutzwasserabfluss
	Aussagen über Saisonalität möglich?	tägliche Fremdwasserabflüsse nur, wenn die Methode für jeden Trockenwettertag einzeln angewandt wird; Lücken an Regentagen
	Vorteile	einfache Standardmethode für Abwasserabgabeerklärung
	Nachteile	nur Trockenwettertage gehen in Ermittlung ein, willkürlicher Wetterschlüssel. Wenn nur wenige Trockenwettertage vorhanden sind, sehr fehlerbehaftete Ergebnisse, latente Unterschätzung von Q_r
Nachtmessungsmethode	Benötigte Daten	Minimaler Nachtzufluss an mindestens einem Trockenwettertag pro Monat, Ansatz für nächtlichen Schmutzwasserzufluss
	Aussagen über Saisonalität möglich?	tägliche Fremdwasserabflüsse nur, wenn die Methode für jeden Trockenwettertag einzeln angewandt wird; Lücken an Regentagen
	Vorteile	einfache Standardmethode für Abwasserabgabeerklärung
	Nachteile	Nachtminimum muss aufgezeichnet werden; nur einzelne Trockenwettertage gehen in Ermittlung ein, willkürliche Auswahl der Messtage, unsichere Abschätzung des nächtlichen Schmutzwasserzuflusses, latente Unterschätzung von Q_r
„Chemische“ Methode	Benötigte Daten	mittlere und minimale Trockenwetterabflüsse und zugehörige Schmutzkonzentrationen
	Aussagen über Saisonalität möglich?	theoretisch tägliche Fremdwasserabflüsse bestimmbar, wenn die Methode für jeden Trockenwettertag einzeln angewandt würde; dazu ist jedoch der Aufwand zu groß
	Vorteile	ergänzendes Verfahren zur Plausibilitätskontrolle der vorgenannten Methoden
	Nachteile	sehr aufwändig (Probenahme und -analyse notwendig), nicht für tägliche Untersuchungen geeignet
Methode des gleitenden Minimums	Benötigte Daten	Tagesabflussmengen, Ansatz für Schmutzwasserabfluss
	Aussagen über Saisonalität möglich?	ja, liefert Tageswerte für Fremdwasser und Regenwasser
	Vorteile	einfaches, rechnergestütztes Verfahren. Keine Datenlücken in der Ergebnisanfanglinie. Wetterschlüssel wird nicht benötigt. Auch Regentage gehen ein. Liefert auch Aussagen über Regenwassermenge.
	Nachteile	rein phänomenologisches Verfahren

Bei den Bestimmungsmethoden für Fremdwasser sind abhängig von den Einsatzrandbedingungen Abweichungen der Methoden untereinander bis zu 20% möglich. Nach Untersuchungen von Fuchs et. al [50] lieferte die Jahresschmutzwassermethode bei Auswertung monatlicher Mittel vergleichsweise den höchsten Fremdwasseranfall, gefolgt von der Methode des gleitenden Minimums und der Methode des Nachtminimums. Die Dreiecksmethode ergab den geringsten Fremdwasserabfluss. Alle Methoden haben jedoch gemeinsam, dass sie den niederschlagsbedingten Fremdwasserabfluss, besonders im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems und Fremdwassernachlauf aus Dränagen und Undichtigkeiten nach einem Regenereignis nicht ausreichend erfassen [29].

Ein weiterer Vergleich der Verfahren ist im Bild 15 dargestellt. Dabei sind die Kläranlagen entsprechend der angeschlossenen EW+EWG von links nach rechts aufsteigend geordnet. Für den Vergleich wurden Kläranlagendaten aus den Jahren 2000-2002 herangezogen [49].

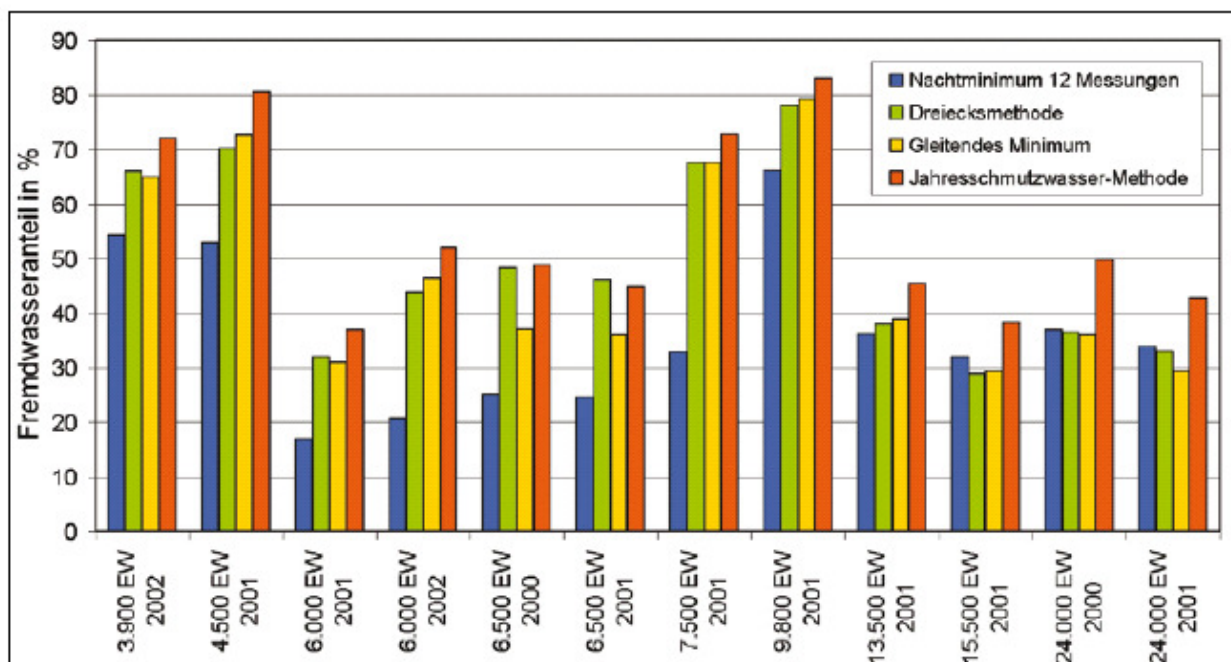


Bild 15 Gegenüberstellung verschiedener Methoden zur Berechnung des Fremdwasseranteils anhand von Datensätzen aus den Jahren 2000-2002 für unterschiedliche EW (Bildmaterial: [49])

Die Jahresschmutzwassermethode ergibt mit Ausnahme der Kläranlage für 6.500 (Jahr: 2001) angeschlossene EW für alle dargestellten Kläranlagen die mit Abstand höchsten Fremdwasseranteile. Die mit dem Gleitenden Minimum und der Dreiecksmethode

ermittelten Werte weichen – wiederum mit Ausnahme der Kläranlage mit 6.500 angeschlossenen EW - nur sehr gering von einander ab. Jedoch zeigen die mit den Nachtminimums-Messungen (Methode des Nachtminimums) gewonnenen Werte teilweise erhebliche Abweichungen zu den Messungen mittels Gleitendem Minimum und Dreiecksmethode. Die beobachteten Tendenzen decken sich sehr gut mit den Angaben in der Literatur. So stellte Haller [57] bei einem Vergleich der Fremdwasserermittlung mittels der Messung des Nachtminimums und der Methode der Jahresschmutzwassermenge an 19 Kläranlagen fest, dass die Methode der Jahresschmutzwassermenge deutlich höhere Werte als die Methode des Nachtminimums ergibt. Weiter wird in LfU [58] angegeben, dass die Jahresschmutzwassermethode 30-40% höhere Fremdwasserabflüsse liefert als der Mittelwert aus den Ergebnissen des Gleitenden Minimums und der Dreiecksmethode (hydraulische Bilanz genannt).

Im Hinblick auf die häufig deutlich ausgeprägten saisonalen Schwankungen der Fremdwasserzuflüsse erscheinen ausschließlich Bestimmungsverfahren sinnvoll, die eine auf „vielen“ Messwerten basierende, stetige Fremdwasserganglinie erzeugen können. Vor diesem Hintergrund zeichnet sich insbesondere die Methode des gleitenden Minimums aus. Sie ist frei von willkürlichen Einflüssen, lässt sich leicht anwenden und erlaubt aus allgemein verfügbaren Daten aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Das Verfahren ermöglicht aufgrund der flächendeckend vorliegenden Betriebstagebücher von Kläranlagen zudem die Bewertung vergangener Fremdwassersituationen.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben werden daher die Fremdwasserbelastungen von der Kläranlage Altena - Praggpaul mit dem Verfahren des gleitenden Minimums und zum Vergleich mit der Jahresschmutzwassermethode (JSM) ermittelt.

2.1.6 Geologische und hydrogeologische Einflüsse

Der Wasserhaushalt wird im Rahmen der klimatischen Gegebenheiten in starkem Maße durch die Böden beeinflusst. Im natürlichen Wasserkreislauf fallen Niederschläge zunächst auf die obersten Bodenschichten. Einen Teil dieses Niederschlagswassers speichern die Böden und es wird teilweise über Pflanzenverdunstung zu späteren

Zeitpunkten wieder an die Atmosphäre abgegeben. Weisen die Böden ausreichende Durchlässigkeiten auf, so gelangen nicht im Boden gespeicherte Überschüsse durch vertikale Versickerung oder laterale Abflussvorgänge (Zwischenabflüsse) in tiefere Bodenschichten. Dort speisen sie das Grundwasser, Quellen und oberirdische Gewässer. Bei wassergesättigten bzw. wasserundurchlässigen Böden der oberen Schichten fließen nennenswerte Anteile des Niederschlages unmittelbar an der Bodenoberfläche ab. Diese Anteile werden als Oberflächenabfluss bezeichnet.

Grundsätzlich stellen sich in Abhängigkeit der Naturräume verschiedene Abflussvorgänge ein. Diese beeinflussen mittelbar oder unmittelbar die Menge an Fremdwasser, die in ein Kanalsystem eindringen kann [28]. Einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Abflussarten in Baden-Württemberg vermittelt der Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg WaBoA [59]. Danach verteilt sich die Gesamtniederschlagsmenge auf die folgenden vier Elemente des Wasserhaushaltes:

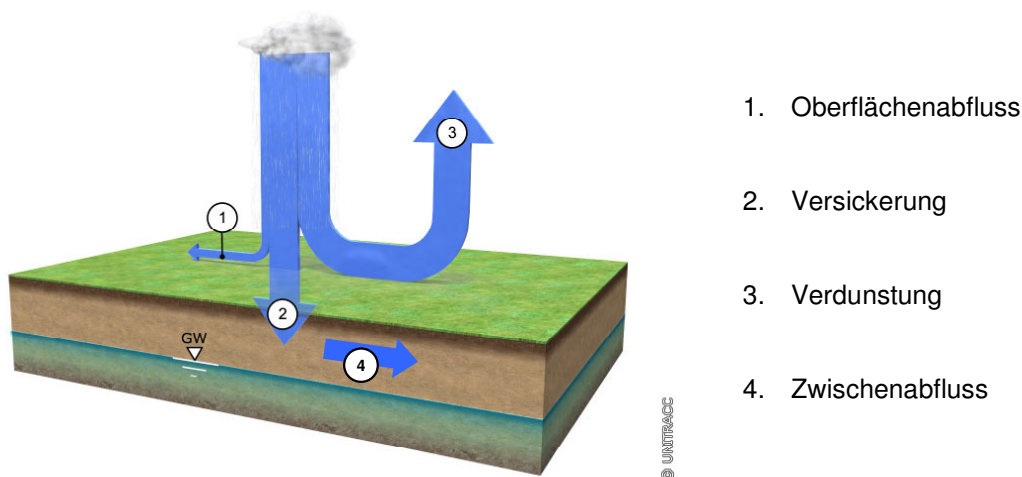


Bild 16 Elemente des Wasserhaushaltes am Beispiel von einem unbebauten Grundstück (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Wie hoch die prozentualen Anteile der einzelnen Elemente am gesamten Wasserhaushalt sind, hängt bei gleichen klimatischen Bedingungen vom Relief, der Vegetation sowie vom anstehenden Boden (Durchlässigkeiten, Schichtungen etc.) ab. Einige dieser Einflussfaktoren lassen sich in typisierten, so genannten Bodenwasserregimes zusammenfassen. Ein Bodenwasserregime beschreibt den für einen Standort typischen Bodenwasserhaushalt, wie er sich durch das Zusammenwirken von Verdunstung, Versickerung, Zwischen- und Oberflächenabfluss ergibt. Als Kriterien zur Abgrenzung einzelner Bodenwasserregimes sind nach dem

Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg WaBoA [59] die Reliefverhältnisse, die Wasserdurchlässigkeit der Böden sowie das Auftreten von Grund- und Stauwasser definiert. Bild 17 veranschaulicht die unterschiedlichen Arten von Bodenwasserregimes nach dem baden-württembergischen Wasser- und Bodenatlas.

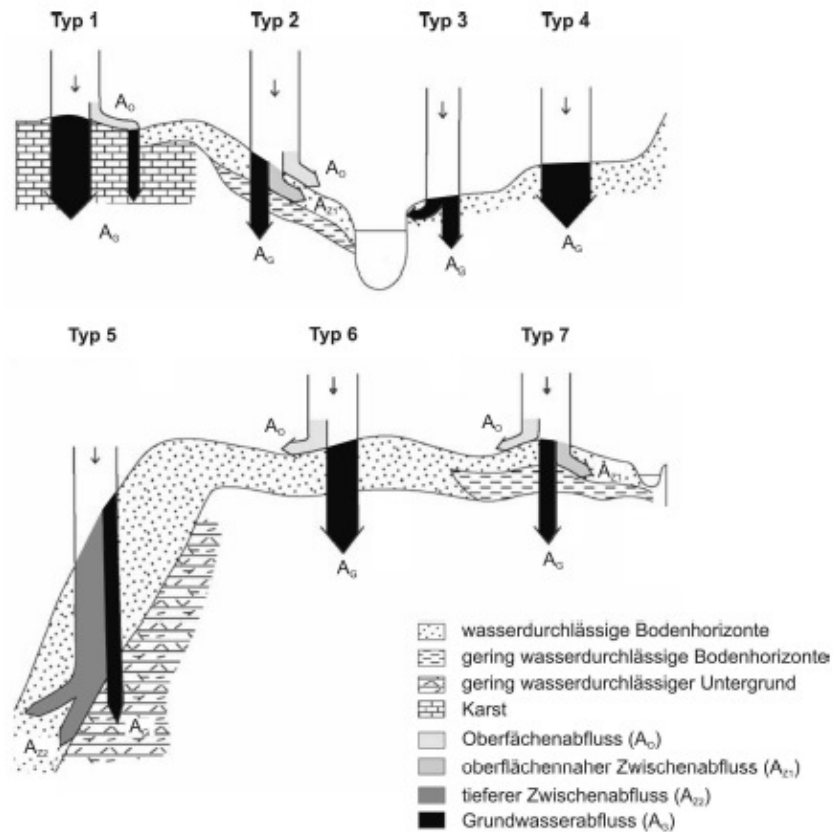


Bild 17 Schematische Darstellung der Bodenwasserregime (Bildmaterial: [29]) (verändert nach dem Wasser- und Bodenatlas Baden- Württemberg WaBoA) [59]

Die Bodenwasserregimetypen 1, 3 und 4 sind jeweils von nahezu ausschließlich vertikalen Sickerwasserbewegungen geprägt. Eingeschränkt vertikale Sickerwasserbewegungen kennzeichnen die Typen 2, 6 und 7. Böden mit Hangwasser im Untergrund (Typ 5) treten meist bei gut wasserdurchlässigen Bodenschichten über gering durchlässigem Untergrund auf. Insbesondere in Verbindung mit starker Geländeneigung ist Hangwasser im Untergrund häufig anzutreffen. In Phasen mit intensiven Niederschlägen stellen sich quantitativ stark ausgeprägte Zwischenabflüsse ein [28]. Dieser Bodenwasserregim 5 ist überwiegend im betrachteten Untersuchungsgebiet „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“ (s. Abschn. 4) vorzufinden.

Eine Auswertung von Angaben zum Fremdwasseraufkommen in den fünf

Regierungsbezirken Nordrhein-Westfalens ergab regionale Unterschiede. So zeigten die für das Bodenwasserregime Typ 5 typischen Mittelgebirgsregionen (Sauerland, Eifel, Bergisches Land, Weser-Bergland etc.) nach Schmidt [60] und Mertsch [61] ein höheres Fremdwasseraufkommen als vergleichbar flachere Regionen. Untersuchungen von Maus und Evers [62] im Einzugsgebiet des Ruhrverbandes kommen für die Mittelgebirgsregion Sauerland zu einem ähnlichen Ergebnis [29].

2.2 Fremdwasser in rechtlicher Hinsicht

Jeder Betreiber von Abwasseranlagen ist verpflichtet, die gesetzlichen Regelungen einzuhalten und im Interesse der Anschlussnehmer kostengünstige Lösungen der Fremdwasserproblematik zu finden. Neben den technisch-fachlichen Randbedingungen, die ab Abschnitt 3 vertiefend behandelt werden, sind daher bei der konzeptionellen Entwicklung von Maßnahmen zur Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs bzw. zur Vermeidung von Grundwasserableitungen zu den Liegenschaften die rechtlichen Rahmenbedingungen zu würdigen, welche nachfolgend ohne Anspruch auf Vollständigkeit zur Verdeutlichung der generellen Problemstellung exkursorisch dargestellt werden.

Der allgemeine Rechtsrahmen hinsichtlich der Fremdwasserproblematik reicht vom Bundes- und Landes – Wasserrecht über das Baurecht, das kommunale Entwässerungsrecht, das Verwaltungs-, Gebühren- / Beitragsrecht bis hin zum Ordnungs- oder ggf. Strafrecht.

Wie bereits die Definitionen des Fremdwasserbegriffs im Abschnitt 2.1 zeigen, ist jedoch der Begriff „Fremdwasser“ nach seinem Zutritt in die öffentliche Abwasseranlage weitestgehend als Abwasserart definiert, nicht aber als Rechtsbegriff. Diesbezügliche Ausnahmen stellen die Ausführungsverordnungen der Länder zum Abwasserabgabengesetz dar, welche den Begriff „Fremdwasser“ im Wasserrecht einführen [63].

Eine Verpflichtung der Kommunen, das Fremdwasser abzuführen, kann daraus nicht abgeleitet werden. Nach [64] kann umgekehrt auch kein Anschluss- und

Benutzungszwang mit entsprechender Gebührenerhebung in der kommunalen Entwässerungsatzung verankert werden, wenn eine „*spezielle Fremdwasserkanalisation*“ errichtet werden sollte.

Eine Vermischung, Mitableitung und –behandlung von Fremdwasser ist im Wasserrecht weder ausdrücklich verboten noch ausdrücklich gestattet. Dies bedeutet aber nicht, dass unter Bezug auf das Wasserrecht keine rechtlichen Einschränkungen existieren, um die zusätzlichen Belastungen aus Fremdwasser zu reduzieren.

In einigen wenigen Bundesländern, z.B. Bayern und Baden – Württemberg, ist der maximal zulässige Verdünnungsgrad durch Fremdwasser in einem Misch- oder Schmutzwasserkanal gesetzlich geregelt. Mit dem Zutritt von Fremdwasser in die Schmutzwasserkanalisation entsteht faktisch eine Verdünnung des Abwassers. Dies kann zum Entzug der Einleitererlaubnis nach § 9 Abs. 5 Nr. 2 AbwAG [65] führen.

In anderen Bundesländern wird bei der Bemessung von Abwasserkanälen die Empfehlung des Arbeitsblattes ATV – A 118 [66] zugrunde gelegt, die bei der hydraulischen Dimensionierung eines Abwasserkanals von einem pauschalen Fremdwasserzuschlag von 100% ausgeht (s. Abschn. 2.1.3). Wird der Fremdwasseransatz mit diesen pauschalen Ansätzen berücksichtigt, so sind die Konsequenzen für die Gewässereinleitungen, wie etwa Dauer und Häufigkeit von Mischwasserentlastungen, zu verifizieren. Es liegt auf der Hand, dass bei einer realitätsnahen Bemessung von Abwasseranlagen, z.B. auf Basis von Messungen, die betrieblichen Schwierigkeiten geringer sind und es daher zielführend ist, die Bemessung zukünftig realitätsnah auf Grundlage von Messdaten vorzunehmen. Hohe Fremdwasseranteile können von Aufsichtsbehörden geduldet werden, wenn vom Abwasserbeseitigungspflichtigen ganzheitliche, zeitnahe und spezifizierte Maßnahmen zur Reduzierung oder Beseitigung der Fremdwasserbelastung vorgesehen sind. Die Stadt Altena weist nach ersten Analysen eine spezifische Fremdwasserspende von 0,34 l/s·ha auf, welche den planerischen Bereich von 0,05 bis 0,15 l/(s·h_{red}) nach Arbeitsblatt ATV-A 128 [23] weitaus überschreitet (s. Abschn. 1.3).

Wenn Handlungsbedarf besteht, kann die Wasserbehörde (Bezirksregierung) eine Ordnungsverfügung zur Sanierung des öffentlichen Kanalnetzes an die Kommunen aussprechen. In schwerwiegenden Fällen besteht die Option, bauplanungsrechtliche

Einschränkungen der Abwasseranlagen zu verhängen.

Aufgrund eines erhöhten Umweltbewusstseins und des Wunsches nach einem verbesserten Grundwasserschutz fand die Fremdwasserproblematik am 31.12.2007 Eingang in das Nordrhein – Westfälische Landeswassergesetz (LWG NRW) [206]. Gem. § 61a LWG NRW [206] muss in Nordrhein – Westfalen jeder Grundstückseigentümer spätestens bis zum 31. Dezember 2015 den Dichtheitsnachweis seiner Grundstücksentwässerungsleitung nachweisen. Darüber hinaus ist weiterhin geregelt:

- Die Kommunen dürfen satzungsrechtlich Schächte auf den privaten Grundstücken fordern.
- Wiederholung der Dichtheitsprüfungen spätestens alle 20 Jahre.
- Vorgaben von Kommunen zur Festlegung kürzerer Zeiträume (z.B. Wasserschutzgebiete, Koordinierung mit der Sanierung der öffentlichen Kanäle....).
- Bei Wasserschutzgebieten sind die Kommunen zur Bürgerberatung und -information über Dichtheitsprüfungen verpflichtet.
- Bei Bürgerberatungen sind die Kommunen zur Bürgerberatung und -information über Dichtheitsprüfungen verpflichtet.
- Die Anforderungen an Sachkundige können von der obersten Wasserbehörde durch Verwaltungsvorschriften festgelegt werden. Bis dahin können die Kommunen in der Entwässerungssatzung selber Anforderungen festlegen.

Folgende Details zum Dichtheitsnachweis stehen den Kommunen weiterhin frei, wie z.B.:

- Die Wahl des Nachweisverfahrens (optische Inspektion, Prüfung mit Luft oder Wasser als Prüfmedium)
- Die Art der Dokumentation des Dichtheitsnachweises
- Strafmaßnahmen bei Nichterfüllung (§ 161 LWG NRW) [206]

Nach § 53 c des LWG NRW [206] ist grundsätzlich geregelt, dass die Kosten

- der Beratung der Anschlussnehmer im Zusammenhang mit dem Anschluss des Grundstücks an die öffentliche Abwasser- oder Fremdwasseranlage,
 - zur Ableitung oder Behandlung von Grund- und Dränagwasser über öffentliche Abwasser- oder Fremdwasseranlagen und
 - zur Verbesserung der Vorflut für die Zwecke der getrennten Niederschlagswasser- und Fremdwasserbeseitigung
- umlagefähig in die Abwassergebühr sind.

Die Abwassersatzung der Stadt Altena [67] sieht in § 15 Abs. (2) vor, dass entsprechende Dichtheitsprüfungen nur durch „*von der Stadt zugelassene Sachkundige oder von der Stadt selbst durchgeführt werden*“.

U.a. der Fremdwasserproblematik Rechnung tragend, ist in der Abwassersatzung der Stadt Altena [67], § 7 Abs. (1) c) und d) außerdem festgelegt, dass in die öffentliche Abwasseranlage² Abwasser, dass die Abwasseranlage in ihrer Funktionsfähigkeit oder Unterhaltung gefährdet, erschwert oder behindert bzw. den Betrieb der Abwasserbehandlung erheblich erschwert oder verteuert, nicht eingeleitet werden darf. § 7 Abs. (2) k) der Abwassersatzung der Stadt Altena [67] schließt insbesondere die Einleitung von Grund-, Drän- und Kühlwasser explizit aus, sofern dies nicht nach § 7 Abs. (7) genehmigt wurde. Zuwiderhandlungen können als Ordnungswidrigkeit geahndet werden. § 7 Abs. (8) a) der Abwassersatzung der Stadt Altena [67] erlaubt es der Stadt, die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um „*dass Einleiten oder Einbringen von Abwasser ... zu verhindern*“, welches vorgenannte Regelungen nicht einhält.

² In Abhängigkeit von dem kommunalen Entwässerungssatzungen ist die Schnittstelle zwischen öffentlicher Kanalisation und privaten Entwässerungsanlagen am Anschlussstutzen, an der Grundstücksgrenze oder am Revisionsschacht festgelegt. Im vorliegenden Anwendungsfall ist gem. Abwassersatzung der Stadt Altena [67] lediglich der Abwasserkanal Teil der öffentlichen Abwasseranlage. Unabhängig von den Grundstücksgrenzen sind die Anschlussstutzen, die Anschlusskanäle („*Grundstücksanschlussleitungen*“ und „*Hausanschlussleitungen*“) und Grundleitungen Bestandteile der „*haustechnischen Abwasseranlagen*“. Ausgenommen hiervon sind die Anschlusskanäle in Gebieten, in denen die Abwasserbeseitigung mittels Druckentwässerung erfolgt.

Nach § 13 Abs. (5) der Abwassersatzung der Stadt Altena [67] obliegen dem Grundstückseigentümer die Herstellung, Erneuerung oder Veränderung sowie die laufende Unterhaltung der „*haustechnischen Abwasseranlagen*“ auf dem anzuschließenden Grundstück bis zur öffentlichen Abwasseranlage. Nach Abs. (6) des § 13 [67] kann die Stadt jederzeit fordern, die vorhandenen Abwasseranschlüsse in einen Zustand zu bringen, welcher den Anforderungen der Abwassersatzung bzw. der BauO NRW [68] entspricht. Gem. § 19 Abs. (1) der Abwassersatzung der Stadt Altena [67] hat der Anschlussnehmer bzw. Indirekteinleiter für eine ordnungsgemäße Benutzung der „*haustechnischen Abwasseranlagen*“ zu sorgen. Er haftet der Stadt für alle Schäden und Nachteile, die ihr „*infolge eines mangelhaften Zustandes oder einer satzungswidrigen Benutzung der haustechnischen Abwasseranlagen oder infolge einer satzungswidrigen Benutzung der öffentlichen Abwasseranlage entstehen*“. Entsprechend ist es der Stadt Altena möglich, Sanierungskosten bei den Eigentümern mittels entsprechend inhaltlich bestimmter Sanierungsverfügung oder späterer Kostentragung einzufordern. Als Grundlage hierfür können auch TV-Kanalinspektionen der Grundstücksentwässerung aus dem öffentlichen Abwasserkanal heraus herangezogen werden, die der Stadt Altena basierend auf dem in § 18 Abs. (3) der Abwassersatzung verankerten Betretungsrecht zustehen.

Darüber hinaus spielen die kommunalen Entwässerungssatzungen eine Rolle bei der Beurteilung von Fehlan schlüssen, bspw. von Dränagen, die nach Bau- nicht aber nach Wasserrecht Bestandsschutz genießen. Maßgeblich sind diesbezüglich die rechtlichen Grundlagen (Entwässerungssatzungen) zum Zeitpunkt des Baus.

Strafrechtliche Regelungen bezüglich Fremdwasser betreffen z.B. § 324 ff. StGB [69] bzw. § 161 LWG NRW [206].

Der kurze Exkurs in die rechtlichen Rahmenbedingungen macht deutlich, dass die Absenkung des Grundwasserspiegels durch undichte Abwasserleitungen und –kanäle einen unrechtmäßigen Zustand darstellt und durch eine Sanierung lediglich der ursprüngliche Zustand, der durch einen nach derzeitigem Wasserrecht zumeist nicht zulässigen Eingriff in das Grundwasser durch Benutzung, wieder hergestellt wird und dass – wenn die einschlägigen Verpflichtungen nicht oder nur unfreiwillig erfüllt werden – die rechtlichen Grundlagen für etwaige Kostentragungen für die Sanierung privater Entwässerungsleitungen vertiefend zu klären sind. Hierzu ist eine strukturierte und

koordinierte Vorgehensweise mit intensiver Betreuung der Grundstückseigentümer zur Beseitigung der Fremdwasserproblematik Voraussetzung, die auch entsprechende Akzeptanz bei den Haus- und Grundstückseigentümern findet. Ein Beispiel gibt die Koordinierung von Planungs- und Baumaßnahmen zur Fremdwasserverminderung im öffentlichen und privaten Bereich in der Stadt Rheine durch den Netzbetreiber [64].

3 Konzeptionelle Entwicklung von möglichen Maßnahmen zur Verhinderung des Anstiegs des Grundwasserspiegels, Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser und Maßnahmen zur Vermeidung von Grundwasserableitungen zu den Liegenschaften unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen

Für eine erfolgreiche Reduzierung oder sogar Vermeidung des Fremdwassers sind im nächsten Arbeitsschritt neben den o.a. rechtlichen Aspekten die technischen Einsatzrandbedingungen der Maßnahmen zur

- Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs,
- Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser und
- Vermeidung von Grundwasserableitungen zu den Liegenschaften

unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen zu betrachten. Diese Zusammenhänge sollen daher in einem nächsten Schritt genauer untersucht werden.

Im Hinblick auf die Sanierung der Abwasserleitungen und -kanäle sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu berücksichtigen. Diese werden vorrangig durch das Regelwerk des Deutschen Instituts für Normung e.V. (DIN) und das Regelwerk (Arbeits- und Merkblätter) der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA, ehem. ATV / DVWK) repräsentiert. Des Weiteren sind materialspezifische Regelwerke, Verlegeanleitungen der Hersteller sowie, je nach Anwendungsfall, z.B.

auch straßenbauspezifische Regelwerke, örtliche Entwässerungssatzungen, Unfallverhütungsvorschriften etc. maßgebend. Einen Überblick über die wichtigsten allgemeinen und baulichen Randbedingungen, die sich aus den allgemein anerkannten Regeln der Technik für die Planung und Ausführung von Erneuerungsmaßnahmen von Abwasserleitungen und -kanälen einschließlich Grundstücksentwässerung in offener Bauweise und den Bau von Dränagemaßnahmen und Versickerungsanlagen ergeben und die Durchführbarkeit der verschiedenen Konzepte maßgeblich beeinflussen, gibt Abschnitt 3.1

3.1 Anforderungen gem. den allgemein anerkannten Regeln der Technik

3.1.1 Anforderungen an die Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen

Nach DIN EN 752 – 5 [70] entsprechen die Leistungsanforderungen an ein saniertes System denen an ein neues System, wobei besonders

- hydraulische Leistungsfähigkeit
- Betrieb und Unterhalt
- Auswahl der Werkstoffe
- Einschränkungen bezüglich Zugänglichkeit und Einbaubedingungen
- Behandlung der Anschlüsse
- Werterhaltung

zu beachten sind.

Bei der Planung der Sanierungsmaßnahmen ist dafür Sorge zu tragen, dass erforderlichenfalls das System des überplanten (Teil-)netzes den allgemein anerkannten Regeln der Technik angepasst wird. So sind – entgegen den allgemein anerkannten Regeln der Technik – die Schmutzwasserkanäle in Trennsystemen des

Öfteren mit Abschlügen in die Regenwasserkanalisation oder einen Vorfluter ausgestattet. Solche Entlastungen aus der Schmutzwasserkanalisation sollten eliminiert werden. Darüber hinaus ist das neu gefasste Fremdwasser aus Altlastenverdachtsflächen vor der Gewässereinleitung auf Schadstoffgehalt zu analysieren.

3.1.2 Bauliche Anforderungen an Abwasserleitungen und -kanälen

3.1.2.1 Grundlagen des Einbaus von Rohrleitungen in offener Bauweise

Die Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen in offener Bauweise ist vorrangig in DIN EN 1610 [71] bzw. Arbeitsblatt ATV-DVWK –A 139 [72] geregelt.

Für Schwerkraftentwässerungsanlagen außerhalb von Gebäuden ist zudem die Normenreihe DIN EN 752 maßgebend, während für Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden die Normenreihe DIN EN 12056 (hier nicht weiter behandelt) gilt. Allgemeines und Definitionen zu Schwerkraftentwässerungsanlagen außerhalb von Gebäuden sind in DIN EN 752-1 [5] enthalten. DIN EN 752-2 [73] behandelt die Anforderungen, DIN EN 752-3 [74] die Planung, DIN EN 752-4 [75] hydraulische und umweltschutztechnische Aspekte und DIN EN 752-7 [76] den Betrieb und Unterhalt von Schwerkraftentwässerungsanlagen außerhalb von Gebäuden.

Ergänzende nationale Festlegungen zu vorgenannten europäischen Normenreihen sowie zu in diesen Normen nicht geregelten Bereichen beinhaltet DIN 1986-100 [16].

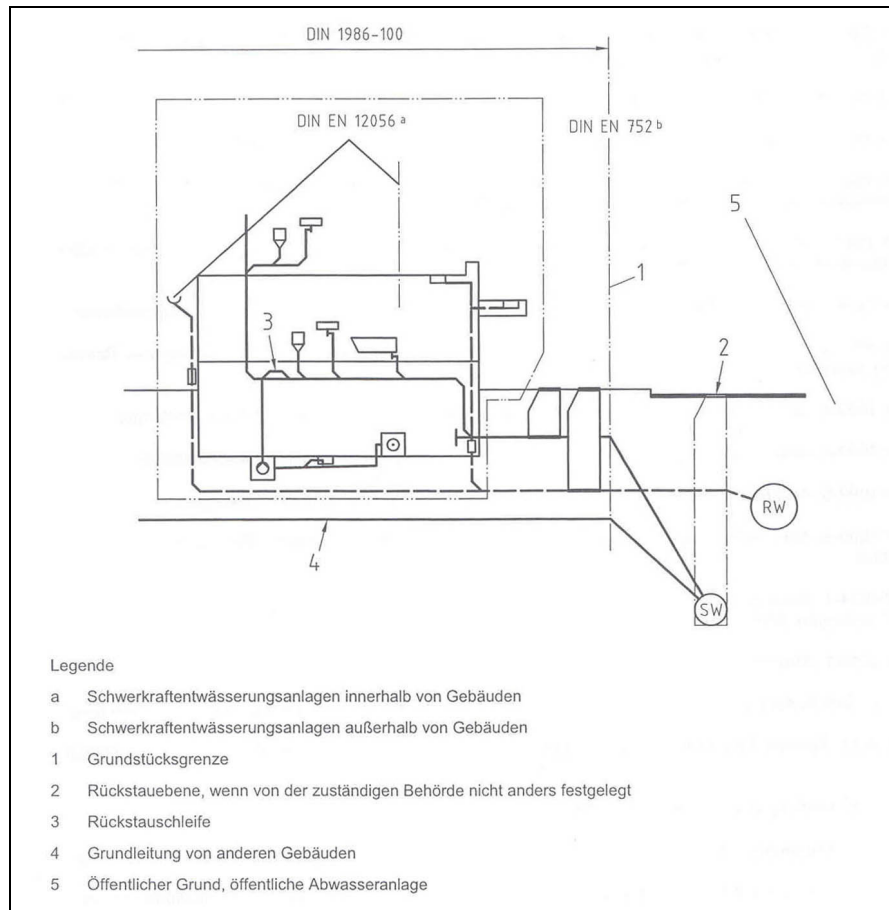
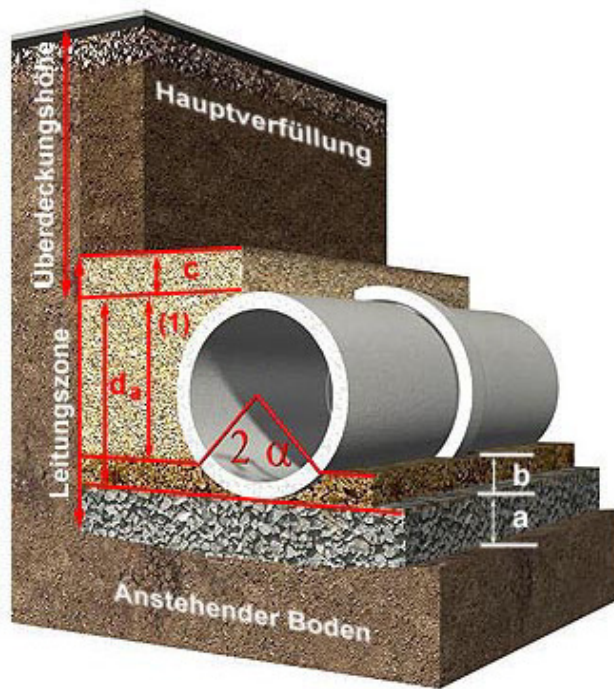


Bild 18 Prinzipskizze zum Anwendungsbereich der Regelwerke [16]

Zur besseren Verständlichkeit sind im Bild 19 Rohr, Hauptverfüllung und Leitungszone dargestellt. Die wesentlichen Begrifflichkeiten verdeutlicht Tabelle 5.



$b = k \cdot d$ mit $k \geq 0$, wobei
 a = Dicke der unteren Bettungsschicht
 $k = b/d$
 d_a = Rohraußendurchmesser
 b = Dicke der oberen Bettungsschicht
 c = Dicke der Abdeckung
 (1) = Seitenverfüllung
 2α = Auflagerwinkel

Bild 19 Rohr, Hauptverfüllung und Leitungshöhe gem. DIN EN 1610 [71] (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Tabelle 5 Definition von wesentlichen Begriffen nach DIN EN 1610 [71]

Begriff	Definition
Bettung	„Der Teil des Bauwerkes, der das Rohr zwischen der Grabensohle und der Seitenverfüllung oder der Abdeckung trägt. Die Bettung besteht aus oberer und unterer Bettungsschicht. Bei direkter Auflagerung auf gewachsenem Boden ist dieser die untere Bettungsschicht“
Seitenverfüllung	„Material zwischen Bettung und Abdeckung“
Abdeckung	„Schicht aus Verfüllmaterial unmittelbar über dem Rohrscheitel“
Leitungshöhe	„Verfüllung im Bereich des Rohres bestehend aus Bettung, Seitenverfüllung und Abdeckung“
Hauptverfüllung	„Verfüllung zwischen Oberkante Leitungshöhe und Oberkante Gelände oder Damm, oder, soweit zutreffend, der Unterkante der Straßen- oder Gleiskonstruktion“
Mindestgrabenbreite	„Mindestmaß, aus Sicherheitsgründen und für die Ausführung erforderlich, zwischen den Grabenwänden an der Oberkante der unteren Bettungsschicht oder, falls vorhanden, zwischen dem Grabenverbau (Pöhlung) in jeder Tiefe“

Bauteile und Baustoffe

Die einschlägigen technischen Regelwerke [71] fordern, dass Bauteile und Baustoffe die Anforderungen „*nationaler Normen, die, falls vorhanden, europäische Normen umsetzen oder europäischen technischen Zulassungen entsprechen*“, erfüllen. Sind Normen oder europäische technische Zulassungen nicht vorhanden, müssen sie mit den Planungsanforderungen übereinstimmen. DIN 1986 [16] nennt als sogenannte Grundnorm auch die mitgeltenden Normen und verweist darauf, dass werksmäßig hergestellte Bauteile und Baustoffe nur verwendet oder eingebaut werden dürfen, wenn sie entsprechend den Prüfzeichenverordnungen der Länder ein Prüfzeichen haben. Prüfzeichenpflichtig sind u.a. die Rohre für Anlagen zur Ableitung von Abwasser, ihre Formstücke und Dichtmittel. In den Prüfbescheiden werden die Verwendungsbereiche und die jeweils spezifischen Bedingungen für den Einbau und Betrieb festgelegt [10]. Ergänzende Anleitungen und Angaben der Hersteller, wie z.B. Verlegeanleitungen, sind zu beachten. Bei der Auswahl der Werkstoffe ist insbesondere auf die Abwasserbeschaffenheit, Boden- und Grundwassereigenschaften sowie bodenmechanische Eigenschaften sowie die Nutzungsdauer zu achten. Recyclingbaustoffe sind gesondert nach Eignung und Umweltverträglichkeit (Faktoren: Gewinnung / Herkunft, Aufbereitung / Lagerung, Raumbeständigkeit, Auslaugungswiderstand, Kornform und -festigkeit, Korngrößenverteilung, Verdichtungsfähigkeit, Reinheit) zu prüfen.

Boden und Grundwasser dürfen durch Bauteile und Baustoffe nicht beeinträchtigt werden.

Bauteile

Bauteile sollten einer regelmäßigen Güteüberwachung unterliegen.

Baustoffe für die Leitungszone

Baustoffe für die Leitungszone müssen nach DIN EN 1610 [71] bzw. ATV-DVWK – A 139 [72] besonderen Anforderungen entsprechen, um dauerhafte Stabilität und die Lastaufnahme der Rohrleitung im Boden sicher zu stellen. Diese Baustoffe dürfen das Rohr, den Rohrwerkstoff sowie Grundwasser und anstehenden Baugrund nicht beeinträchtigen. Gefrorenes Material darf nicht verwendet werden. Speziell ist hierbei

z.B. das DIBt-Merkblatt „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ [77] zu beachten.

Verfüllböden, welche die Anforderungen für die Leitungszone nach DIN EN 1610 [71] bzw. ATV-DVWK – A 139 [72] einhalten, sind

- anstehende, verdichtbare (falls gefordert) Böden, frei von rohrschädigenden Materialien (z.B. Überkorn, Tonklumpen > 75 mm) oder entsprechend nachfolgend aufgeführte Anforderungen an körnige, ungebundene Baustoffe
- körnige, ungebundene Baustoffe wie
 - *Ein-Korn-Kiese* (z.B. Nenngrößen 8 mm, 16 mm oder 32 mm)
 - Material mit abgestufter Körnung (z.B. Nenngrößen 2 / 8 mm, 2 / 16 mm, 8 / 16 mm oder 16 / 32 mm)
 - *Sande* (z.B. Nenngrößen 0 / 1 mm, 0 / 2 mm, 0 / 4 mm)
 - Korngemische („All - in“, Nenngrößen z.B. 16 mm, 20 mm, 32 mm oder 40 mm) wie z.B. *stark sandige Kiese* (mit Größtkorn 22 mm, Sandanteil > 15% und Ungleichförmigkeitsgrad $U = 10$)

mit einem zulässigen Größtkorn in der Bettung von 22 mm, wenn $DN / ID \leq 200$ mm bzw. von 40 mm, wenn $200 \text{ mm} < DN / ID \leq 600$ mm (Seitenverfüllung / Abdeckung gem. Planungsanforderungen)

- gebrochene Baustoffe mit einem zulässigen Größtkorn von 11 mm, wenn $DN / ID < 900$ mm bzw. von 20 mm, wenn $DN / ID \geq 1000$ mm, z.B. *Brechsand-Splitt - Gemische*
- *hydraulisch gebundene Baustoffe* (z.B. stabilisierter Boden, Leicht-, Magerbeton).

Für sonstige Baustoffe, z.B. selbstverdichtende Verfüllmaterialien und Recyclingbaustoffe, sind Eignungsprüfungen durchzuführen.

Nach ATV-DVWK – A 139 [72] sind die zuvor genannten und *kursiv* dargestellten Verfüllmaterialien insbesondere als Baustoffe für den Einbau in die Leitungszone geeignet.

Die Böden werden für die Eignung als Verfüllmaterial und zur Beschreibung bei der statischen Berechnung wie in ATV-A 127 [97] in Gruppen eingeteilt. Die entsprechenden Bodenarten nach DIN 18196 „Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke“ [78] sind zur Erläuterung in Klammern aufgeführt [79]:

- Gruppe 1: Nichtbindige Böden
(GE, GW, GI, SE, SW, SI)
- Gruppe 2: Schwachbindige Böden
(GU, GT, SU, ST)
- Gruppe 3: Bindige Mischböden, Schluff (bindiger Sand und Kies, bindiger, steiniger Verwitterungsboden)
(G $\bar{U}$, G $\bar{T}$, S $\bar{U}$, S $\bar{T}$, UL, UM)
- Gruppe 4: Bindige Böden (z.B. Ton)
(TL, TM, TA, OU, OT, OH, OK, UA)

Baustoffe für die Hauptverfüllung

Baustoffe für die Hauptverfüllung müssen ebenfalls mit den Planungsanforderungen übereinstimmen. Böden, welche die Anforderungen hinsichtlich der Leitungszone erfüllen, können ebenso wie Aushub mit darin enthaltenen Steinen mit einer max. Korngröße von 300 mm oder der Dicke der Abdeckung oder der Hälfte der Dicke der zu verdichtenden Schicht – der jeweils geringere Wert ist maßgebend – auch in der Hauptverfüllung verwendet werden.

Zumeist werden in der Praxis – vor allem in der Leitungszone – angelieferte körnige, ungebundene Baustoffe eingebaut. Typische Verfüllböden sind nach DIN 18130 [80] größenordnungsmäßig als schwach bis stark durchlässig, zumeist aber als durchlässig bis stark durchlässig einzustufen und damit um bis zu einem Faktor von 10^6 durchlässiger als eine Vielzahl natürlich vorkommender Böden bzw. anstehender Fels (in Abhängigkeit der Lithologie sehr schwach durchlässig bis durchlässig). Im Bild 20 sind beispielhaft die Durchlässigkeitsbeiwerte in Abhängigkeit von der Bandbreite der Kornverteilung typischer Verfüllböden und der im vorliegenden Anwendungsfall

anstehenden Böden bzw. Felshorizonte aufgetragen.

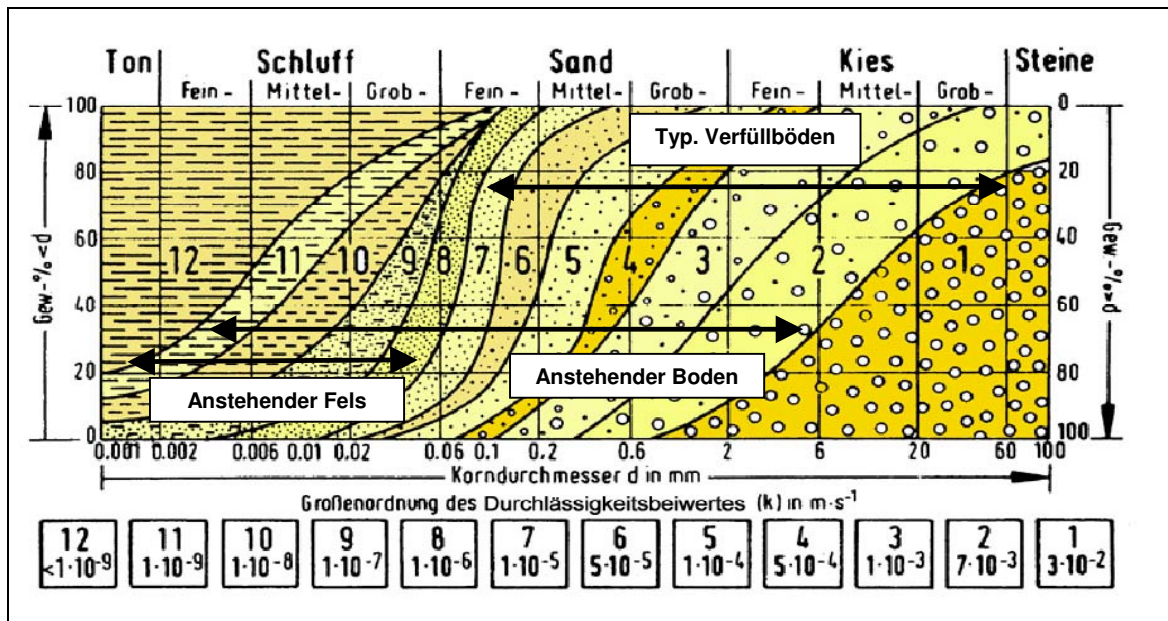


Bild 20 Durchlässigkeitsbeiwerte von Böden in Abhängigkeit der Kornverteilung [81]

Zur Rückverfüllung des Leitungsgrabens gelangen in der Bundesrepublik Deutschland seit etwa Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts immer häufiger Boden-Bindemittel-Gemische als sogenanntes zeitweise verflüssigtes, selbstverdichtendes und selbsterhärtendes Verfüllmaterial, in DIN EN 1610 [71] „stabilisierter Boden“ (s.o.) genannt, zur Anwendung [82, 83, 84, 85, 86, 87].

Die o.a. Varianten, die gemäß der Aufzählung nach DIN EN 1610 [71] der Hauptgruppe „hydraulisch gebundene Baustoffe“ und hier speziell der Gruppe der „stabilisierten Böden“ zuzuordnen sind, bestehen prinzipiell aus den Grundmaterialien [88, 89]:

- Ausgangsbaustoff: angelieferte Zuschlagstoffe oder (Recycling-)Materialien oder örtlich anstehender Boden (z.B. Grabenaushub) (etwa 95%)
- Plastifikator, z.B. Mischung aus Wasser mit quellfähigen Tonen (Bentonit), Schaumbildnern oder anderen mineralischen, pflanzlichen und/oder anorganischen Zusätzen
- Stabilisator (Bindemittel), z.B. Zement oder Kalk (zusammen mit Plastifikator ca. 5%).

Nachfolgend soll für die Verfüllmaterialien-Gruppe, welche überwiegend aus an anderen Orten künstlich gebrochenen und ins Herstellerwerk angelieferten Zuschlagstoffen sowie zugemischten Bindemitteln bestehen, der Begriff „hydraulisch gebundener Verfüllbaustoff“ verwendet werden. Hierzu zählt auch fuma®Boden (s. Abschn. 3.2.3.1). Der Begriff „hydraulisch gebundener Verfüllboden“ kennzeichnet örtlich anstehende, ggf. recycelte bzw. vor Ort behandelte und mit Bindemitteln versetzte sowie wieder eingebaute Böden.

Der hydraulisch gebundene Verfüllbaustoff nimmt nach Vermischen der o.g. Bestandteile eine breiig-weiche bis flüssige Konsistenz an und verfestigt sich nach dem Einbau dauerhaft nur so weit, dass er im Bedarfsfall wieder gelöst werden kann. Durch weitere aus der Betontechnologie bekannte Zusätze (z.B. Erstarrungsbeschleuniger oder -verzögerer) können die Abbindedauer und andere wichtige Eigenschaften wie z.B. Schwingungsdämpfung, Korrosionsschutzwirkung, Wärmedämmung, Wasserdurchlässigkeit, Farbe, Fließfähigkeit usw. beeinflusst werden.

Der hydraulisch gebundene Verfüllbaustoff ermöglicht es, ohne mechanische Verdichtung Räume, die nicht oder oft nur bedingt erreichbar sind (z.B. Rohrwickelbereiche), satt zu verfüllen und die notwendige Druck- und Tragfestigkeit zu erlangen. Der in der Leitungszone eingebrachte und erhärtete Verfüllbaustoff entspricht nach Verfestigung der Bodenklassen 3 bis 4 („leicht bis mittelschwer lösbare Bodenarten“) nach DIN 18300 [90], so dass die Leitungen jederzeit von Hand unter Verwendung von Hilfswerkzeugen bzw. maschinell problemlos durch Bagger mit Tieflöffel oder Greifer, Rad-/Raupehlader [91] oder bedingt Saugbagger (in der Regel nur Bodenklasse 3) [92] wieder freigelegt werden können.

3.1.2.2 Konventionelle Verlegung nach DIN EN 1610 bzw. ATV-DVWK-A 139

Grundsätzlich erfolgt die konventionelle Verlegung von Rohrleitungen unter Ausführung der folgenden, in der Regel abschnittsweise wiederkehrenden Arbeitsschritte:

- Herstellen und Sichern des Leitungsgrabens
- Herstellen des Rohraufagers und Verlegen der Rohrleitung

- Verfüllen und Verdichten der Leitungszone
- Überschütten der Rohrleitung und Entfernen des Verbaus.

Herstellen und Sichern des Leitungsgrabens

Mindestgrabenbreite

Die Grabenbreite – gemessen auf Niveau Grabensohle als lichter Abstand zwischen der Rohraußenkante im Schaftbereich und der Innenkante des Verbaus bzw. der geböschten Grabenwand – ist so auszulegen, dass seitlich der Rohre ein ausreichender Arbeitsraum gewährleistet und ein fachgerechter und sicherer Einbau der Rohre sichergestellt ist.

Die erforderlichen Mindestgrabenbreiten (s. Bild 21) sind in DIN EN 1610 [71] bzw. ATV-DVWK - A 139 [72] in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers (Außendurchmesser bzw. lichte Höhe bei nicht kreisförmigen Querschnitten), der Verbauart und der Grabentiefe, wie im Bild 22 und Bild 23 dargestellt, festgelegt. Der jeweils größere Wert ist maßgebend.

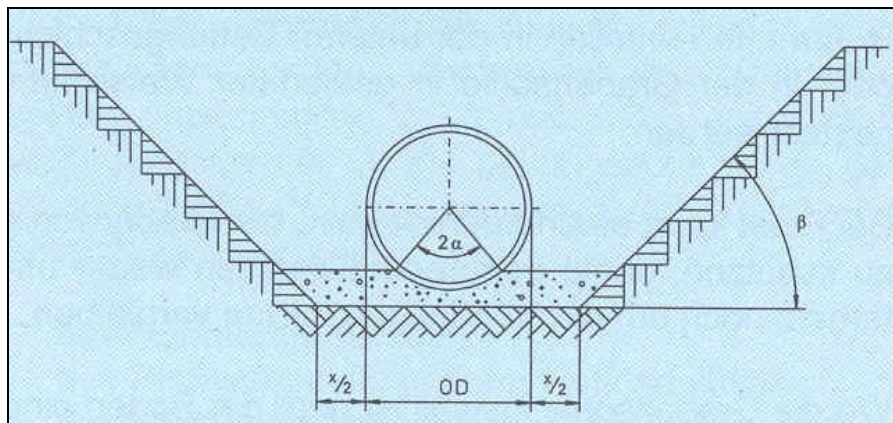


Bild 21 Böschungswinkel, Arbeitsraumbreite gem. ATV-DVWK - A 139 [72]

DN	Mindestgrabenbreite (OD + x) m		
	verbauter Graben	unverbauter Graben	
		$\beta > 60^\circ$	$\beta \leq 60^\circ$
≤ 225	OD + 0,40	OD + 0,40	
> 225 bis ≤ 350	OD + 0,50	OD + 0,50	OD + 0,40
> 350 bis ≤ 700	OD + 0,70	OD + 0,70	OD + 0,40
> 700 bis ≤ 1200	OD + 0,85	OD + 0,85	OD + 0,40
> 1200	OD + 1,00	OD + 1,00	OD + 0,40

Bei den Angaben OD + x entspricht x/2 dem Mindestarbeitsraum zwischen Rohr und Grabenwand bzw. Grabenverbau (Pölzung).
Dabei ist:
OD der Außendurchmesser, in m
 β der Böschungswinkel des unverbauten Grabens, gemessen gegen die Horizontale (siehe Bild 2)

Bild 22 Mindestgrabenbreite in Abhängigkeit von der Nennweite DN / OD nach DIN EN 1610 [71]

Grabentiefe m	Mindestgrabenbreite m
< 1,00	keine Mindestgrabenbreite vorgegeben
$\geq 1,00 \leq 1,75$	0,80
> 1,75 $\leq 4,00$	0,90
> 4,00	1,00

Bild 23 Mindestgrabenbreite in Abhängigkeit der Grabentiefe nach DIN EN 1610 [71]

Bei der konventionellen Verlegung ist ein ausreichender Arbeitsraum im Leitungsgraben mit entscheidend für eine gute Verdichtung der Zwickelbereiche und der seitlichen Verfüllung und damit für die Standsicherheit der Rohre. Er muss bereits bei der Planung in angemessener Breite berücksichtigt werden. Dies bedeutet in der Regel, dass größere Grabenbreiten als die Mindestgrabenbreite vorgesehen werden müssen.

Wenn während der Bauausführung unterirdisch liegende Bauwerke, z.B. Schächte, erreicht werden müssen, beträgt die Mindestbreite des gesicherten Arbeitsraums allseitig 0,50 m [71].

Wenn zwei oder mehr Rohre für Abwasserleitungen / -kanäle verlegt werden, muss zwischen den Rohren ebenfalls der horizontale Mindestarbeitsraum von 0,35 m (Rohre $\leq$ DN / OD 700) bzw. 0,50 m (Rohre $>$ DN / OD 700) freigehalten werden [71]. In DIN 4124 [93] ist in Abhängigkeit vom äußeren Leitungs- bzw. Rohrschaftdurchmesser OD mit mindestens 0,20 m auszuführen. Bezüglich der Mehrfach – Verlegung mit

anderen Ent- und Versorgungsleitungen sind werkstoff- und systemabhängige Mindestabstände zu berücksichtigen [72].

Für sogenannte Stufengräben, d.h. Gräben mit variablen Tiefen gelten die Festlegungen hinsichtlich der lichten Mindestgrabenbreiten gem. DIN 4124 [93]. Als Grabentiefen sind die im Bild 24 mit h_1 und h_2 bezeichneten Höhen der jeweiligen Einzelstufen anzunehmen. Die Bemessung der Mindestgrabenbreiten b_1 und b_2 ist in Abhängigkeit der Verbauart in der DIN 4124 [93] geregelt.

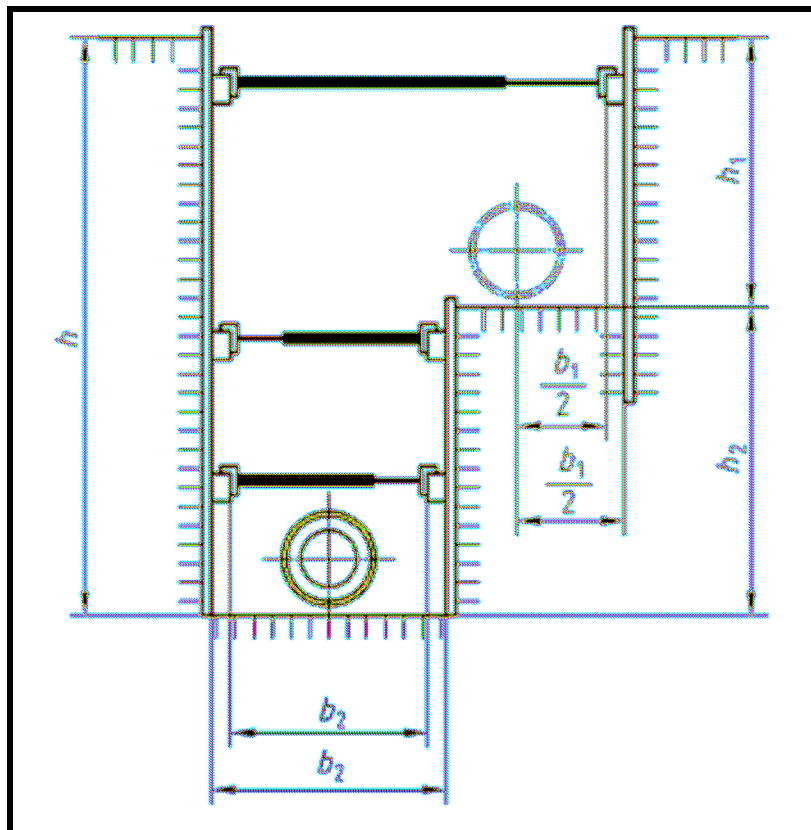


Bild 24 Lichte Mindestgrabenbreite für Stufengräben mit Arbeitsraum [93]

Wenn Abwasserleitungen und – kanäle nach dem Verlegen mit Beton ummantelt werden und dafür eine gesonderte Schalung verwendet wird, gelten die Regelungen für Baugruben nach DIN 4124 [93].

Die Mindestgrabenbreite darf nur unterschritten werden, wenn dies planerisch berücksichtigt wurde und der Graben durch das Baustellenpersonal nicht betreten werden muss, z. B. beim Einsatz von automatisierter Verlegetechnik und Verfüllen der Leitungszone mit Bodenmörtel, Dämmen o.ä..

Ein diesbezügliches automatisiertes Verlegeverfahren wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens [94] (Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Stein, S&P Consult GmbH, Bochum) entwickelt und wurde auf einer Pilotbaustelle in Dortmund im Auftrag des Dortmunder Tiefbauamtes erstmals unter realen Randbedingungen eingesetzt. Hier war ein vorhandener Kanal auf einer Länge von rund 65 m durch „Optimierte Rohre“ der Nennweite DN 700 zu erneuern. Die Baustelle zeichnete sich durch eine äußerst beengte innerstädtische Lage sowie eine relativ große Verlegetiefe des Kanals von im Mittel etwa 6,0 m aus (s. Bild 25).



Bild 25 Optimiertes Rohr (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Auch unter diesen schwierigen Randbedingungen konnte die Verlegung der „Optimierten Rohre“ mit dem neuen Verlegeverfahren erfolgreich abgeschlossen werden.

Durch den Einsatz einer speziellen Schnellwechsellvorrichtung konnten alle Anbaugeräte am Hydraulikbagger – Tieflöffel, Greifer, Rohrverlegegerät, Separator zur Bodenaufbereitung, Verdichtungsgerät etc. – problemlos gewechselt werden, so dass

die Baustelle mit nur einem gummibereiften Bagger realisiert werden konnte.

Besonders hervorzuheben ist, dass eine Aufbereitung des ansonsten zum Wiedereinbau nicht geeigneten bindigen Grabenaushubs direkt auf der Baustelle umgesetzt wurde, so dass lediglich geringe Restmengen des Bodens zur Deponie abgefahren werden mussten.

Trotz der geringen Grabenbreite war eine lage- und höhenmäßig exakte Verlegung der Rohre möglich.

Der schmale Bereich zwischen der Rohraußenkante und dem gewachsenem Boden wurde gleichzeitig mit dem Ziehen der unteren Verbautafeln mit einem ebenfalls auf der Baustelle angemischten fließfähigen und innerhalb weniger Stunden hydraulisch abbindenden Bodenmaterial verfüllt, so dass eine homogene Einbettung der Rohre dauerhaft sichergestellt ist.

Die Verdichtung des aufbereiteten Aushubbodens im Bereich der Hauptverfüllung erfolgte lagenweise mit einem Anbauverdichter.

Die Abnahme der neuen Kanalhaltung durch das Dortmunder Tiefbauamt erfolgte nach der Durchführung von Muffendichtheitsprüfungen sowie einer TV-Inspektion ohne Beanstandung.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Optimierte Verlegeverfahren für den Einsatz in der Praxis ohne weitere Zusatzforschungen geeignet ist.

Für die Bauausführung sind zusätzlich auch die Kenntnis und Einhaltung sonstiger Normen, z.B. DIN 4124 [93], Richtlinien, Merkblätter, weiterer technischer Vorschriften (ZTV) und insbesondere der Unfallverhütungsvorschriften der Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG) erforderlich.

Die Art der erforderlichen Sicherung von Rohrgräben, festgelegt in DIN 4124 [93], richtet sich wesentlich nach den durchzuführenden Arbeiten, den angetroffenen Bodenarten, den Grundwasserverhältnissen sowie der Tiefe des Grabens und der Neigung der umgebenden Geländeoberfläche. Es ist dabei grundsätzlich nach unverbauten Gräben mit geböschten Wänden sowie verbauten Gräben zu

unterscheiden. Bei allen Gräben ist in der Regel ab einer Grabentiefe von 0,80 m ein beidseitiger 0,60 m breiter Schutzstreifen anzuordnen.

Geböschte Gräben³

Unverbaute Gräben mit senkrechten Wänden sind i.d.R. nur bis zu einer Tiefe von 1,25 m zulässig (s. Bild 26).

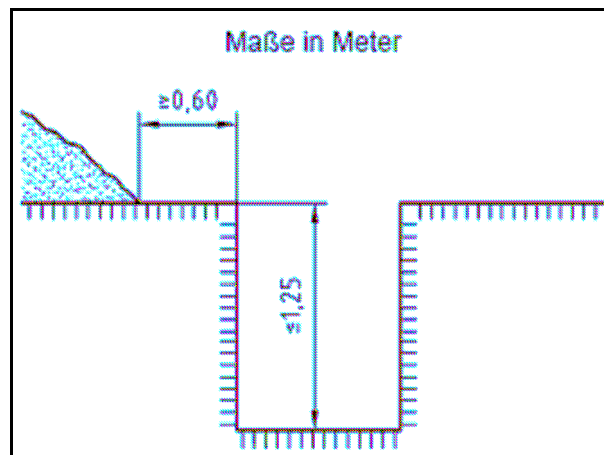


Bild 26 Graben mit senkrechten Wänden [93]

In mind. steifen bindigen Böden und im Fels sind unverbaute Gräben mit senkrechten Wänden bis zu einer Tiefe von 1,75 m i.d.R. dann zulässig, wenn der mehr als 1,25 m über der Sohle liegende Bereich der Wand mit einem Winkel von 45° geböscht oder in ähnlicher Art weiterer Boden entfernt wird (s. Bild 27).

³ Die Ausführungen gelten i.d.R. für Gräben, die betreten werden

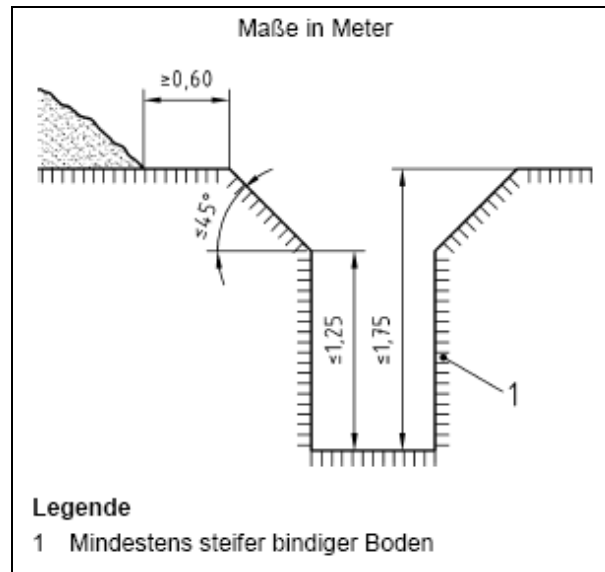


Bild 27 Graben mit senkrechten Wänden und geböschten Kanten [93]

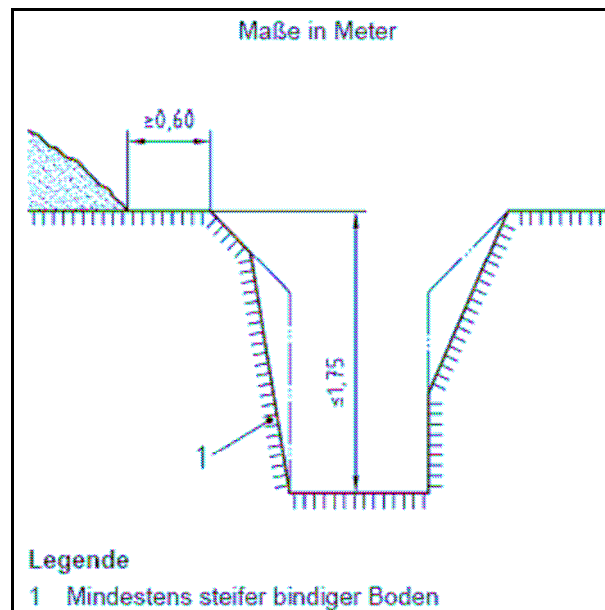


Bild 28 Varianten zu den Mindestanforderungen nach Bild 14 [93]

Bei hiervon abweichenden Fällen richtet sich der erforderliche Böschungswinkel wesentlich nach den bodenmechanischen Eigenschaften des anstehenden Bodens. Ohne rechnerischen Nachweis dürfen folgende Böschungswinkel nicht überschritten werden:

- $\beta = 45^\circ$ bei nichtbindigen u. weichen bindigen Böden

- $\beta = 60^\circ$ bei mindestens steifen bindigen Böden
- $\beta = 80^\circ$ bei Fels.

Die o.g. Angaben gelten nur, wenn keine besonderen Einflüsse die Standsicherheit der Böschung beeinträchtigen.

Es ist auf einen ausreichenden Abstand von Verkehrslasten (Straßen- und Baufahrzeuge) zur Böschungskante zu achten. In Abhängigkeit der Belastung durch Fahrzeuge sind nach DIN 4124 [93] Mindestabstände zum Leitungsgaben von 1,0 m (allgemein zugelassene Straßenfahrzeuge und Baumaschinen ≤ 12 t) bis 2,0 m (schwerere Straßenfahrzeuge und Baumaschinen > 12 t bis 40 t) einzuhalten. Für Gräben bis zu einer Tiefe von 1,75 m gelten in Abhängigkeit der Ausführung besondere Mindestabstände entsprechend der Grabentiefe bzw. zwischen 0,6 m und 1,25 m.

Verbaute Gräben⁴

In mind. steifen bindigen Böden sowie im Fels darf i.d.R. bis in eine Tiefe von 1,75 m ein senkrechter Aushub erfolgen, wenn der höher als 1,25 m über Grabensohle liegende Teil der Grabenwand verbaut wird.

⁴ Die Ausführungen gelten für Gräben, die betreten werden

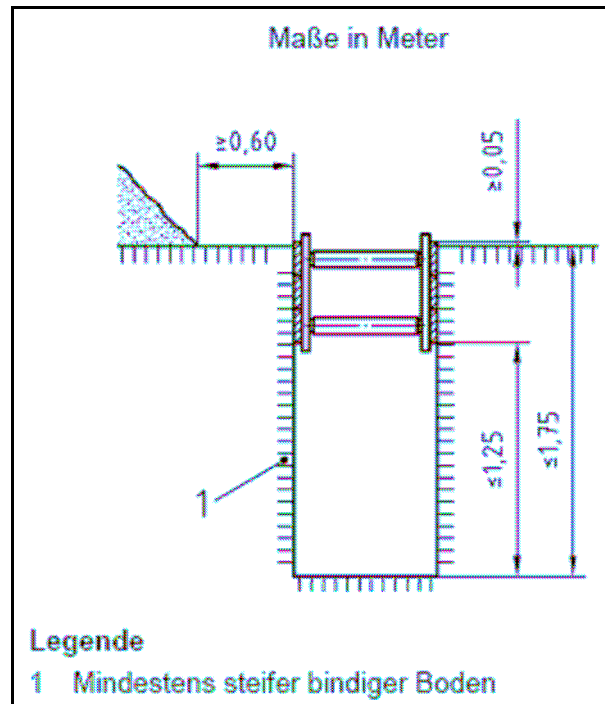


Bild 29 Teilweise verbauter Graben [93]

Bei Tiefen von mehr als 1,75 m ist ein vollflächiger Verbau oder die Ausbildung von geböschten Grabenwänden unter Beachtung der von der Bodenart abhängigen zulässigen Böschungswinkel notwendig.

Wird ein geböschter Voraushub getätigt, dann ist zwischen Verbau und Böschungsfuß ein mind. 0,60 m breiter Streifen anzuordnen.

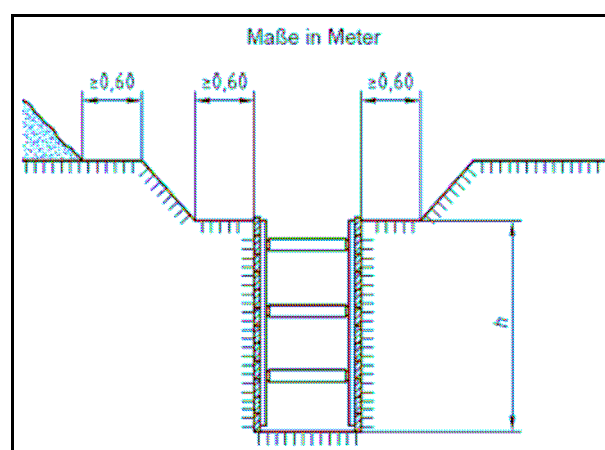


Bild 30 Verbauter Graben mit geböschtem Voraushub [93]

Bei nicht standfesten Böden ist ein Verbau bereits bei Grabentiefen von weniger als 1,25 m erforderlich.

Auch die Stirnflächen der Gräben sind durch Böschungen oder Verbau zu sichern. Lediglich bei Gräben bis zu einer Tiefe von 1,75 m und mind. steifen bindigen Böden kann auf diese Sicherung verzichtet werden.

Grabenverbau

Für den Grabenverbau existieren eine Vielzahl von möglichen Varianten. Dabei richtet sich die Art des geeigneten Verbaus nach den örtlichen Randbedingungen wie z.B. Bodenart, Grundwasserstand, Grabengeometrie (Tiefe und Breite), Anzahl von Zuläufen und kreuzenden Leitungen etc..

Die Art des Verbausystems wird in der Rohrstatik berücksichtigt und darf ohne Abstimmung mit dem Statiker nicht verändert werden.

Als übliche Verbauarten sind zu nennen:

- Waagerechter Verbau
- Senkrechter Verbau mit Holzbohlen / Kanaldielen / Spundwänden
- Trägerbohlwand
- Bohrpfahlwand
- Schlitzwand
- Gabenverbaugeräte.

In Tabelle 6 sind nach [95, 96] zusammenfassend ausgewählte Verbauarten qualitativ mit ihren Vor- und Nachteilen dargestellt:

Tabelle 6 Übersicht der gängigsten Verbauarten [95, 96]

		Vorteile	Nachteile
Grabenverbaugeräte	mittig gestützte	– kostengünstig – platzsparend beim Transport – Einbau nur in Absenkverfahren möglich	– nicht wasserdicht – Grabentiefe < 4,0 m – gleichbleibende Breite des Grabens – keine Leitungen im Grabenbereich – Einbau in Absenkverfahren nicht zulässig.
	randgestützte	– kostengünstig – platzsparend beim Transport – Einbau in Einstell- und Absenkverfahren möglich	– nicht wasserdicht – Grabentiefe < 6,0 m – gleichbleibende Breite des Grabens – keine Leitungen im Grabenbereich
	rahmengestützte	– kostengünstig – Platzsparend beim Transport – Einbau in Einstell- und Absenkverfahren möglich	– nicht wasserdicht – Grabentiefe < 6,0 m – gleichbleibende Breite des Grabens – keine Leitungen im Grabenbereich – Einbau in Absenkverfahren nicht zulässig.
Trägerbohlwand (Berliner Verbau)		– kostengünstig/wirtschaftlich – in nahezu allen Böden einsetzbar – flexible Gestaltung, gute Möglichkeit Hindernisse zu umgehen – besonders bei tiefen Baugruben geeignet – gute Rückbaubarkeit	– nicht wasserdicht – geringe Steifigkeit (d.h. Setzungen an benachbarten Bauwerken und Verkehrswegen zu erwarten) – für einen verformungsarmen Verbau nur bedingt geeignet – Rückbau erforderlich (bei Holzbohlen)
Spundwand	Kanaldielen	– leichte Anwendung – geringer Platzbedarf – kein Rückbau erforderlich	– nicht wasserdicht – hoher Personalaufwand

		Vorteile	Nachteile
	Spundwandprofile	– wasserdicht – schneller Baufortschritt – sofortige Belastbarkeit – Einbau unabhängig von Witterungsverhältnisse – geringer Personalaufwand – überschaubarer Geräteeinsatz – kein Rückbau erforderlich – Wiederverwendung möglich – tiefe Baugruben – schwierige Böden – es können auch hohe Vertikallasten abgetragen werden	– hohe Investitionskosten – Einsatzgrenze durch Rammbarkeit des Bodens bestimmt – wenig flexibel z.B. bei kreuzenden Leitungen – erschwelter Einbau durch Schloss – beim Ziehen der Bohlen können Hohlräume bzw. Setzungen entstehen – Lärm und Erschütterungen sind nicht zu vermeiden – geringe Steifigkeit ohne Zusatzmaßnahmen – Korrosion von Stahl – Transportlängen begrenzt
Bohrpfahlwand	Aufgelöste Bohrpfahlwand	– hohe Arbeitsgeschwindigkeit – flexible Gestaltung, Einbindetiefe kann z.B. gestaffelt werden – geneigte Herstellung möglich (max. 15°) – nahezu erschütterungsfreie Herstellung bei verrohrten Bohrungen – gute Biegesteifigkeit	– nicht wasserdicht – relativ teuer – Tiefe auf etwa 25 m begrenzt – Bauteile nicht wiederverwendbar
	Tangierende Bohrpfahlwand	– nahezu erschütterungsfreie Herstellung bei verrohrten Bohrungen – geneigte Herstellung möglich (max. 15°) – flexible Gestaltung, Einbindetiefe kann z.B. gestaffelt werden – hohe Biegesteifigkeit	– nicht wasserdicht – relativ teuer – Tiefe auf etwa 25 m begrenzt – Bauteile nicht wiederverwendbar

		Vorteile	Nachteile
	Überschnittene Bohrpfahlwand	– wasserdicht – nahezu erschütterungsfreie Herstellung bei verrohrten Bohrungen – hohe Biegesteifigkeit – geneigte Herstellung möglich (max. 15°) – flexible Gestaltung, Einbindetiefe kann z.B. gestaffelt werden	– relativ teuer – Tiefe auf etwa 25 m begrenzt – hoher Arbeitsaufwand – Bauteile nicht wiederverwendbar
	Schlitzwand	– geringe Wasserdurchlässigkeit – Geräusch und erschütterungsarm – sehr geringer Abstand zur Nachbarbebauung möglich – Einbeziehung in neues Bauwerk möglich – hohe Biegesteifigkeit	– Gefahr von Einschnürungen durch Fließeinlagerungen möglich – nur lotrecht – bei artesischen Überdrücken Gefahr von hydraulischen Grundbrüchen – hoher technischer Aufwand / sehr hohe Kosten – hoher Platzbedarf für Baustelleneinrichtung – Bauteile nicht wiederverwendbar

Herstellen des Rohraufagers und Verlegen der Rohrleitung

Bei der konventionellen Verlegung müssen die Rohre in Lage und Höhe auf der Grabensohle auf einer sorgfältig präparierten unteren (ggf. natürlich gewachsener Boden) und oberen (künstlich hergestellt) Bettungsschicht ausgerichtet werden, um eine gleichmäßige, störungsfreie Auflagerung des gesamten Rohrschaftes zu ermöglichen. Vertiefungen für Rohrmuffen müssen in der unteren Bettungsschicht oder in der Grabensohle in geeigneter Weise hergestellt werden. Die Vertiefungen für die Rohrmuffen müssen ausreichend groß ausgehoben werden, um eine gleichmäßige Belastung über die gesamte Rohrlänge zu erzielen und eine Punktauflagerung (Muffenreiten) im Muffenbereich zu verhindern [3].

Ausführung der Bettung

In der Rohrstatik nach ATV-DVWK – A 127 [97] wird die Rohrbettung beschrieben

durch den "Lagerungsfall" sowie den "Auflagerwinkel"

- Lagerungsfall I: Auflagerung im Boden ("Loses Auflager")
- Lagerungsfall II: Auflagerung auf festem Untergrund, z.B. Beton ("Festes Auflager")
- Lagerungsfall III: Auflagerung und Einbettung im Boden (nur für biegeeweiche Rohre)

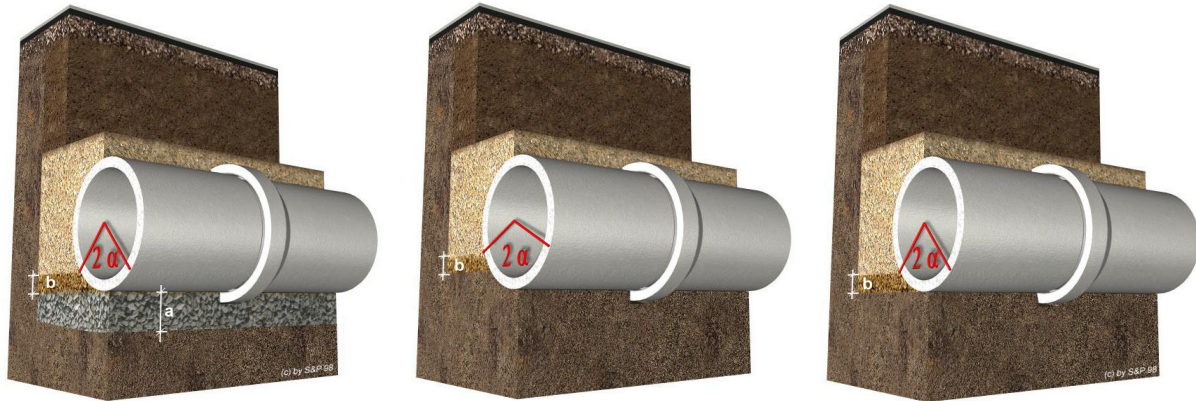
Der Auflagerwinkel (2α) ist vom Planer festzulegen und liegt üblicherweise zwischen 90° und 180° .

In der DIN EN 1610 [71] (s. Bild 31) werden drei Bettungstypen unterschieden, wobei grundsätzlich in Anlehnung an ATV DVWK-A 127 [97] differenziert werden kann, ob die Bettung auf Bodenmaterial („Loses Auflager“) oder auf Beton („Festes Auflager“) erfolgt:

- Loses Auflager
 - Die Bettung Typ 1 stellt die Regelausführung dar. Es wird unterschieden zwischen einer unteren Bettungsschicht (a) und einer oberen Bettungsschicht (b). Die Dicke der unteren Bettungsschicht darf bei normalen Bodenverhältnissen 100 mm, bei Fels bzw. fest gelagerten Böden 150 mm nicht unterschreiten. Die Dicke der oberen Bettungsschicht richtet sich nach dem in der statischen Berechnung festgeschriebenen Auflagerwinkel 2α
 - Bei der Bettung Typ 2 wird auf die Ausbildung einer unteren Bettungsschicht verzichtet. Die Rohre werden direkt auf die vorprofilierter Grabensohle aufgelegt, wodurch gleichzeitig die Dicke der oberen Bettungsschicht reduziert wird. Hierfür ist es erforderlich, dass der anstehende Boden relativ feinkörnig und gut verdichtbar ist. Da diese Ausführungsart unter Baustellenbedingungen nur schwer ausführbar ist, sollte die Anwendung auf besondere Einzelfälle beschränkt bleiben
 - Die Bettung Typ 3 ist ebenfalls nur bei besonders geeigneten Böden ausführbar. Hier wird auf die untere Bettungsschicht sowie eine Vorprofilierung der Grabensohle verzichtet, die Rohre werden direkt auf der Grabensohle aufgelagert, wobei besonders bei Rohren ohne Fuß die Gefahr der Linienauflagerung besteht. Die Dicke der oberen Bettungsschicht ergibt sich wie bei „Typ 1“ aus dem Auflagerwinkel 2α .

– Festes Auflager

- Ein Auflager aus Beton ist gemäß DIN EN 1610 [71] als „besondere Ausführung“ der Bettung zu bezeichnen. Auch bei Betonauflagern ist zu unterscheiden zwischen einer unteren und oberen Bettungsschicht. Die Betongüte für die Bettung soll mindestens der Festigkeitsklasse C12/15, bei bewehrtem Auflager mindestens C16/20 entsprechen.



a) Bettung-Typ 1

b) Bettung-Typ 2

c) Bettung-Typ 3

Bedeutung der Variablen (s.a. Bild 19):

$b = k \cdot d$ mit $k \geq 0$, wobei

a = Dicke der unteren Bettungsschicht

$k = b/d$

d_a = Rohraußendurchmesser

b = Dicke der oberen Bettungsschicht

2α = Auflagerwinkel.

Bild 31 Bettungsarten nach DIN EN 1610 [71] (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Rohre mit Fuß werden i.d.R. auf eine vorbereitete, horizontal abgezogene Bettung aus Bodenmaterial, bei geeigneten Böden direkt auf die vorbereitete Grabensohle, oder auf ein Betonaufleger aufgelegt (s. Bild 32). Der Auflagerwinkel 2α wird bei Rohren mit Fuß von der Breite des Fußes bestimmt (i.d.R. 60°).

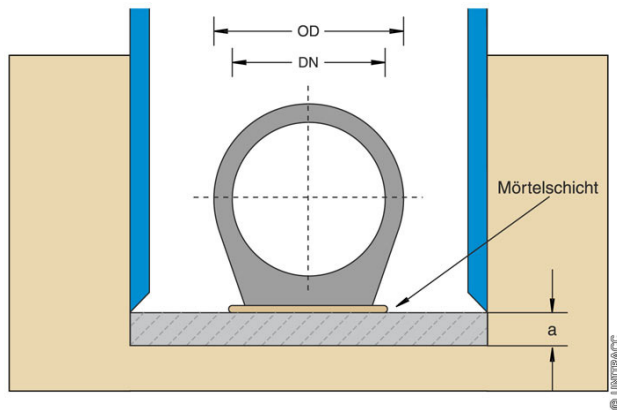


Bild 32 Verlegung eines Stahlbetonrohres auf Betonsohle mit nachträglich betoniertem Auflagerzwickel in
Anlehnung an [98] (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Zur Ausführung der Bettung heißt es beispielsweise im ATV-DVWK-A 139 [72]:

„Die Bettung muss eine gleichmäßige Druckverteilung unter dem Rohr im Auflagerbereich sicherstellen. Dadurch werden Risse, Verformungen, Punktlagerungen und somit Undichtigkeiten vermieden.“

Die Lagerungsdichte der oberen Bettungsschicht muss mindestens der Lagerungsdichte der unteren Bettungsschicht entsprechen.

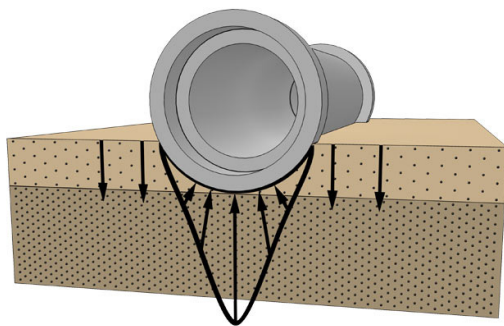
Nach dem Herstellen der Rohrverbindung ist deshalb das Unterstopfen des Rohres sorgfältig auszuführen, z.B. mit schmalen Handstampfern (s. Bild 33). Das Verdichten der seitlichen Rohrzwickel erfolgt zweckmäßig mit leichten, mechanischen Geräten“.



Bild 33 Handstampfer (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Im Rahmen der Planung wird die Art der Bettung festgelegt. Als Regelausführung hat sich Bettung Typ 1 bewährt (s. Bild 31 a).

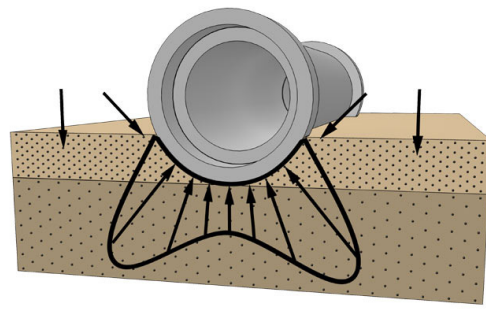
Als Bettungshöhen bzw. -winkel sind keine Maße vorgegeben, so dass theoretisch eine Linienlagerung möglich ist. Im Sinne einer wirtschaftlichen Rohrbemessung ist eine Höhe der oberen Bettungsschicht mit mindestens dem Faktor $k = 0,15$ bzw. $0,25$ anzustreben, um ein wirksames Auflager von $2\alpha = 90^\circ$ bzw. 120° zu erzielen. Bei der Bettung ist darauf zu achten, dass der Bereich unter der Rohrsohle nicht stärker verdichtet ist als der Zwickelbereich der Bettung (s. Bild 34), um eine möglichst gleichmäßige Spannungsverteilung unter dem Rohr zu gewährleisten [79].



Beeinflussung der Rohrstatik durch das Steifigkeitsverhältnis der unteren und oberen Bettungsschicht - falsch gebettetes Rohr

Falsch:

- hoch verdichtete Grabensohle
- schlecht verdichtete obere Bettungsschicht



Beeinflussung der Rohrstatik durch das Steifigkeitsverhältnis der unteren und oberen Bettungsschicht - richtig gelagertes Rohr

Richtig:

- etwas aufgelockerte Grabensohle
- gut verdichtete obere Bettungsschicht

Bild 34 Spannungsverteilung im Bettungsbereich infolge falscher (links) und richtiger (rechts) Verdichtung [99]
(Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Verfüllen und Verdichten der Leitungszone

Eine sorgfältige Verdichtung des Verfüllmaterials in allen Bereichen ist Grundvoraussetzung zur Vermeidung von Schäden am verlegten Rohr und von Senkungen oder Setzungen infolge äußerer Einwirkungen an der Geländeoberfläche im Bereich des Leitungsgrabens. Insbesondere in der Umgebung des Rohres hat das Einbringen und Verdichten des Verfüllmaterials großen Einfluss auf die Standsicherheit der Rohre, denn es beeinflusst die Verteilung des Bodendruckes und das Verhalten des

Rohres. Von den Planungsvorgaben abweichende Bettung und Seitenverfüllung sind die häufigste Ursache für Schäden an den Rohren.

Während des Einbaus des Bodens in der Leitungszone sollten gemäß DIN EN 1610 [71] und ATV-DVWK-A 139 [72] besonders beachtet werden:

- Richtung und Höhenlage der Rohrleitung dürfen nicht verändert werden.
- Die obere Bettungsschicht ist sorgfältig einzubauen, um sicherzustellen, dass die Zwickel unter dem Rohr mit verdichtetem Material verfüllt sind.

Das Bettungsmaterial ist beiderseits der Rohrleitung gleichmäßig in Lagen anzuschütten und sorgfältig zu verdichten. Schlagartiges Einfüllen großer Erdmassen ist unzulässig. Schütthöhe, Material und das zum Einsatz kommende Verdichtungsgerät sind aufeinander abzustimmen. Die Verdichtung muss mit den Angaben in der statischen Berechnung für die Rohrleitung übereinstimmen. Der erforderliche Verdichtungsgrad ist mittels einer gerätespezifischen Vorschrift zu prüfen oder, falls erforderlich, durch Messung nachzuweisen [72].

Der Einbau von Seitenverfüllung und Hauptverfüllung darf erst vorgenommen werden, wenn die Rohrverbindungen und die Bettung zur Aufnahme von Lasten bereit sind.

Von entscheidender Bedeutung für die Belastung der Rohre und damit für die Standsicherheit der Rohrleitung ist deshalb die Verdichtung in der Leitungszone auch oberhalb des Bettungs- bzw. Auflagerbereiches. Eine geringe Verdichtung seitlich des Rohres vergrößert die Lastkonzentration auf das Rohr und verringert die seitliche Stützwirkung. Im Bild 35 wird dieser Einfluss deutlich gemacht.

Im Bild 35 ist der Beanspruchungsfaktor f_B in Abhängigkeit der Proctordichte des verdichteten Bodens in der Bettungszone dargestellt. Der im linken Belastungsbild dargestellte Zustand mit einem Faktor $f_B = 3,20$ stellt aufgrund der unzureichenden Verdichtung (Proctordichte $D_{Pr} = 85\%$) einen sehr ungünstigen Fall für die Belastung des Rohres dar. Das Belastungsbild ($f_B = 0,60$) mit $D_{Pr} = 100\%$ auf der rechten Seite stellt den Idealfall dar, d.h. hier ist eine gleichmäßige Belastung des Rohres gewährleistet. In der Praxis können in der Regel Proctordichten $D_{Pr} = 95\%$ bis 97% mit Beanspruchungsfaktoren 1,00 bis 0,80 erzielt werden.

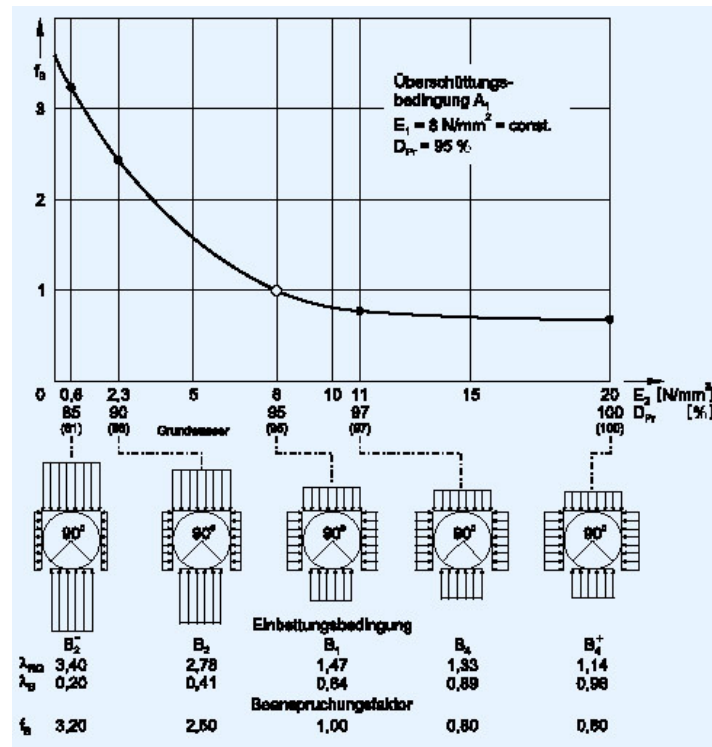


Bild 35 Einfluss der seitlichen Verdichtung bei unveränderter Bettung auf die Belastung des Rohres [100]

Im Bereich der Seitenverfüllung darf nur von Hand oder mit leichten Verdichtungsgeräten verdichtet werden (s. Bild 36, Bild 37). Die diesbezüglich in DIN EN 1610 [71] angegebenen Grabenbreiten (s. Bild 22, Bild 23) sind Mindestwerte, die beim Einsatz von Verdichtungsgeräten für die Verdichtung der Seitenverfüllung u.U. in Abhängigkeit vom Gerät entsprechend vergrößert werden müssen [101].



Bild 36 Seitliches Anstampfen des Rohrzwickels von Hand [102]



Bild 37 Lagenweise Verdichtung der Seitenverfüllung mit Vibrationsstampfer [102]

Für gute Lagerungsbedingungen in der Leitungszone sind nach [72] Verdichtungsgrade in der Leitungszone von $D_{Pr} = 95\%$ bei nicht- und schwach bindigen Böden bzw. von $D_{Pr} = 92\%$ bei bindigen Böden kennzeichnend.

Höhere Werte des Verdichtungsgrades D_{Pr} als in der statischen Berechnung gefordert können sich nach anderen Vorschriften, z.B. des Straßenbaus, ergeben. Die ZTVE - StB 94 [103] fordert für die Leitungszone von Leitungsgräben von Straßenkörpern einen Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 97\%$. Des Weiteren sind im Leitungsgraben die weiterführenden straßenbauspezifischen Vorgaben für den Unterbau oder Untergrund von Straßen und Wegen bzw. erforderlichenfalls für Planum und ungebundene Tragschicht einzuhalten.

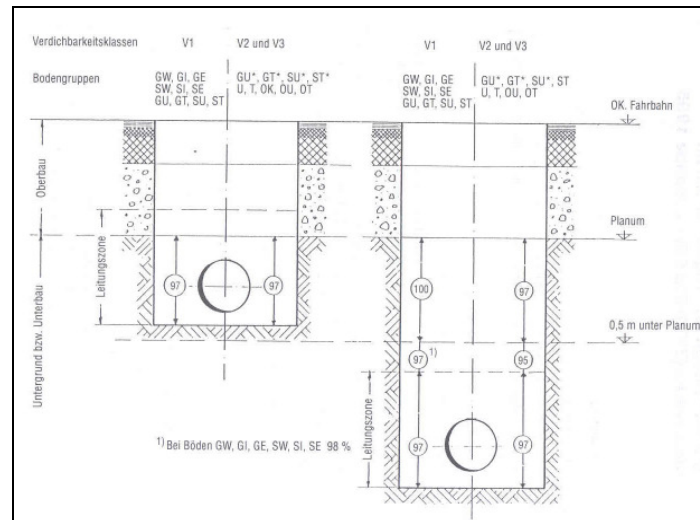


Bild 38 Zu erreichender Verdichtungsgrad D_{Pr} in % nach ZTVE -StB 94 [103]

	Bereich	Bodengruppen	D_{Pr} in %
1	Planum bis 1.0 m Tiefe bei Dämmen und 0.5 m Tiefe bei Einschnitten	GW, GI, GE SW, SI, SE	100
2	1.0 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE SW, SI, SE	98

	Bereich	Bodengruppen	D_{Pr} in %
1	Planum bis 0,5 m Tiefe	GU, GT, SU, ST	100
		GU*, GT*, SU*, ST* U, T, OK, OU, OT	97
2	0,5 m unter Planum bis Dammsohle	GU, GT, SU, ST OH, OK	97
		GU*, GT*, SU*, ST* U, T, OU, OT	95

Bild 39 Anforderungen an die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaus von Straßen und Wegen gem. ZTVE - StB 94 [103]

Die Wahl des Verdichtungsgerätes, die Zahl der Verdichtungsdurchgänge und die zu verdichtende Schichtdicke sind auf das zu verdichtende Material und die einzubauende Rohrleitung abzustimmen. Schütthöhe und Anzahl der Übergänge sind ATV-DVWK-A 139 [72] zu entnehmen (s. Bild 40) [104]. Sie können je nach Bodenzustand in der

Praxis über- oder unterschritten werden und stellen somit nur Anhaltswerte dar. Genaue Werte sind durch Probeverdichtung festzustellen [105].

Geräteart		Dienstgewicht [kg]	Verdichtbarkeitsklassen								
			V 1 ¹⁾			V 2 ²⁾			V 3 ³⁾		
			Eig-nung	Schütt-höhe [cm]	Zahl der Über-gänge	Eig-nung	Schütt-höhe [cm]	Zahl der Über-gänge	Eig-nung	Schütt-höhe [cm]	Zahl der Über-gänge
1. Leichte Verdichtungsgeräte (vorwiegend für die Leitungszone)											
Vibrations-stampfer	leicht	bis 25	+	bis 15	2-4	+	bis 15	2-4	+	bis 10	2-4
	mittel	25-60	+	20-40	2-4	+	15-30	3-4	+	10-30	2-4
Flächen-rüttler	leicht	bis 100	+	bis 20	3-5	o	bis 15	4-6	-	-	-
	mittel	100-300	+	20-30	3-5	o	15-25	4-6	-	-	-
Vibrations-walzen	leicht	bis 600	+	20-30	4-6	o	15-25	5-6	-	-	-
2. Mittlere und schwere Verdichtungsgeräte (oberhalb der Leitungszone ab 1 m Überdeckungshöhe)											
Vibrations-stampfer	mittel	25-60	+	20-40	2-4	+	15-30	2-4	+	10-30	2-4
	schwer	60-200	+	40-50	2-4	+	20-40	2-4	+	20-30	2-4
Explosions-stampfer	mittel	100-500	o	20-40	3-4	+	25-35	3-4	+	20-30	3-5
	schwer	> 500	o	30-50	3-4	+	30-50	3-4	+	30-40	3-5
Flächen-rüttler	mittel	300-750	+	30-50	3-5	o	20-40	3-5	-	-	-
	schwer	> 750	+	30-70	3-5	o	30-50	3-5	-	-	-
Vibrations-walzen	mittel	600-8000	+	20-50	4-6	+	20-40	5-6	-	-	-
+ = empfohlen o = meist geeignet - = ungeeignet ¹⁾ V 1 = Nichtbindige bis schwachbindige, grobkörnige und gemischtkörnige Böden (GW, GI, GE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST) V 2 = Bindige, gemischtkörnige Böden (GU, GT, SU, ST) V 3 = Bindige, feinkörnige Böden (UL, UM, TL, TM)											

Bild 40 Geräteinsatz zur Verdichtung des Verfüllmaterials [72]

Die Verdichtung hat immer gegen den anstehenden (gewachsenen) Boden zu erfolgen, außer wenn die Art des Verbaus dies verhindert. Das bedeutet, dass nach dem lagenweisen Einbringen – jedoch vor dem Verdichten des Verfüllmaterials – der Verbau ebenfalls lagenweise zu ziehen ist [79].

Hinsichtlich der erforderlichen Verdichtungskontrollen sind bei hydraulisch gebundenen Verfüllbaustoffen (z.B. fuma® – Boden), selbstverdichtenden Verfüllmaterialien (z.B. RSS – Flüssigboden, Weimarer Bodenmörtel) und Recyclingbaustoffen (z.B. System Kronenberger) etwaige vorauslaufende Prüfungen des anstehenden Bodens und – in Abhängigkeit der Eigenüberwachung bzw. der herstellerepezifischen Vorgaben – die notwendigen Kontroll- / Fremdüberwachungsprüfungen projektbezogen im Detail festzulegen.

Überschütten der Rohrleitung und Entfernen des Verbaus

Die Dicke der Abdeckung beträgt i.d.R. 30 cm. Über dem Rohrschaft ist eine Schichtdicke von mindestens 15 cm, über der Rohrverbindung von mindestens 10 cm einzuhalten. Im Bereich der Abdeckung bis zu einer Überdeckung von 30 cm darf grundsätzlich nur von Hand, darüber bis zu 1,0 m von Hand oder mit leichtem Verdichtungsgerät gearbeitet werden, um Schäden am Rohr auszuschließen. Schwere Verdichtungsgeräte dürfen frühestens ab einer Überdeckung von 1,0 m zum Einsatz kommen (Bild 40) [79].

Die Hauptverfüllung ist gemäß den Planungsanforderungen auszuführen (s. Abschn. 3.1.2.1). Spätere Oberflächensetzungen werden entscheidend durch die Verdichtung der Hauptverfüllung beeinflusst. Der Rückbau des Verbaus ist plangemäß und lagenweise durchzuführen. Wenn eine Silowirkung (Lastabtragung vom Rohrgraben in den anstehenden Boden) angestrebt wird, darf das Verfüllmaterial keine höhere Verdichtung als der seitlich anstehende Boden aufweisen. Zudem muss die Verdichtung direkt gegen den anstehenden Boden erfolgen.

Der Verbau darf nur entfernt werden, soweit er durch das Verfüllen entbehrlich geworden ist (vgl. UVV Bauarbeiten [106] bzw. DIN 4124 [93]).

Der Rückbau des Verbaus geschieht durch Ziehen oder partielles Entfernen der Verbauelemente. Aufgrund der notwendigen Wanddicke der Elemente verbleibt dabei ein Spalt (Verbauspur) zwischen anstehendem Baugrund und Grabenverfüllung, der zur Sicherstellung der stützenden Wirkung der Seitenverfüllung und zur Vermeidung von Setzungen an der Geländeoberfläche während des Rückbauvorganges mit einem geeigneten Material gemäß den o.g. Normen und Regelwerken verfüllt werden muss [107]. Beim Rückbau wird der Verfüllboden lagenweise eingebracht, der Verbau um die jeweilige Schütthöhe gezogen und der Verfüllboden gegen den anstehenden Boden verdichtet, so dass keine Verbauspur zurückbleibt.

Das nachträgliche Ziehen eines senkrechten Verbaus (z.B. Spundwände, Kanaldielen) ist ohne Verfüllen der Verbauspur im statischen Nachweis der Rohrleitung zu berücksichtigen [108, 109, 110, 111, 112].

3.1.3 Anforderungen an Grundstücksentwässerung, Dränageleitungen und Versickerungsanlagen

3.1.3.1 Anforderungen an die Grundstücksentwässerung

Die Grundstücksentwässerung ist ein System zur Ableitung des Schmutz- und Regenwassers aus der Gebäudeentwässerung zur Kanalisation oder einer sonstigen Entsorgungseinrichtung (z.B. Kleinkläranlage). Sie besteht in der Regel aus Grundleitungen und dem Anschlusskanal (s. Bild 41).

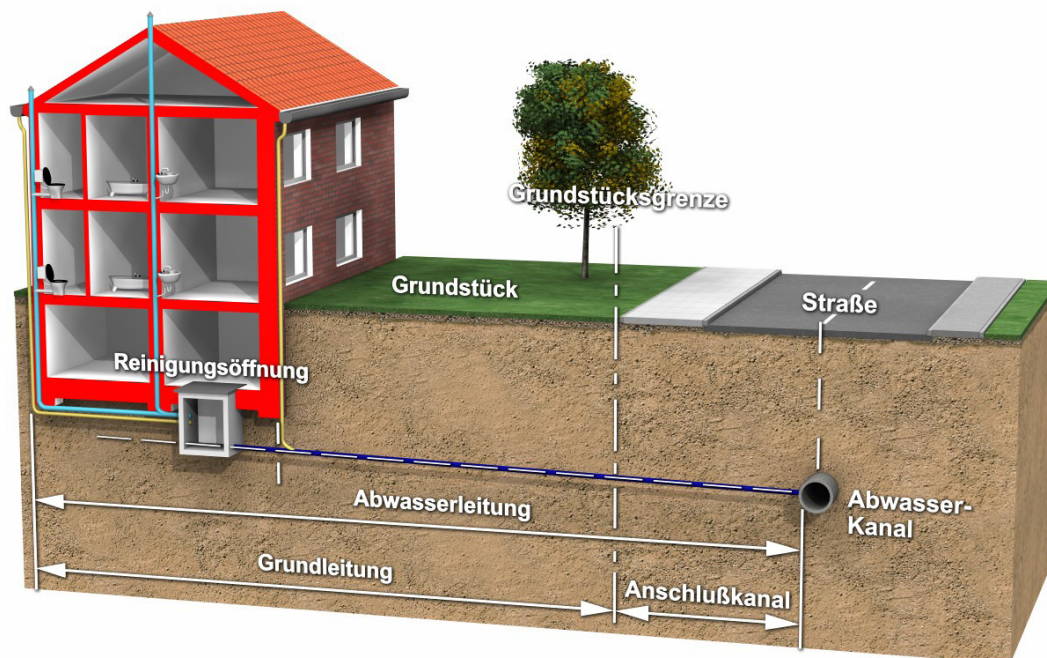


Bild 41 Gebäudeentwässerung über Grundleitung und Anschlusskanal mit Reinigungsöffnung im Gebäude
(Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Der Anschlusskanal ist die Leitung vom Anschlussstutzen oder Abzweig am öffentlichen Kanal bis zur ersten Reinigungsöffnung auf dem Grundstück (z.B. Übergabeschacht auf der Grundstücksgrenze, Revisionsschacht im/am Haus oder Revisionsöffnung im Keller) oder – falls keine Reinigungsöffnung vorhanden ist - bis zur Grundstücksgrenze.

Grundleitungen sind unzugänglich unter der Grundplatte des Gebäudes oder im Erdreich verlegte Abwasserleitungen, die an den Anschlusskanal anschließen. Im Normalfall fließt das Abwasser im freien Gefälle ab, es kann in Ausnahmefällen aber

auch über eine Hebeanlage gepumpt werden.

Die Schnittstelle zwischen dem privaten und dem öffentlichen Entwässerungsbereich wird von der Kommune in der Entwässerungssatzung festgelegt.

In der Praxis gängige unterschiedliche Definitionen für die Schnittstelle sind:

- Grundstücksgrenze (2) oder Revisionsschacht (1) auf dem Grundstück,
- Stutzen oder Abzweig am öffentlichen Kanal (3),
- Gebäudeaußenkante.

Der private Entwässerungsbereich - und damit der Zuständigkeitsbereich des Grundstückseigentümers - umfasst die gesamte Grundstücksentwässerung bis zur definierten Schnittstelle. Wie bereits in Abschnitt 2.2 erläutert, ist gemäß der Abwassersatzung der Stadt Altena [67] lediglich der Abwasserkanal Teil der öffentlichen Abwasseranlage. Damit gilt für die Trennung die Schnittstelle Nr. 3 (s. Bild 42).

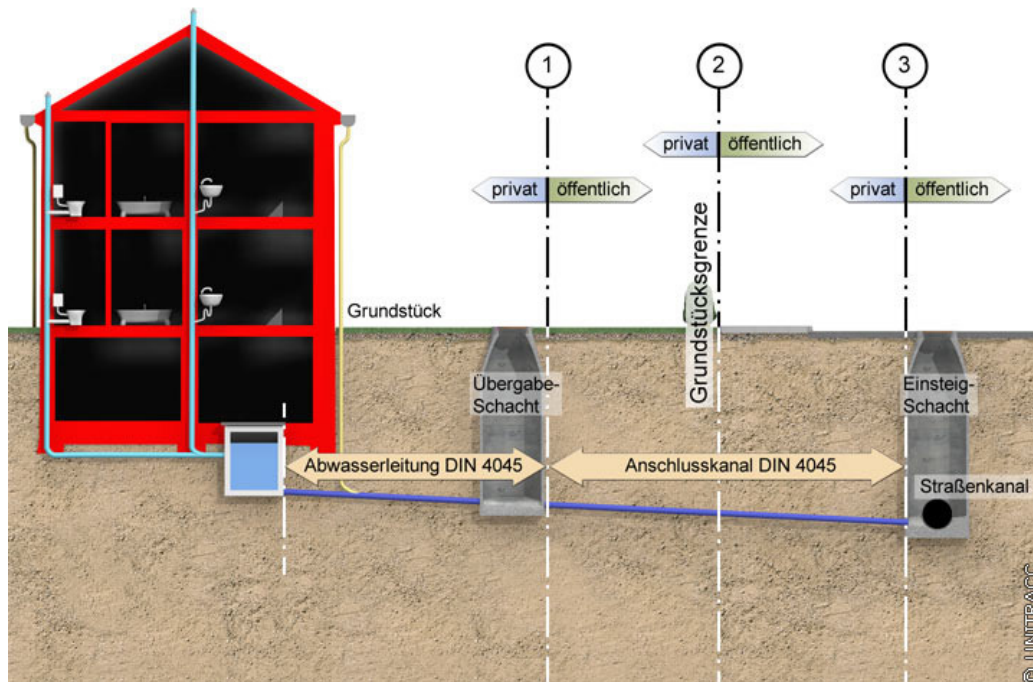


Bild 42 Möglichkeiten für die Definition des privaten Entwässerungsbereiches (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Grundstücksentwässerungsanlagen nach DIN EN 12056 [113] und DIN 1986 [16] sind Schwerkraftentwässerungen, d.h. alle Leitungen sind besitzen ein Gefälle und müssen leer laufen können (Ausnahmen sind planmäßig vollgefüllte Regenwasserleitungen im

Druckentwässerungssystem und Druckleitungen von Hebeanlagen). Sie sollen so geplant und gebaut werden, dass die Möglichkeit von Schäden infolge Undichtigkeit gering gehalten wird und Schäden sofort erkannt und beseitigt werden können. Zusätzlich müssen die Verlegerichtlinien und Einbauvorschriften der Hersteller von Rohren und Entwässerungsgegenständen beachtet werden.

Bei Abwasserleitungen außerhalb von Gebäuden beträgt das Mindestgefälle 1:DN, wobei die Mindestfließzeit von 0,7 m/s eingehalten werden soll [16].

Da bei der Berechnung der erforderlichen Nennweite der Rohrleitung das gewählte Gefälle berücksichtigt werden muss, ist dieses nach den baulichen Gegebenheiten vorher festzulegen. Das bei der Planung vorgesehene Gefälle muss bei der Verlegung der Leitung eingehalten werden, bei notwendigen Abweichungen sollte eine Abstimmung zwischen Planer und Verleger stattfinden.

Das Gefälle der Grundstücksentwässerungsanlagen soll gleichmäßig und nicht über 1:20 (5 cm/m) sein.

In Tabelle 7 ist das Mindestgefälle der Leitungen innerhalb und außerhalb von Gebäuden dargestellt.

Tabelle 7 Mindestgefälle von Leitungen [117]

DN	Mindestgefälle für				
	Schmutzwasserleitungen innerhalb von Gebäuden	Regenwasserleitungen innerhalb von Gebäuden	Mischwasserleitungen innerhalb von Gebäuden	Schmutzwasserleitungen außerhalb von Gebäuden	Regenwasser- und Mischwasserleitungen außerhalb von Gebäuden
bis 100	1:50	1:100	1:50	1:DN	1:DN
125	1:66,7	1:100	1:66,7	1:DN	1:DN
150	1:66,7	1:100	1:66,7	1:DN	1:DN
ab 200	$1:\frac{DN}{2}$	$1:\frac{DN}{2}$	$1:\frac{DN}{2}$	1:DN	1:DN
Füllungsgrad h/d (nach DIN 1986 Teil 2)	0,5	0,7	0,7	0,5*)	0,7**)

*) Für Grundleitungen ab DN 150 auch 0,7

**) Für Grundleitungen ab DN 150 im Anschluß an einen Schacht mit offenem Durchfluß auch 1,0

Größere Höhenunterschiede sind nicht mit einem Sturzgefälle (über 1:20), sondern mit

einem Absturz (s. Bild 43) z.B. bei einem Anschluss an einem Schacht zu überwinden.

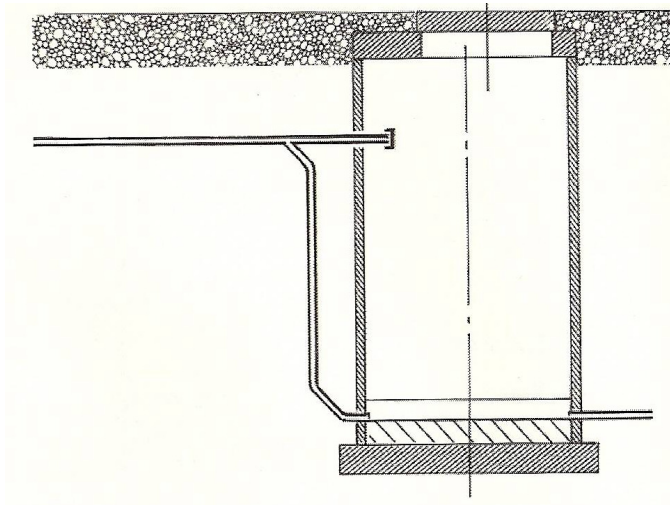


Bild 43 Beispiel für einen Schachtanschluss mit Absturz zur Höhenüberwindung [114]

Beim Einbau eines Absturzes ist die Reinigungsmöglichkeit zu beachten.

Im Einzelfall wird das Gefälle bestimmt durch die Höhe der Einmündung in den öffentlichen Abwasserkanal, die Höhenlage der auf dem Grundstück zu entwässernden Flächen und die Länge der Leitungen auf dem Grundstück. Es kann weiter beeinflusst werden durch notwendige Überdeckungen und frostfreie Tiefen.

Die frostfreie Tiefe ist aufgrund der klimatischen Verhältnisse in Deutschland verschieden und wird von den zuständigen Behörden mit den Maßen 0,8 m, 1,0 m und 1,20 m festgelegt.

Das Abwasser der tieferliegenden Gegenstände ist über eine automatisch arbeitende Hebeanlage bzw. Pumpen rückstaufrei der höher liegenden Grundleitung oder dem Anschlusskanal zuzuleiten.

Grundstücksentwässerungsanlagen müssen für Kontroll- und Reinigungszwecke zugänglich sein. Das gilt für Regen- und für Schmutzwasserleitungen gleichermaßen. Deshalb sind **Reinigungsöffnungen** nach [117] an folgenden Stellen einzubauen:

- Unmittelbar an der Grundstücksgrenze, wenn die Grundleitung im Grundwasser liegt, andernfalls höchstens 15 m vom öffentlichen Abwasserkanal entfernt
- In der weiteren Grund- und Sammelleitung, mindestens alle 20 m

- In Grundleitungen DN 150 und größer, mindestens alle 40 m, wenn zwischen diesen Reinigungsöffnungen keine Richtungsänderung erfolgt
- In Fallleitungen (für Schmutz- und Regenwasser) und im lotrechten Teil von Sammelleitungen unmittelbar vor dem Übergang in eine Sammel- oder Grundleitung
- Am oberen Ende der Sammelanschlussleitungen von Reihenanlagen.

Reinigungsöffnungen müssen gas- und wasserdicht verschlossen werden und sind zugänglich einzubauen. Für nicht unmittelbar zugängliche Reinigungsöffnungen in Grundleitungen müssen Schächte – getrennt für Schmutz- und Regenwasserleitungen – angeordnet werden [117].

Die **Revisionsschächte** müssen wasserdicht und standsicher sein sowie Abdeckungen nach DIN 1229 [115] erhalten.

Revisionsschächte von weniger als 0,8 m Tiefe müssen Abmessungen von mindestens 0,6 x 0,8 m haben und dürfen nicht bestiegen werden; besteigbare Schächte von mehr als 0,8 m Tiefe müssen, je nach Querschnittsform, Abmessungen von mindestens 1,0 m im Durchmesser oder 0,8 x 1,0 m bzw. 0,9 m x 0,9 m erhalten und mit Steighilfen nach DIN 1211 [116] versehen werden.

Innerhalb von Gebäuden sind die Leitungen grundsätzlich geschlossen mit Reinigungsöffnungen durch die Schächte zu führen. Außerhalb von Gebäuden können die Schächte einen offenen Durchfluss erhalten, wenn Geruchsbelästigungen nicht zu befürchten sind und Rückstaugefahr nicht besteht. Die Sohle muss dann eine gleichmäßig durchlaufenden Rinne erhalten, die ein Ausbreiten des Abwassers verhindert [117].

Grundleitungen unter der Bodenplatte sind i.d.R. schwer zugänglich. Die Kosten für die Feststellung und Beseitigung von Undichtigkeiten oder Änderungs- und Instandsetzungsarbeiten sind unverhältnismäßig hoch. Ist in diesem Fall die Altleitung unter der Bodenplatte des Hauses derart geschädigt, dass keine einfachen (preisgünstigen) Verfahren angewendet werden können (z.B. bei dem Schaden Einsturz), so ist zu prüfen, ob durch Umbaumaßnahmen im Keller das Entwässerungssystem wieder hergestellt werden kann. Die alte (zerstörte) Leitung unter der Bodenplatte wird dabei aufgegeben.

Als Alternative sollte für die Entwässerung der höheren Etagen eine neue Leitung unter der Kellerdecke abgehängt werden. Für den Anschluss der Kellerräume ist zu prüfen, ob eine Entwässerung tatsächlich notwendig ist. Für die einzelnen Objekte (z.B. Hauswirtschaftsraum) ist dann die Installation einer kleinen Abwasserhebeanlage möglich, wo aus einem kleinen Sammelbehälter das Abwasser mit einer Pumpe in die unter der Kellerdecke abgehängte Leitung gefördert wird.

Das gesamte häusliche Abwasser kann entweder in die außerhalb der Bodenplatte bestehende, ggf. sanierte Altleitung eingeleitet (s. Bild 44 und Bild 45) oder durch eine neu zu verlegende Leitung an den Hauptkanal angebunden werden.

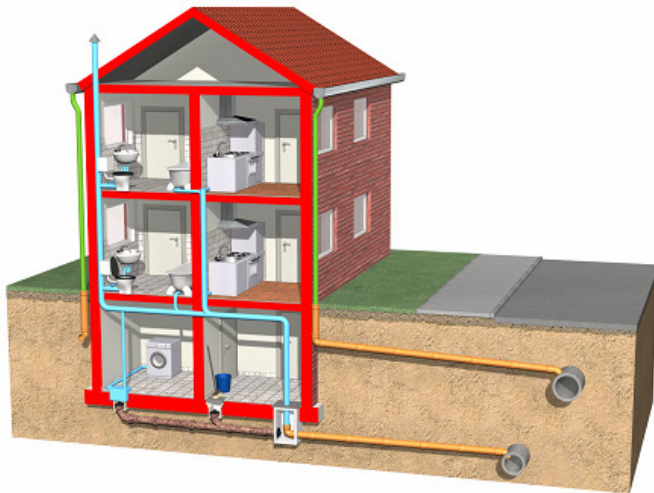


Bild 44 Erneuerung von Hausanschlussleitungen durch Umbau des Entwässerungssystems im Gebäude
(Bildmaterial: S & P Consult GmbH)



Bild 45 Beispiel für ein unter der Kellerdecke abgehängtes Entwässerungssystem [49]

Da es sich im vorliegenden Anwendungsfall bei der Erneuerung von Grundstücksentwässerungsanlagen in offener Bauweise um eine durch verschiedene Normen und Merkblätter geregelte Bauart handelt, ist hierfür keine DIBt-Zulassung notwendig. Allerdings ist bei den verwendeten Baustoffen darauf zu achten, dass DIN-gerechte Materialien verwendet werden. Die ausführenden Firmen sollten einschlägig qualifiziert sein und über nachweislich erfahrenes Fachpersonal verfügen.

3.1.3.2 Anforderungen an Dränleitungen

Planung, Bemessung und Bau von Dränanlagen zum Schutz von Bauwerken sind für Regelfälle in DIN 4095 [118] beschrieben. Eine Dränanlage besteht aus Dränleitung, Dränschicht, Kontroll- und Spüleinrichtung.

Dränleitungen, auch Sickerleitungen, Dränagen, Dränageleitungen oder Dränrohre genannt, sind technische Einrichtungen zur Entwässerung des Bodens (nachfolgend im privaten Bereich $\cong$ Dränleitung und im öffentlichen Bereich $\cong$ Dränkanal bezeichnet). Zu der Bodenfeuchte tragen sowohl das Grundwasser als auch das versickernde Regenwasser bei. Über gelochte bzw. geschlitzte Rohre fassen bzw. sammeln sie die Wässer und leiten es einer geeigneten Vorflut zu.

Dränleitungen bestehen sowohl aus Kunststoffen wie PVC und PE (s. Bild 46) als auch aus Faserzement und Steinzeug. Letztere finden im Bereich der Kanalisation keine Anwendung mehr.

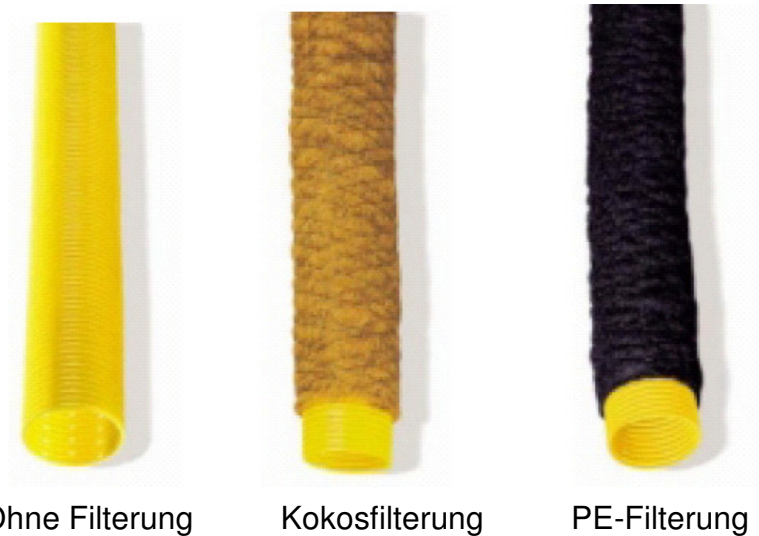


Bild 46 Beispiele von Dränleitungen mit/ohne Filterung [119]

Es werden allseitig geschlitzte (Vollsickerrohr) als auch oben geschlitzte (Teilsickerrohr) Dränleitungen unterschieden. Die Rohrwandung der Dränleitungen ist glatt oder gewellt (s. Bild 47). Um die Dränleitungen herum befindet sich eine Sickerschicht aus bodenstabilem Filtermaterial, das nicht vom Sickerwasser ausgewaschen werden kann. Verzichtet man auf diese Sickerschicht setzen die mitgeführten Feinsteile des Sickerwassers die Schlitzte der Dränleitungen allmählich zu und die Dränagewirkung geht verloren.

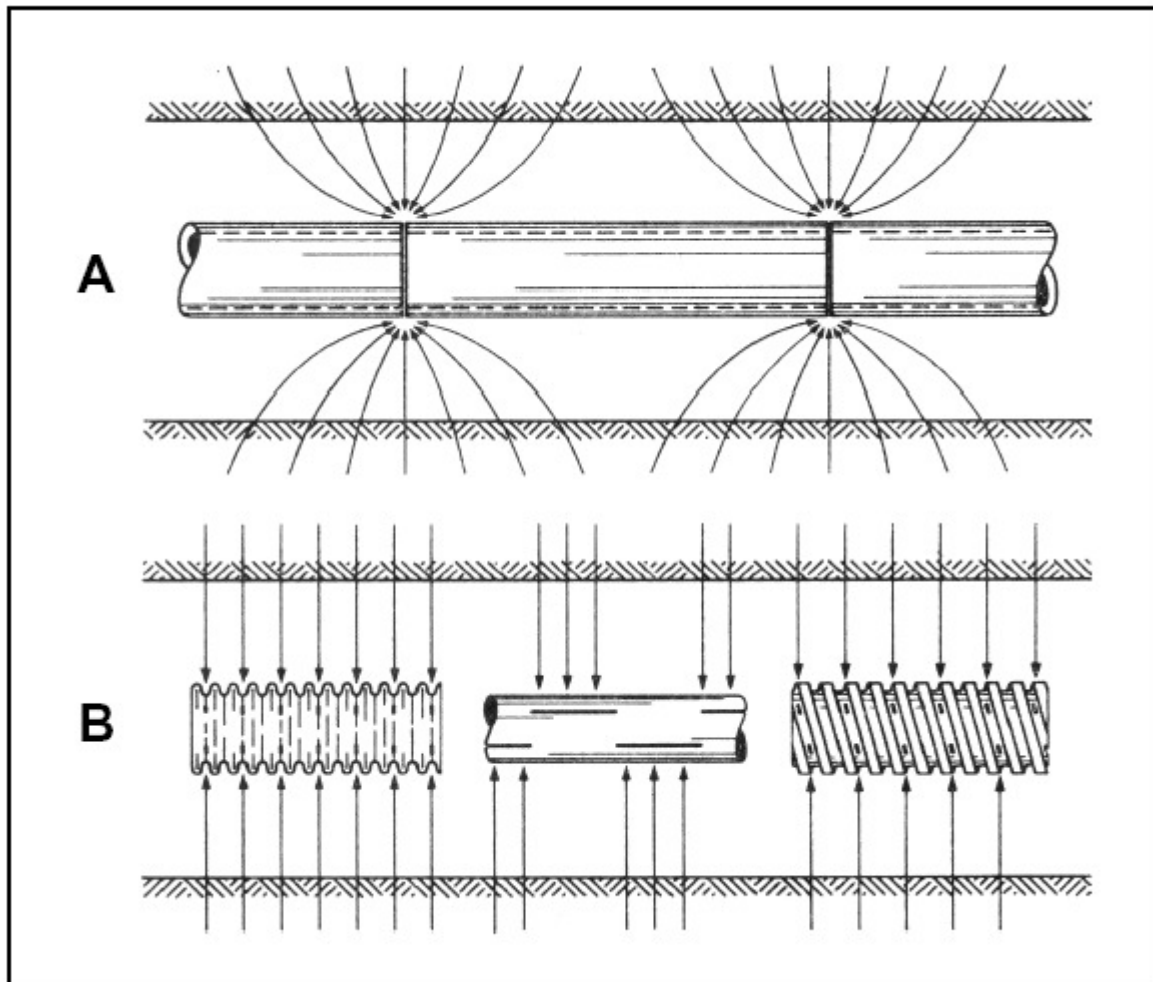


Bild 47 Wassereintritt in ein Dränrohr aus Ton (A) und PVC (B) [119]

Dränleitungen werden überall dort eingesetzt, wo Sickerwasser anfällt und abgeleitet werden soll. So erstreckt sich der Einsatz von Dränleitungen auf die Gebäudeentwässerung, Bauzeitdränage, unterirdische Verkehrsflächenentwässerung und Entwässerung von Deponieflächen.

Voraussetzung für eine wirksame Dränung ist eine ausreichende Vorflut unter Berücksichtigung des höchsten Wasserstandes im Vorfluter. Es ist anzustreben, einen Anschluss in freiem Gefälle an einen Vorfluter oder Regenwasserkanal zu schaffen, also möglichst ohne Pumpen auszukommen. Sind Pumpen notwendig, ist deren regelmäßige Wartung erforderlich.

Die Ableitung ist, falls notwendig, durch eine geeignete Vorrichtung, z.B. Rückstauklappe gegen Stau aus dem Vorfluter zu sichern. Die Stausicherung muss zugänglich sein und gewartet werden.

Baustoffe

Für die verwendeten Baustoffe ist ein Eignungsnachweis gefordert. Gemäß DIN 4095 [118] gilt:

„Die Eignung der Baustoffe muss nachgewiesen werden. Soweit DIN-Normen und Güterichtlinien vorhanden sind, müssen sie diesen entsprechen.

Der Nachweis der Eignung kann z.B. durch ein Prüfzeugnis erfolgen.

Einschlägige DIN-Normen für Dränleitungen sind die DIN 1187 [120] und die DIN 4262 – 1 [121].

Dränleitungen, die als Rollenware geliefert werden, verfügen in der Regel über einen Eignungsnachweis, z.B. entsprechend (RAL, 2004), oder über andere Eignungsnachweise nach DIN 1187 [120]. Diese legt die Anforderungen fest, die an Dränleitungen gestellt werden, die überwiegend der Regelung des Bodenwasserhaushalts dienen:

Gemäß DIN 1187 [120] gilt:

„Die Norm gilt für gewellte (flexible) und glatte (Stangen) Dränleitungen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC hart), die überwiegend zur Regelung des Bodenwasserhaushalts nach DIN 1185 Teil 1 bis Teil 5 eingesetzt werden. (....)“.

Beispiele für Baustoffe enthält Tabelle 8.

Tabelle 8 Beispiele von Baustoffen für Dränelemente [118]

Bauteil	Art	Baustoff
Filter-schicht	Schüttung	Mineralstoffe (Sand und Kiessand)
	Geotextilien	Filtervlies (z.B. Spinnvlies)
Sicker-schicht	Schüttung	Mineralstoffe (Kiessand und Kies)
	Einzel-elemente	Dränsteine (z.B. aus haufwerksporigem Beton) Dränplatten (z.B. aus Schaumkunststoff) Geotextilien (z.B. aus Spinnvlies)
Drän-schicht	Schüttungen	Kornabgestufte Mineralstoffe Mineralstoffgemische (Kiessand, z.B. Körnung 0/8 mm, Sieblinie A 8 nach DIN 1045 oder Körnung 0/32 mm, Sieblinie B 32 nach DIN 1045)
	Einzel-elemente	Dränsteine (z.B. aus haufwerksporigem Beton, gegebenenfalls ohne Filtervlies) Dränplatten (z.B. aus Schaumkunststoff, gegebenenfalls ohne Filtervlies)
	Verbund-elemente	Dränmatten aus Kunststoff (z.B. aus Höckerprofilen mit Spinnvlies, Wirtgele mit Nadelvlies, Gitterstrukturen mit Spinnvlies)
Drän-leitungen	gewellt oder glatt	Beton, Faserzement, Kunststoff, Steinzeug, Ton mit Muffen
	gelocht oder geschlitzt	allseitig (Vollsickerrohr) seitlich und oben (Teilsickerrohr)
	mit Filter-eigen-schaften	Kunststoffrohre mit Ummantelung Rohre aus haufwerksporigem Beton

Die Dränanlage muss filterfest sein. Das Einspülen von Feinkornbestandteilen aus der Umgebung der Dränleitungen soll dadurch verhindert werden. Ihrem Einsatzzweck entsprechend werden die Dränleitungen einschließlich der Kokosfaserummantelung⁵

⁵ Kokos gilt als eine der härtesten Holzfasern. Der Ligninanteil, der die Härte einer Holzfaser bestimmt, ist bei Kokosfasern mit 46% sehr hoch. Im Vergleich dazu liegt der Ligninanteil von Jute oder Baumwolle bei ca. 10%. Daraus resultiert auch eine erhöhte Lebenserwartung der Kokosfaser. Der Zeitraum des Kokosgewebes ist je nach Einbauart unterschiedlich und kann mit ca. 5-10 Jahren angegeben werden.

durch Feuchtigkeit beansprucht. Da es sich bei der Kokosfaserummantelungen um ein Geflecht aus einem organischen Produkt handelt, werden grundsätzlich unter Feuchtigkeitseinwirkung allmähliche Zersetzungsprozesse eintreten.

Nach Angabe der Literatur [122] zersetzen sich Kokosfaserummantelungen durch Verwitterung in einem Zeitraum von etwa 5 bis 10 Jahren. Aufgrund dieses Nachteils ist im Rahmen der baulichen Maßnahmenplanung auf die Kokosfaserummantelung zu verzichten.

Planung

Dränanlagen vor Wänden (Ringdränage)

Die Dränleitung muss alle erdberührten Wände erfassen. Bei Gebäuden ist sie als Ringdränage herzustellen (s. Tabelle 9). Bei Verwendung von Kiessand, z.B. der Körnung 0/8 mm, Sieblinie A 8 oder 0/32 mm, Sieblinie B 32 nach DIN 1045 [123] darf die Breite oder der Durchmesser der Wassereintrittöffnungen der Rohre maximal 1,2 mm. Die Wassereintrittsfläche muss mindestens 20 cm² je m Rohrlänge betragen. Bei Verwendung von gebrochenem Material muss die Eignung mit dem Rohrhersteller abgestimmt werden.

Tabelle 9 Richtwerte von Dränanlagen vor Wänden

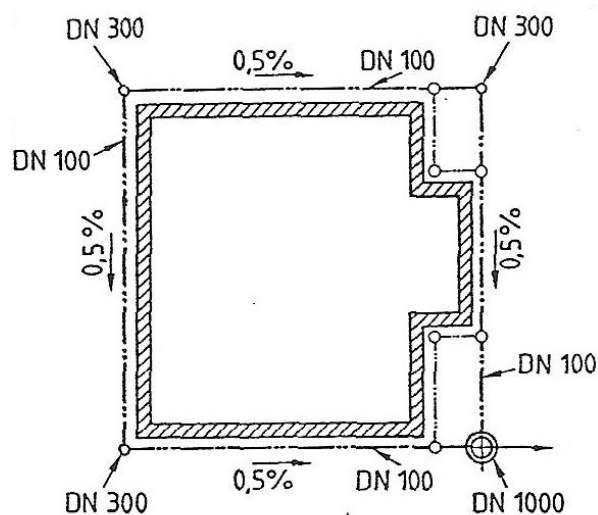
Einflussgröße	Richtwert
Gelände	Eben bis leicht geneigt
Durchlässigkeit des Bodens	Schwach durchlässig
Einbautiefe	Bis 3 m
Gebäudehöhe	Bis 15 m
Länge der Dränleitung zwischen Hochpunkt und Tiefpunkt	Bis 60 m

Die Dränleitung ist entlang der Außenfundamente anzuordnen. Die Auflagerung auf Fundamentvorsprüngen ist im Regelfall unzulässig. Bei unregelmäßigen Grundrissen ist ein größerer Abstand von den Streifenfundamenten zulässig, wenn die sickerfähige und filterfeste Verbindung zwischen senkrechter Dränschicht und Dränleitung sichergestellt ist. Die Rohrsohle ist am Hochpunkt mindestens 0,2 m unter Oberfläche

Rohbodenplatte anzuordnen. In keinem Fall darf der Rohrscheitel die Oberfläche Rohbodenplatte überschreiten.

Spülrohre (mindestens DN 300) sollen bei Richtungswechsel der Dränleitung angeordnet werden. Der Abstand der Spülrohre soll höchstens 50 m betragen. Für Kontrollzwecke dürfen anstelle der Spülrohre Kontrollrohre mit mindestens DN 100 angeordnet werden. Der Übergabeschacht an den Vorfluter soll mindestens DN 1000 betragen. Das Mindestgefälle bei Freispiegelentwässerung sollte um das Gebäude sowie zwischen dem Übergabeschacht und der Einleitstelle in den öffentlichen Kanal 0,5% aufweisen.

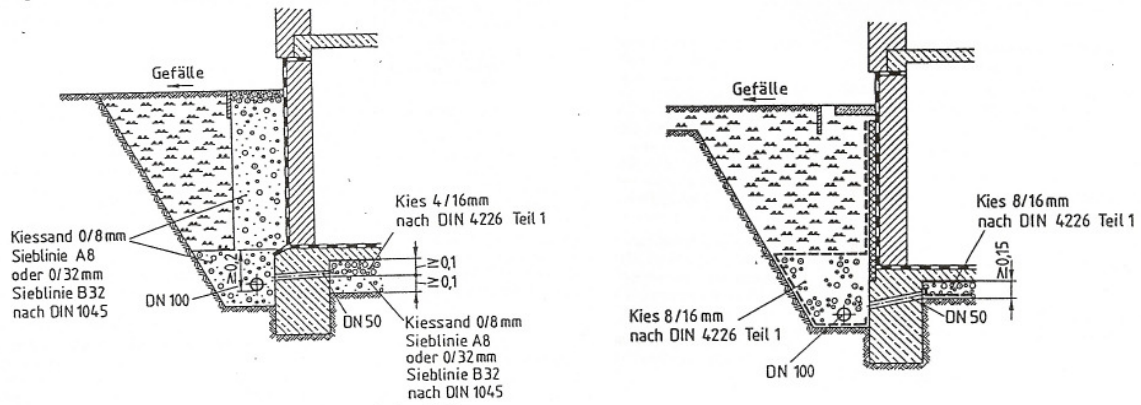
Mögliche Ausführungen von Dränanlagen sind im Bild 48 dargestellt. Andere Kombinationen von flächigen Dränschichten, Dränleitungen und filterfesten Umhüllungen der Dränleitungen sind möglich.



a) Anordnung von Dränleitungen, Kontroll- und Reinigungseinrichtungen bei einer Ringdränung (Mindestabmessungen)

Bauteil	Art	Zeichen
Filterschicht	Sand	
	Geotextil	
Sickerschicht	Kies	
	Einzelelement (z. B. Dränstein, -platte)	
Dränschicht	Kiessand	
	Verbundelement (z. B. Dränmatte)	
Trennschicht	z. B. Folie	
Abdichtung	z. B. Anstrich, Bahn	
Dränleitung	Rohr	
Spülrohr, Kontrollrohr,	Rohr	
Spülschacht, Kontrollschacht, Übergabeschacht	Fertigteil	

b) Angaben über Bauteile und Zeichen



c) Dränanlagen

Bild 48 Mögliche Ausführungen von Dränanlagen [118]

Bild 49 zeigt eine weitere Ausführung einer Dränleitung in Form einer Ringdränage.

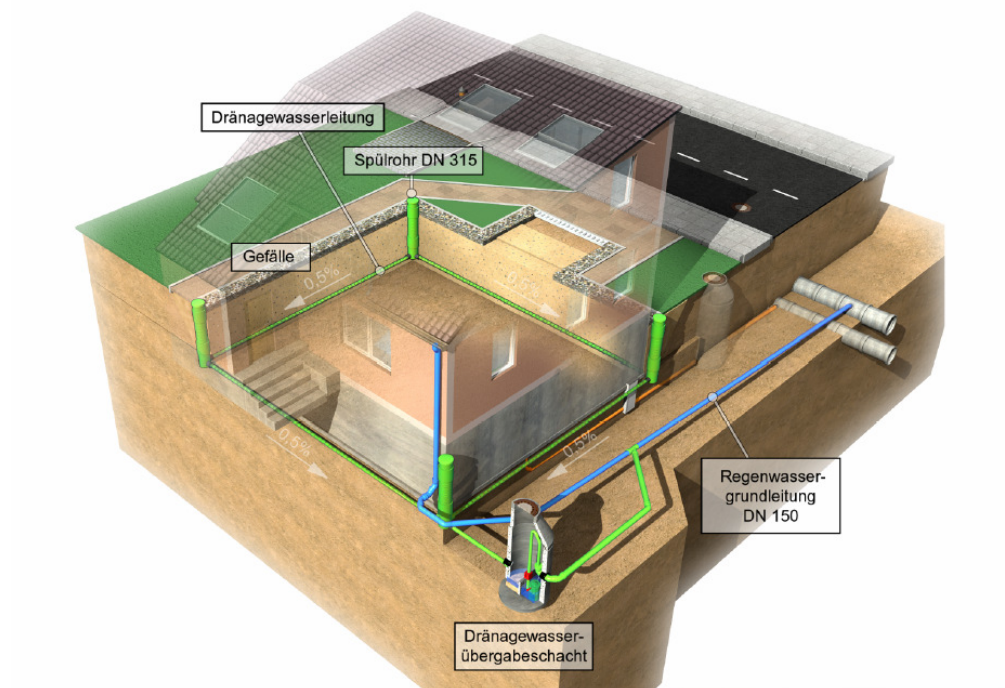


Bild 49 Beispielausführung einer Dränageleitung (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Dränanlagen unter Bodenplatten (Flächendränage)

In seltenen Fällen erfolgt eine Ausführung als Flächendränage unterhalb einer Bodenplatte, wenn tief gegründete oder großflächige Gebäude vor Grundwasser geschützt werden sollen. Flächendrängen verlaufen meist unzugänglich und münden

je nach Gefälleverhältnissen bei Fehlanschluss oft in einen Schmutzwasserpumpensumpf innerhalb des Gebäudes, von wo das Abwasser auf Höhe des Kanals gehoben wird.

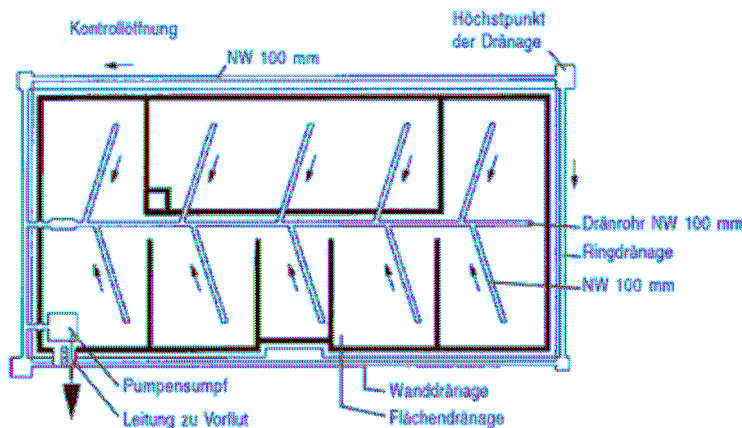


Bild 50 Flächendrainage unter einem Gebäude mit kombinierter Ringdrainage [124]

Diese Dränmaßnahmen sind abhängig von der Größe der bebauten Fläche (s. Tabelle 10). Bei Flächen bis 200 m² darf eine Flächendrainschicht ohne Dränleitung zur Ausführung kommen. Die Entwässerung muss sichergestellt sein, z.B. durch Durchbrüche in den Streifenfundamenten mit ausreichendem Querschnitt (mindestens DN 50) und Gefälle zur äußeren Dränleitung. Bei Flächen über 200 m² ist ein Flächendrän zu planen, der über Dränleitungen entwässert wird. Der Abstand der Leitungen untereinander ist zu bemessen. Kontrolleinrichtungen sind erforderlichenfalls anzuordnen [118].

Tabelle 10 Richtwerte für Flächendrängen unter Bodenplatte [118]

Einflussgröße	Richtwert
Durchlässigkeit des Bodens	Schwach durchlässig
Bebaute Fläche	bis 200 m ²

Bemessung

Je nach Wasseranfall und örtlichen Verhältnissen darf die Bemessung als Regelausführung (Regelfall) oder als Einzelnachweis (Sonderfall) durchgeführt werden. Bei verformbaren Dränschichten sind für den Nachweis des Abflusses und der

Wasseraufnahme die Dicke und der Durchlässigkeitsbeiwert des Dränelementes zugrunde zu legen, das sich unter Beachtung des Zeitstandsverhaltens für eine Belastung von 50 Jahren ergeben wird. Diese Werte sind in Abhängigkeit von der Druckbelastung anzugeben [118].

Regelfall

Liegt ein Regelfall vor, ist für den Wasserabfluss bei nicht mineralischen, verformbaren Dränelementen mit der Abflussspende q' vor Wänden bzw. q unter Bodenplatten nach den Werten in Tabelle 11 zu rechnen.

Tabelle 11 Abflussspende zur Bemessung nichtmineralischer und verformbarer Dränelemente [118]

Lage	Abflussspende
Vor Wänden (Ringdränage)	0,30 l(s·m)
Unter Bodenplatten (Flächendränage)	0,005 l(s·m ²)

Für die Dränschicht aus mineralischen Baustoffen ergeben sich für den Regelfall die Beispiele für die Ausführungen nach Tabelle 12.

Tabelle 12 Beispiele für die Ausführung und Dicke der Dränschicht mineralischer Baustoffe für den Regelfall [118]

Lage	Baustoff	Dicke in m min.
vor Wänden	Kiessand, z. B. Körnung 0/8 mm (Sieblinie A 8 oder 0/32 mm Sieblinie B 32 nach DIN 1045)	0,50
	Filterschicht, z. B. Körnung 0/4 mm (0/4 a nach DIN 4226 Teil 1) und Sickerschicht, z. B. Körnung 4/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1)	0,10 0,20
	Kies, z. B. Körnung 8/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1) und Geotextil	0,20
	Kies, z. B. Körnung 8/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1) und Geotextil	0,15
auf Decken	Kies, z. B. Körnung 8/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1) und Geotextil	0,15
unter Boden- platten	Filterschicht z. B. Körnung 0/4 mm (0/4 a nach DIN 4226 Teil 1) und Sickerschicht z. B. Körnung 4/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1)	0,10 0,10
	Kies, z. B. Körnung 8/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1) und Geotextil	0,15
	Kies, z. B. Körnung 8/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1) und Geotextil	0,15
Drän- leitun- gen	Kiessand z. B. Körnung 0/8 mm (Sieblinie A 8 oder 0/32 mm Sieblinie B 32 nach DIN 1045)	0,15
	Sickerschicht z. B. Körnung 4/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1) und Filterschicht z. B. Körnung 0/4 mm (0/4 a nach DIN 4226 Teil 1)	0,15 0,10
	Kies, z. B. Körnung 8/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1) und Geotextil	0,10
	Kies, z. B. Körnung 8/16 mm (nach DIN 4226 Teil 1) und Geotextil	0,10

Sonderfall

Die Abflussspende für die Bemessung der flächigen Dränelemente darf nach Tabelle 13 und Tabelle 14 geschätzt werden. Der entsprechende Bereich ist nach Bodenart und Bodenwasser festzulegen.

Tabelle 13 Abflussspende vor Wänden [118]

Bereich	Bodenart und Bodenwasser Beispiel	Abflussspende q' in l/(s · m)
gering	sehr schwach durchlässige Böden *) ohne Stauwasser kein Oberflächenwasser	unter 0,05
mittel	schwach durchlässige Böden *) mit Sickerwasser kein Oberflächenwasser	von 0,05 bis 0,10
groß	Böden mit Schichtwasser oder Stauwasser wenig Oberflächenwasser	über 0,10 bis 0,30
*) Siehe DIN 18 130 Teil 1		

Tabelle 14 Abflussspende unter Bodenplatten [118]

Bereich	Überdeckung Beispiel	Abflussspende q in l/(s·m ²)
gering	unverbesserte Vegetations- schichten (Böden)	unter 0,01
mittel	verbesserte Vegetations- schichten (Substrate)	von 0,01 bis 0,02
groß	bekierte Flächen	über 0,02 bis 0,03

Die erforderliche Nennweite für Dränleitungen mit runder Querschnittsform und einer Betriebsrauheit $k_b = 2 \text{ mm}$ darf z.B. nach Bild 51 ermittelt werden. Die Fließgeschwindigkeit in der Dränleitung bei Vollfüllung soll $v = 0,25 \text{ m/s}$ nicht unterschreiten.

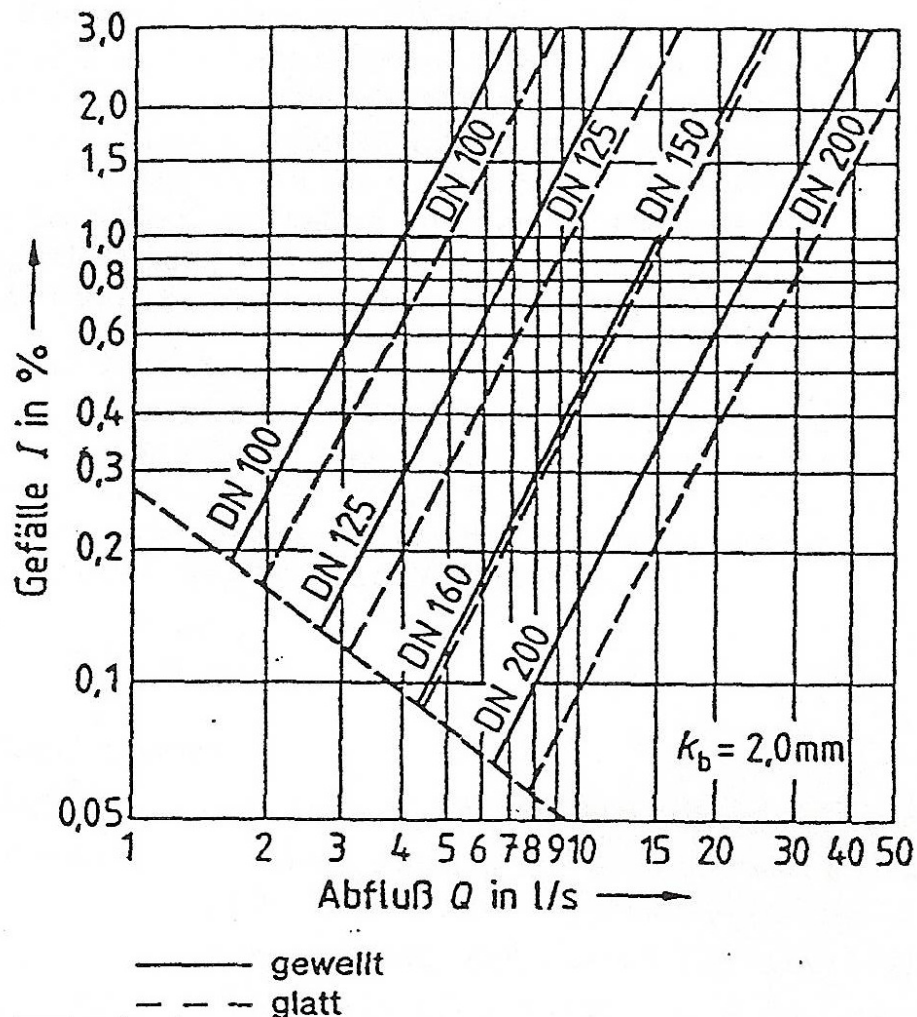


Bild 51 Bemessungsdiagramm für Dränleitungen mit runder Querschnittsform [118]

Bauausführung

Dränleitungen

Vor dem Verlegen von Dränleitungen ist ein stabiles Rohrleitungsplanum im vorgesehenen Gefälle herzustellen. Die Dränleitungen werden in der Regel am Tiefpunkt beginnend, geradlinig zwischen den Kontrolleinrichtungen verlegt. Die Überwachung und Reinigung der gesamten Dränleitung muss möglich sein. Daher sind bei stumpfen Stößen und Einmündungen Muffen oder Kupplungen zu verwenden. Die Dränleitungen sind gegen Lageverränderung zu sichern, z.B. durch gleichzeitigen, beidseitigen Einbau der Sickerschicht. Die erste Lage bis 0,15 m über Rohrscheitel ist von Hand leicht zu verdichten. Darüber darf ein Verdichtungsgerät eingesetzt werden.

Sickerschicht

Der Einbau der Sickerschicht ist vollflächig mit staufreiem Anschluss an die Dränleitung durchzuführen. Die Abdichtung darf nicht beschädigt werden.

Mineralgemische (Sand/Kies) werden bei Ringdränagen vor Wänden entweder im gesamten Arbeitsraum oder nur in Teilbereichen eingebaut. Entmischungen dürfen beim Einbau nicht auftreten. Entsprechend den Anforderungen an die Oberfläche ist zu verdichten.

Bei Flächendränagen ist das Planum unter Bodenplatten eben auszubilden und vor Aufweichen zu schützen. Geotextilien sind vollflächig und überlappt zu verlegen. Mineralstoffe sind in erforderlicher Dicke einzubauen und leicht zu verdichten.

Filterschicht

Die Filterschicht ist vollflächig und lückenlos auf und um die Sickerschicht bzw. das Dränelement zu verlegen. Bei Verwendung von Mineralstoffen darf keine Entmischung eintreten. Filtervliese sind an den Stößen mindestens 0,1 m zu überlappen und durch Verklammern oder Verkleben miteinander zu verbinden.

Verfüllung und Prüfung

Die Verfüllung der Baugrube ist entsprechend den Planungsanforderungen zu wählen und zu verdichten. Sie ist nach Einbau der Dränleitung umgehend vorzunehmen. Nach

der Verfüllung der Baugrube muss die Funktionsfähigkeit der Dränleitungen, beispielsweise durch Spiegelung, überprüft werden. Das Prüfergebnis ist in einem Protokoll niederzuschreiben.

Erfahrungswerte und Hinweise bei der Planung

Dränleitungen werden heute nahezu ausschließlich in Form flexibler Rohre als Rollenware angeboten. Flexible Rohre erfüllen jedoch für die Gebäudedränage nicht die Anforderungen der DIN 4095 [118] hinsichtlich einer geradlinigen Verlegung, da sie aufgrund ihrer fehlenden Formstabilität nicht linienförmig verlegt werden können. Die Folge ist ein wellenförmiger Rohrverlauf mit dem Risiko von Rohrdurchbiegungen und der lokalen Gefällelosigkeit. Planer sollten daher bereits bei Planung und Ausschreibung auf Stangenware hinweisen, die die o.g. Anforderungen nach DIN 4095 [118] erfüllt. Bei der Abnahme muss vom Ingenieur das eingesetzte Produkt auf Funktionsfähigkeit der Dränleitungen und auf Eignung für den Verwendungszweck geprüft werden [122].

Nach DIN 4095 [118] ist in baulicher und wasserrechtlicher Hinsicht zu prüfen, wohin das Wasser abgeleitet werden kann, denn Voraussetzung für eine wirksame Dränung ist eine ausreichende Vorflut. Im Allgemeinen ist anzustreben, einen Anschluss im freien Gefälle an einen offenen Vorfluter oder einen Regenkanal zu schaffen oder das Dränwasser zu versickern. Die zeitlich variablen Mengen anfallenden Dränwassers sind bei der Dimensionierung der Dränanlagen zu berücksichtigen. Insofern eine, da auf Dauer in der Regel nicht zulässig, zeitlich befristete Einleitung in eine vorhandene Kanalisation vorgesehen ist, sind die Einleitmenge sowie die Aufnahmekapazität der Kanalisation zu verifizieren.

3.1.3.3 Anforderungen an Versickerungsanlagen

Die Versickerung von Niederschlagswasser in den Untergrund kann über zentrale oder dezentrale Anlagen beispielsweise als

- Flächenversickerung
- Muldenversickerung

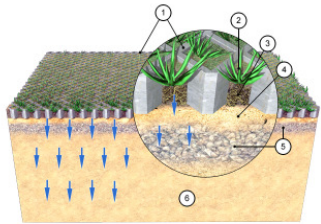
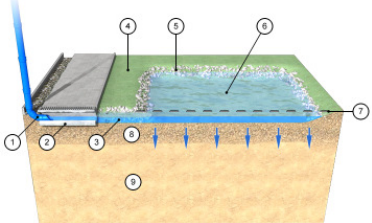
- Rigolen- und Rohrversickerung
- Schachtversickerung oder
- Versickerungsbecken

erfolgen.

Interessant ist die Fragestellung nach der Zulässigkeit einer Versickerung von Grundwasser in einem fremdwasserbelasteten Siedlungsgebiet. Letztendlich soll Grundwasser ja nur dort wieder dem Bodenwasserhaushalt zugeführt werden, wo es zu keiner Vernässung führt.

Zur Vermeidung von Bauwerksschäden sind besondere Anforderungen an die wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Randbedingungen zu stellen. Neben einer hinreichenden Wasserdurchlässigkeit des Bodens (z.B. kiesig, sandig) sind Mindestflurabstände des Grundwassers einzuhalten und eine ausreichend große Fläche erforderlich. Nach dem Arbeitsblatt DWA-A 138 [125] sind nur Böden mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \geq 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ für eine Versickerung geeignet. Bei klüftigem-felsigem Untergrund, Hanglagen oder schwierigen Gefälleverhältnissen müssen zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden. Die Versickerung über Altlasten / Altlastenverdachtsflächen ist unzulässig. Nachfolgend werden in Tabelle 15 die wichtigsten Verfahren zur dezentralen Versickerung unter Berücksichtigung der Funktionsbeschreibung, der Anwendungsbereiche sowie deren Vor- und Nachteile dargestellt.

Tabelle 15 Verfahren zur dezentralen Versickerung (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Versickerungsmaßnahmen				
	Prinzipskizze	Funktionsbeschreibung	Anwendungsbereich	Vor-, Nachteile
Flächenversickerung	 1. Rasengittersteine 2. Bepflanzung 3. Oberboden 4. Sandschicht 5. Kiesschüttung 6. anstehender Boden	Flächenförmige Versickerung über eine durchlässige Oberfläche	Bei gut durchlässigem Untergrund, bei Flächen mit Nutzung z.B. als Parkflächen <u>Durchlässigkeitsbereich der Böden:</u> $k_f \geq 2 \cdot 10^{-5}$ <u>Erforderlicher Grundwasserflurabstand:</u> $> 0,5 \text{ m}$	Geringer technischer Aufwand aber großer Flächenbedarf
Muldenversickerung	 1. Regenwasserfallrohr 2. Rinne 3. oberflächiger Zufluss 4. Rasenfläche 5. Erosionsschutz 6. Mulde 7. Maximalwasserstand 8. versickerungsfähiger Boden 9. anstehender Boden	Aufnahme des Oberflächenwassers in der Mulde und flächenförmige Versickerung durch eine belebte Bodenschicht	bei mäßig durchlässigem Untergrund <u>Durchlässigkeitsbereich der Böden:</u> $5 \cdot 10^{-6} \leq k_f < 2 \cdot 10^{-5}$ <u>Erforderlicher Grundwasserflurabstand:</u> $> 0,8 \text{ m}$	geringer Aufwand für Bau und Wartung, gute Reinigungsleistung aber 10-20% der angeschlossenen Fläche als Flächenbedarf

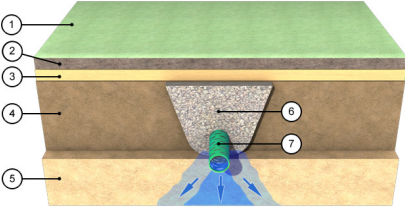
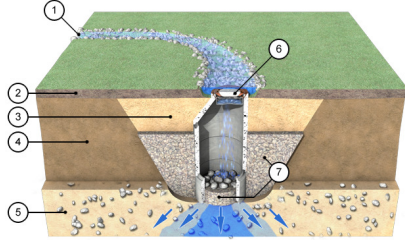
Rohrrigolenversickerung	 1. Rasenfläche 2. Mutterboden 3. Ausgleichsschicht 4. bindiger Boden 5. versickerungsfähiger Boden 6. Filterkies 7. Dränrohr	Versickerung über einen künstlich eingebrachten Kieskörper mit großem Rückhaltevermögen. Statt des Kieskörpers sind auch Versickerungsblöcke aus Kunststoff erhältlich. Über dem Kieskörper kann noch eine Mulde angeordnet werden, im Kieskörper zusätzlich noch ein geschlitztes Rohr verlegt werden	Bei gut durchlässigem Untergrund Ohne Ableitung: <u>Durchlässigkeitsbereich der Böden:</u> $1 \cdot 10^{-6} \leq k_f < 5 \cdot 10^{-5}$ <u>Erforderlicher Grundwasserflurabstand:</u> $> 1,2 \text{ m}$ Mit gedrosselter Ableitung: <u>Durchlässigkeitsbereich der Böden:</u> $k_f < 1 \cdot 10^{-6}$ <u>Erforderlicher Grundwasserflurabstand:</u> $> 1,5 \text{ m}$	Geringer Flächenbedarf Nutzbarkeit der Oberfläche
Schachtversickerung	 1. oberflächiger Zulauf 2. Oberboden 3. Verfüllung 4. schlecht durchlässige Bodenschicht 5. versickerungsfähige Schicht 6. Schachtabdeckung mit Einlauföffnungen und Schmutzfang 7. Filterkies	Punktförmige Versickerung direkt in tiefergelegene, sickerfähige Schicht	Bei gut durchlässigem Untergrund, bei geringem Flächenangebot	Geringer Flächenbedarf aber bei Verstopfung aufwändige Sanierung

Bild 52 zeigt die bevorzugten Einsatzgebiete der Versickerungsanlagen in Abhängigkeit der Wasserdurchlässigkeit des Bodens (k_f -Wert) [126].

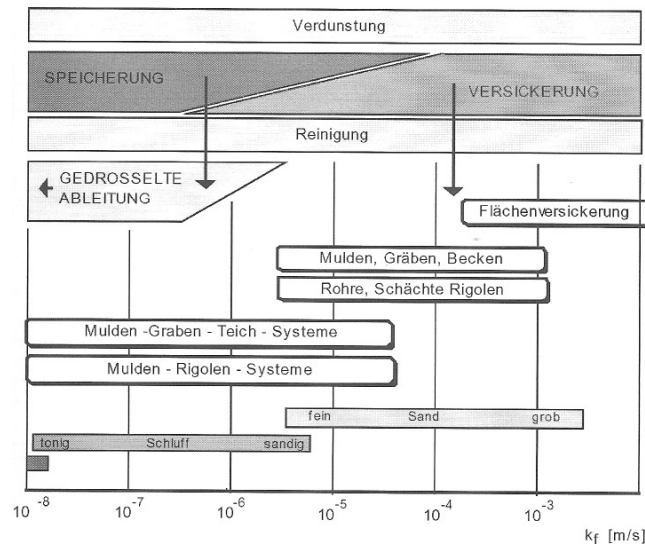


Bild 52 Einsatzbereiche verschiedener Versickerungsformen [126]

Ein Beispiel einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme ist im Bild 53 dargestellt. Bei der Planung ist die Lage der Ver- und Entsorgungsleitungen zu berücksichtigen. Deshalb muss die Entwässerung vor Beginn der Baumaßnahme bezüglich ihrer Lage im Detail mit den übrigen Erschließungskomponenten abgestimmt werden.

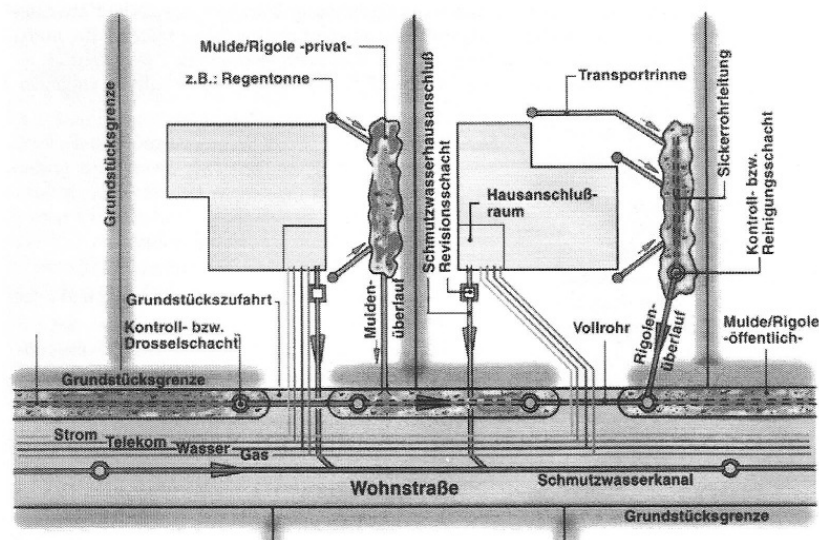


Bild 53 Beispiel einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung

Die Ausschlusskriterien einer Versickerung treffen in den meisten Fällen auf die Siedlungsgebiete zu, in denen Fremdwassergebiete existieren. Eine Grundwasserabsenkung zur Vermeidung von Vernässungsschäden mit anschließender Versickerung des Wassers darf nicht erfolgen. Ausnahme ist eine Ableitung des Grundwassers aus dem Entnahmegebiet in ein weiter entferntes, zur Versickerung geeignetes Gebiet über entsprechende Transportleitungen oder offene Gräben mit abgedichteter Sohle.

Die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Versickerung von Dränwasser lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Durchlässigkeitsbeiwert der ungesättigten Zone sollte höchstens $k_f = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s betragen, um eine ausreichende Aufenthaltszeit und Reinigung der Sickerwässer durch chemische und biologische Prozesse zu erreichen.
- Der Untergrund muss eine ausreichend hohe Durchlässigkeit aufweisen. Ausgedrückt durch den Durchlässigkeitsbeiwert wird die untere Anwendungsgrenze für Versickerungsanlagen im allgemeinen bei $k_f \leq 5 \cdot 10^{-6}$ m/s (s. Bild 52) gesehen, bei k_f -Werten $< 1 \cdot 10^{-6}$ m/s ist eine Entwässerung ausschließlich durch Versickerung mit zeitweiliger Speicherung nicht von vornherein gewährleistet, so dass eine ergänzende Ableitungsmöglichkeit vorzusehen ist.
- Die Durchlässigkeitsbeiwerte anstehender Böden können je nach Kornzusammensetzung, Lagerungsdichte innerhalb einer Schicht variieren und auch von der mittleren Bandbreite abweichen. In der ungesättigten Bodenzone kann die Durchlässigkeit der einzelnen Bodenschichten näherungsweise mit dem halben Wert k_f angenommen werden.
- Der Abstand zwischen der Sohle der Versickerungsanlage und dem mittleren höchsten Grundwasserstand sollte mindestens 1,0 m betragen, um eine ausreichende Filterstrecke für die eingeleiteten Wässer zu gewährleisten.
- Im Bereich von Altlasten- / Altlastenverdachtsflächen ist eine Versickerung i.d.R. nur zulässig, wenn gegenüber der Genehmigungsbehörde durch entsprechende Untersuchungen nachgewiesen werden kann, dass die Sickerstrecken unterhalb der kontaminierten Bereiche liegen bzw., dass von der Altlastenverdachtsfläche keine

Gefährdung für das Grundwasser ausgeht.

- Das zu versickernde Dränwasser darf nicht schädlich verunreinigt sein. Daneben kann die Versickerung auch zum Schutze des Grundwassers durch Wasserschutzzonen oder durch vorhandene Altlasten beschränkt sein
- Versickerungsanlagen sollten nach Möglichkeit nicht im Lastabtragungsbereich von Verkehrswegen oder Bauwerken (mindestens 45° gemessen zur Senkrechten an den Fundamenträndern) angeordnet werden.
- Eine nachteilige Veränderung der baugrundtechnischen Eigenschaften der Böden durch die Versickerung von Wässern ist auszuschließen.
- Bei geringer Durchlässigkeit oberflächennah anstehender bindiger Böden liegen Untergrundverhältnisse vor, die als ungünstig zur Versickerung von Niederschlagswasser eingestuft werden müssen. Bei einer entsprechenden Dimensionierung von Versickerungsanlagen kann eine Versickerung aber auch bei einer geringen Versickerungsfähigkeit des Untergrundes vorgenommen werden. Allerdings können sich nachteilig längere Einstauzeiten der Versickerungsanlagen ergeben. Erforderlichenfalls sind ergänzend Ableitungsmöglichkeiten vorzusehen.

3.2 Bauliche Maßnahmen zur Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs, Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser und Maßnahmen zur Vermeidung von Grundwasserableitungen zu den Liegenschaften unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen

Im diesem Arbeitsschritt erfolgt die konzeptionelle Entwicklung geeigneter und auf die individuellen – insbesondere geologischen und hydrogeologischen - Randbedingungen abgestimmter Maßnahmen zur

1. Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs,

2. Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser und
3. Vermeidung von Grundwasserableitungen zu den Liegenschaften.

Alle nachfolgend skizzierten und potenziell für den vorliegenden Anwendungsfall in Frage kommenden Varianten werden hierzu eingehend hinsichtlich

- Machbarkeit in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen
- Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs
- Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten
- Aufwand für die Instandhaltung
- Kosten
- Kombinationsmöglichkeit mit den anderen in Frage kommenden Varianten

untersucht.

Bei den baulichen Maßnahmen ist generell zu unterscheiden zwischen den Maßnahmen der **Fremdwasservermeidung** und den Maßnahmen der **Fremdwasserreduzierung**.

Maßnahmen der **Fremdwasservermeidung** sind überwiegend bau- bzw. entwässerungstechnischer Natur und werden in Erschließungsgebieten angewendet. Hierzu zählen bspw. die Reduzierung von Rohrverbindungen oder der Verzicht auf Dränleitungen durch den Bau weißer Wannen in grundwasserbeeinflussten Gebieten.

Maßnahmen zur **Fremdwasserreduzierung** werden in bereits kanalisierten Gebieten angewendet. Sie vermindern die Entstehung des Fremdwasserabflusses am Entstehungsort. Zu den Maßnahmen der Fremdwasserreduzierung zählen beispielsweise die Kanalsanierung im öffentlichen und privaten Bereich sowie die Beseitigung von Fehlschlüssen. Zusätzlich müssen ggf. geeignete Möglichkeiten zur schadlosen Ableitung des Sicker-, Schichten und Grundwassers geschaffen werden. Hierdurch werden der Anstieg des Grundwasserspiegels und in der Konsequenz Vernässungsschäden verhindert.

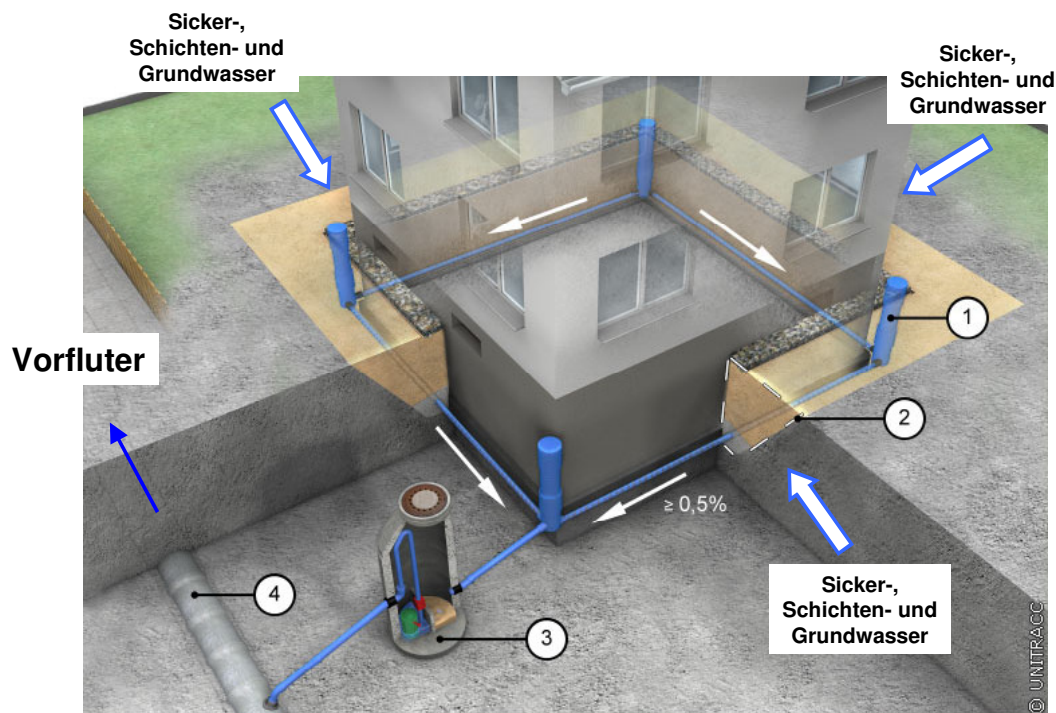
Nachfolgend werden verschiedene Möglichkeiten von Maßnahmen zur Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs vorgestellt.

3.2.1 Konzepte zur Verhinderung des Grundwasseranstiegs

3.2.1.1 Dränierung des Grundwassers in der Umgebung der Liegenschaften

Grundwasserabsenkung mit Ableitung (GmA)

Das anfallende Sicker-, Schichten- und Grundwasser von am Hang liegenden Grundstücken wird zur Einstellung von Grundwasserflurabständen oberhalb der Gebäude gesammelt, abgeleitet und in ein naheliegendes, als Vorfluter fungierendes Oberflächengewässer eingeleitet (s. Bild 54) [127].



1. Revisionsschacht
2. Baugrubenverfüllung
3. Hausanschlussschacht mit Pumpe
4. Öffentlicher Regenwasserkanal

Bild 54 Beispiel einer Ringdränage zur Abführung des Dränwassers zum Vorfluter als Variante GmA (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Grundwasserabsenkung mit Versickerung (GmV)

Bei der Variante GmV wird das anfallende Sicker-, Schichten- und Grundwasser ebenfalls oberhalb der Gebäude gesammelt, abgeleitet und - in Abhängigkeit von den geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen - vor Ort bzw. an anderer Stelle in den Aquifer unterhalb der Liegenschaften versickert (s. Bild 55).

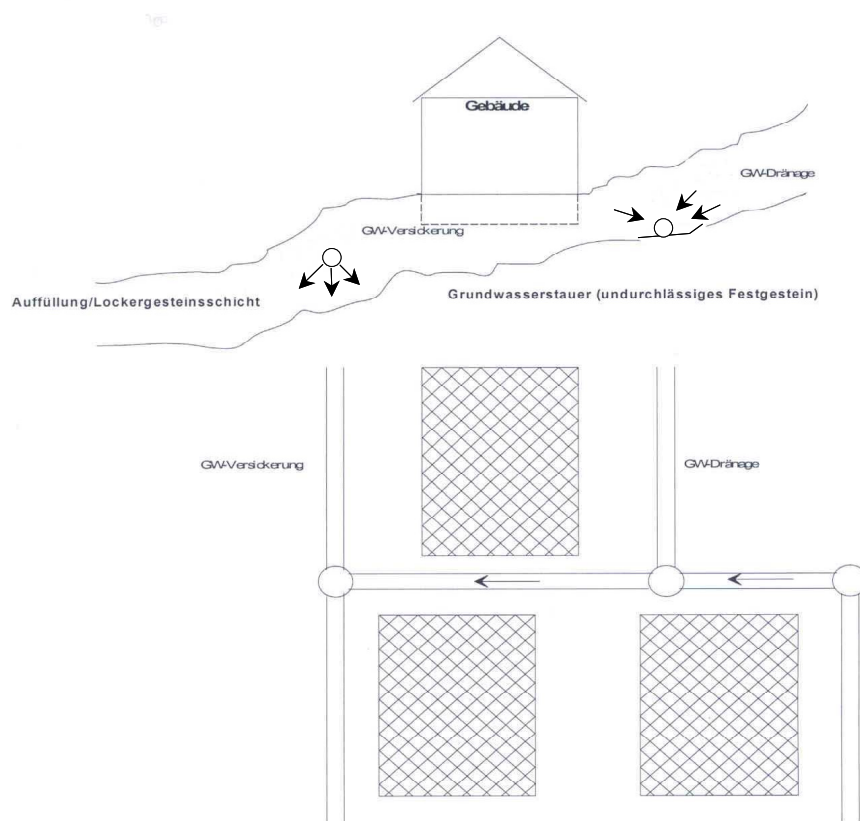


Bild 55 Beispiel einer Abfangmöglichkeit des Sicker-, Schichten- und Grundwassers oberhalb der Gebäude mit anschließender Wiedereinleitung an anderer Stelle in den Aquifer unterhalb der Liegenschaften als Variante GmV

Um das dränierte Wasser nicht sofort wieder – wenn auch an anderer Stelle - unterhalb der Gebäude - zu versickern und um den Versickerungsprozess zu verstetigen, können darüber hinaus im Bedarfsfall z.B. zusätzlich Rohrrigolen mit verstärkt ableitender Funktion als Speicherkapazitäten vorgesehen werden. Diese Konzepte können insbesondere als Modellbeispiel für ökologisch vertretbare Lösungen bei Folgeprojekten in anderen Kommunen dienen, zumal die Auswirkungen der Gewässerbenutzung minimiert werden.

Machbarkeit in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen

Das Konzept mit Dränierung des Grundwassers in der Umgehung der Liegenschaften kann bei Variante GmA und GmV sowohl bei Misch- als auch bei Trennsystemen realisiert werden. Insbesondere bei geringen Grundwasserflurabständen (ca. 1,4 m), ungünstigen Durchlässigkeitsbeiwerten (ca. $k_f = 10^{-8}$ m/s) des Untergrundes, kleinen Grundstücksflächen oder bei Gefahr der Mobilisierung von Schadstoffen kann die Variante GmA die besser geeignete Alternative sein.

Die Variante GmV ist in einem fremdwasserbelasteten Siedlungsgebiet nicht sinnvoll, da letztendlich das Grundwasser nur dort wieder dem Bodenwasserhaushalt zugeführt werden sollte, wo es zu keiner Vernässung führt. Alternativ ist eine Ableitung des Grundwassers aus dem Entnahmegebiet in ein weiter entferntes, zur Versickerung geeignetes Gebiet über entsprechende Transportleitungen oder offene Gräben mit abgedichteter Sohle. In Abhängigkeit der Siedlungsstruktur, der topographischen und hydrogeologischen Randbedingungen können die Maßnahmen bauwerksbezogen auf den einzelnen Grundstücken oder am Rande des Siedlungskomplexes (Orts- oder Stadtteil) durchgeführt werden. Sofern die Maßnahmen zur Versickerung in ein kleinräumiges (orts- oder stadtteilbezogenes) Gesamtkonzept integriert werden, ist aufgrund der lokal sehr unterschiedlichen Bedingungen in der Regel ein stufenweiser Ausbau von Anlagen zu empfehlen, um das finanzielle Risiko in Grenzen zu halten.

Die Planung und Dimensionierung der Maßnahmen setzt daher im konkreten Einzelfall eine sorgfältige Erkundung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse einschließlich der Grundwasserhydraulik und der zu erwartenden Grundwasserhöchststände durch einen qualifizierten Baugrundgutachter voraus. Bei der Festlegung des Absenkziels sind die Einbindetiefen der Gebäude, mögliche Sackungen bzw. Setzungen infolge der Entwässerung bindiger und nichtbindiger Schichten und die Auswirkungen auf nahegelegene, ökologisch wertvolle Bereiche zu beachten. Darüber hinaus muss die Grundwasserbeschaffenheit hinsichtlich der langfristigen Funktionsfähigkeit der technischen Anlagen und der schadlosen Ableitung des Wassers geklärt werden. Der Betrieb richtet sich nach den Grundwasserständen und ist zeitlich variabel. Die zeitlich variablen Mengen sind bei der Dimensionierung zu berücksichtigen.

Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs

Durch eine ordnungsgemäße Planung und Umsetzung der Variante GmA sind keine Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs im Untersuchungsgebiet zu erwarten. Die Variante GmV kann durch Versickerungsmaßnahmen in kritischen Bereichen zu hohen Grundwasseranstiegen führen und somit Vernässungsschäden an Gebäuden verursachen.

Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten

Die Gewährleistung einer dauerhaften Funktions- und Leistungsfähigkeit von Dränleitungen ist maßgeblich von den chemischen Eigenschaften des Grundwassers und Bodens abhängig. Bei einem Grundwasser mit einem pH-Wert um ca. 7, einem Eisengehalt (Fe^{2+}) von $> 0,2 \text{ mg/l}$ und einem Redoxpotenzial von $> 10 \text{ mV}$ besteht nach Bieske [128] die Gefahr von Verockerungen bei Kontakt mit Sauerstoff oder einer Entspannung des Grundwassers (s. Bild 56). Dienen Dränleitungen der Ableitung eines solchen Grundwassers, wird die Leistungsfähigkeit auf Dauer signifikant reduziert. Auch bei regelmäßigen Regenerierungsmaßnahmen durch Spülung oder mechanische Reinigung bleibt die Nutzungsdauer bei einem Grundwasser mit Verockerungspotenzial auf durchschnittlich 20-30 Jahre beschränkt [129]. Die Wahrscheinlichkeit einer Verockerung erhöht sich zusätzlich bei turbulenten Fließvorgängen und durch gleichzeitiges Vorliegen von Eisen- und Manganbakterien. Abgemindert wird die Gefahr durch im Boden vorhandene Huminsäuren. Verockerung im Bereich von Undichtigkeiten sind aufgrund reduzierter Prozesse selten zu beobachten. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass – anders als bei Dränleitungen - vom Abwasser umströmte Undichtigkeiten auch dauerhaft undicht bleiben [29]. Außerdem können in Abhängigkeit der Grundwassereigenschaften (Kalk usw.) Versinterungsprobleme auftreten, welche ebenfalls die Nutzungsdauer reduzieren.



Bild 56 Beispiel der Verockerung einer Dränleitung [119]

Die in den aktuellen KVR - Leitlinien 2005 [130] bzw. im Arbeitsblatt DWA – A 133 [131] enthaltenen Angaben zur Nutzungsdauer der Dränanlagen als Flächenentwässerung werden mit (25) 30 bis 40 Jahren angegeben.

In DIN 4095 [118] ist für eine Dränanlage ein Zeitstandsverhalten für eine Belastung von 50 Jahren angegeben. Der Zeitraum für beispielsweise kokosummantelte Dränleitungen bis zur Verrottung des Kokosgewebes ist je nach Einbauart unterschiedlich und kann nach [122] mit ca. 5-10 Jahren angegeben werden. Damit kann das geforderte Zeitstandsverhalten von 50 Jahren durch die nach 5 bis 10 Jahren zersetzte Kokosfaserummantelung nicht erreicht werden, weil die Dränleitungen anschließend nicht mehr filterfest sind und damit die Gefahr des Versandens oder des Verschlammens besteht. Ferner können sich die Abbauprodukte beispielsweise der Kokosfasern selbst im Rohr ablagern. Wie schon im Abschnitt 0 erläutert, ist speziell auf kokosummantelte Filterungen von Dränleitungen zu verzichten.

Die Nutzungsdauer der Versickerungssysteme für Regenwasser (wie Mulden- / Rigolensysteme) beträgt nach den aktuellen KVR - Leitlinien 2005 [130] (15) 20 bis 30 Jahre.

Aufwand für die Instandhaltung

Die o.g. Verockerungs- und Versinterungserscheinungen sind bei Dränleitungen aufgrund des verringerten Wasserzutritts generell ein Problem. Für die Funktionsfähigkeit der Dränleitungen stellt das Freispülen das einzig mögliche Verfahren dar. In der Dräntechnik stehen dafür hochdruckspülbare Rohrsysteme zur Verfügung. Außerdem sind entsprechend angeordnete Schächte für die Wartung unverzichtbar. Um auf die Bildung von Ockerschlamms reagieren zu können, sollte in den ersten Betriebsjahren eine regelmäßige Beobachtung der Dränleitungen erfolgen. Darauf aufbauend können Wartungsintervalle festgelegt werden [132].

Der Aufwand für den Bau von Dränanlagen wurde bereits im Abschnitt 3.1.3.2 erläutert.

In Tabelle 16 ist der Wartungsaufwand nach [133] für die verschiedenen Versickerungstypen im Vergleich qualitativ dargestellt.

Tabelle 16 Wartungsaufwand für verschiedene Versickerungsvarianten [133]

Verfahren	Flächen- versickerung	Mulden- versickerung	Rohr- versickerung	Schacht- versickerung
Wartungsaufwand	gering	gering	gering	mittel

Kosten

Die Materialkosten der geschlitzten Dränleitungen sind abhängig von der Nennweite und betragen zwischen 2 und 25 Euro pro Meter [134]. Dabei sind das Liefern und der Einbau nicht berücksichtigt.

Die Kosten zu Versickerungsmaßnahmen werden in zahlreichen Literaturquellen behandelt. Aus Kostenangaben diverser Quellen hat Londong [126] Investitionskostenbänder für verschiedene Versickerungsanlagentypen in Beziehung zum Durchlässigkeitsbeiwert k_f gesetzt und die im Bild 57 dargestellten funktionalen Abhängigkeiten gefunden. Diese Werte sind nach [126] als Annäherungen zu verstehen, die Ausgangsdaten sind zu inhomogen für genaue Aussagen. In den Kosten sind nicht enthalten der Aufwand für Planung, Bauüberwachung und

Bodenuntersuchung usw.. In die Kurvenbänder sind auch allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Versickerung (Kostenzunahme bei fallendem Durchlässigkeitsbeiwert) eingeflossen.

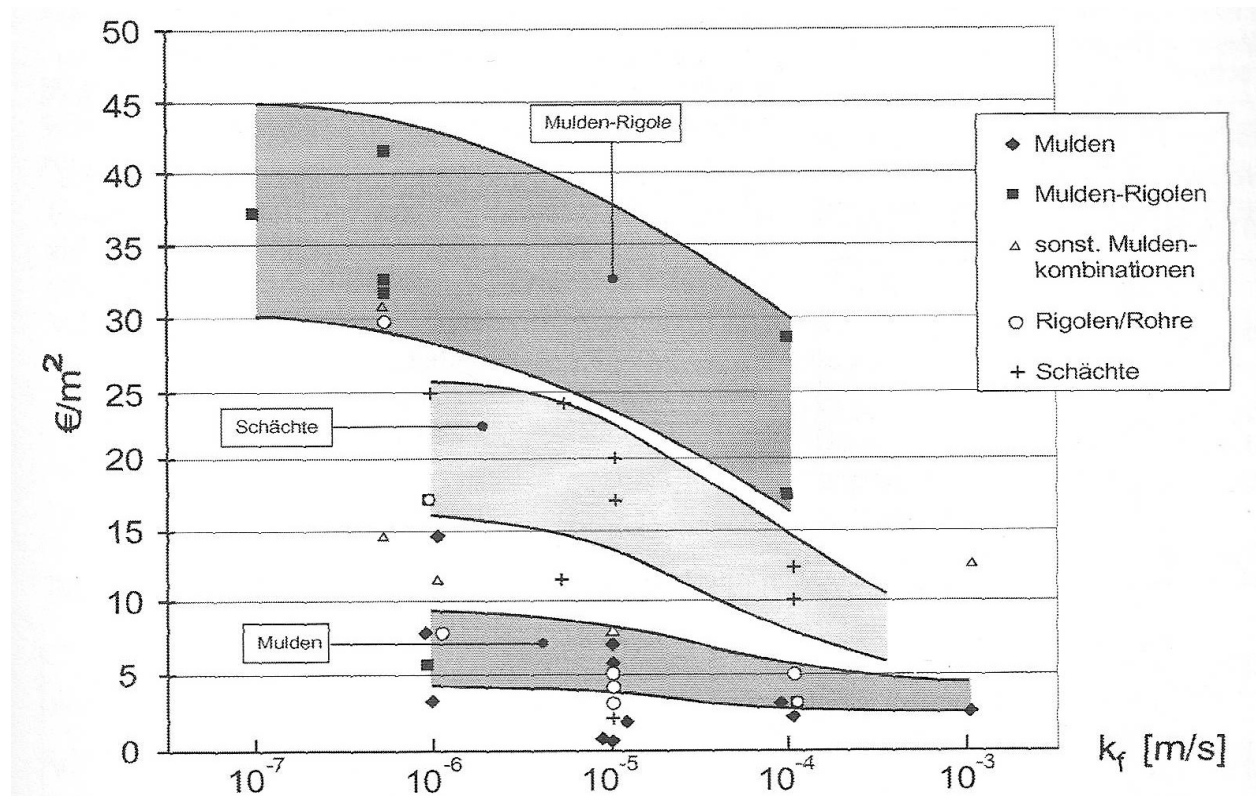


Bild 57 Investitionskosten für Versickerungsanlagentypen in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitsbeiwert k_f [126]

Unter Einbeziehung der neuen Literatur und von Projekten der internationalen Bauausstellung (IBA) Emscher Park wurden von [135] aus weit über 100 Maßnahmen die in Tabelle 17 wiedergegebenen Kosten bezogen auf den Quadratmeter befestigter Fläche ermittelt.

Tabelle 17 Kosten verschiedener Versickerungsmaßnahmen bezogen auf die befestigte Fläche (auf Euro umgerechnet) [135]

Art der Versickerung	Mittelwert [Euro/m²]	Medianwert [Euro/m²]	Minimum [Euro/m²]	Maximum [Euro/m²]
Mulden	5,50	5,00	1,25	15,00
Rohre- oder Rigolen	11,50	7,50	3,50	24,00
Schächte	13,00	12,00	3,75	25,00
Mulden-Rigolen-Systeme	25,00	23,50	6,00	42,00
Sonstige Mulden-Kombinationen	15,50	14,00	8,25	31,00
Rückhaltung und gedrosselte Einleitung	15,00	12,00	9,00	32,50

Humacher [136] gibt Baukosten für Anlagen mit Zwischenspeicherung in Abhängigkeit von deren Abmessungen (m² Mulde, lfd. m Rigole) an (s. Tabelle 18).

Tabelle 18 Spezifische Baukosten für Versickerungsanlagen mit Speicher (in Euro umgerechnet) [136]

Verfahren	spezifische Baukosten		Einheit
	Bereich	Mittel	
Mulde	10 bis 35	19	€/m ² Mulde
Rigole, offen b = h = 0,6 m	27 bis 45	34	€/ lfd. m
Rigole, überdeckt b = h = 1,0 m	45 bis 55	50	€/ lfd. m
Rohrrigole b = h = 0,6 m	75 bis 100	87	€/ lfd. m
Rohrrigole b = h = 1,0 m	112 bis 200	150	€/ lfd. m
Schacht DN 1000	200 bis 350		€/ aufsteig. m
Schacht DN 2000	750 bis 1250	250 1000	€/ aufsteig. m

Börger [137] hat aus einer ATV-Umfrage Kosten bezogen auf die befestigte Fläche und die Einwohner sowie die gewöhnliche Nutzungsdauer zusammengestellt (s. Tabelle 19).

Tabelle 19 Spezifische Baukosten und betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer von Versickerungsanlagen (in Euro umgerechnet) [137]

	Spezifische Baukosten (Spanne und Mittelwert)			betriebs-gewöhnliche Nutzungsdauer [a]
	[€/m ² ·A _g]	[€/Einwohner]	[€/m ³ Bodenaushub]	
Sickerschächte	1,3–34 Ø 11,4	200–1.250 Ø 723	1.000–5.000,0 Ø 2.130 [€/Schacht]	15–50 Ø 31,5
Rigolen	2–31 Ø 15	95–1.000 Ø 458	65–333 Ø 178 [€/lfd. m]	20–30 Ø 26,4
Rohre	3,3–18 Ø 3,6	716 Ø 716		
Mulden	0,3–8 Ø 3,6	1–23 Ø 13		15–30 Ø 22,5
Teiche	10–51 Ø 31	1,5–358 Ø 160	20–25 Ø 23 [€/m ³ Bodenaushub]	15–25 Ø 20,5
Erdbecken	0,5–46 Ø 12	1,7–332 Ø 205	23–51 Ø 32 [€/m ³ Rückhalt.]	15–50 Ø 39,4

Kombinationsmöglichkeit mit den anderen in Frage kommenden Varianten

Durch die Variante A wird der Grundwasserspiegelanstieg vermieden. Dieses Verfahren sollte am sinnvollsten kombiniert werden mit einem Ableitungssystem (s. Abschn. 3.2.2). So kann das Grundwasser durch die Dränleitungen aufgenommen und letztendlich mit einem Ableitungssystem zum Vorfluter transportiert werden.

3.2.1.2 Brunnen

Ein weiteres Verfahren zur Vermeidung des Anstiegs des Grundwasserspiegels stellen Brunnen dar. Dabei unterscheidet man zwischen dem **Horizontalfilterbrunnen** (HFB) und dem **vertikalen Tiefbrunnen** (VTB).

Horizontalfilterbrunnen (s. Bild 58) sind Wassergewinnungsanlagen, die ihr Wasser mit mehreren von einem Schacht sternförmig nach allen Seiten ausgehenden, horizontal gelagerten Filterrohrsträngen dem Grundwasserleiter entnehmen. Unter dem hydrostatischen Druck des Grundwasserleiters tritt das Wasser durch die Filterrohre in den Sammel-schacht ein und wird diesem meist durch Unterwassermotorpumpen entnommen.

Der lichte Schachtdurchmesser beträgt in der Regel etwa 3 bis 6 m. Die Schachttiefe

richtet sich nach der Tiefenlage der wasserführenden Schichten und wird in der Praxis mit 10 bis 70 m ausgeführt. Die Nennweite der Filterrohre beträgt i.d.R. 150-300 mm (selten auch größer) bei Einzelstranglängen von ca. 40 bis 60 m. Die Förderleistung liegt nach Angaben von [138] zwischen 400 und 3000 m³/h.

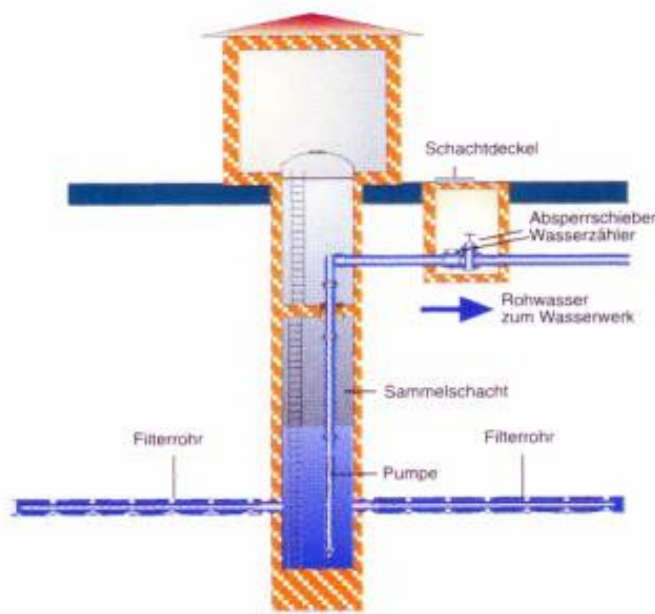


Bild 58 Aufbau eines Horizontalfilterbrunnens [139]

Vertikale Tiefbrunnen (s. Bild 59) bestehen aus langen, in den Untergrund abgeteufte Rohren, die in Höhe der grundwasserführenden Schicht Eintrittsöffnungen besitzen. Durch diese kann das Grundwasser einströmen. Oft werden die Vertikalbrunnen in Reihen hintereinander in sogenannten Brunnengalerien angelegt. Die einzelnen Brunnen sind durch eine Sammelleitung miteinander verbunden, die das Wasser durch eine elektrische Unterwasserpumpe zur Aufbereitung ins Wasserwerk fördert.

Der lichte Schachtdurchmesser beträgt in der Regel etwa 0,3 bis 1,0 m. Die Schachttiefe liegt zwischen 15 bis 30 m. Die Förderleistung eines vertikalen Tiefbrunnens beträgt je nach geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen ca. 50 m³/h bis über 400 m³/h und kann durch eine Brunnengalerie weiter gesteigert werden [139].

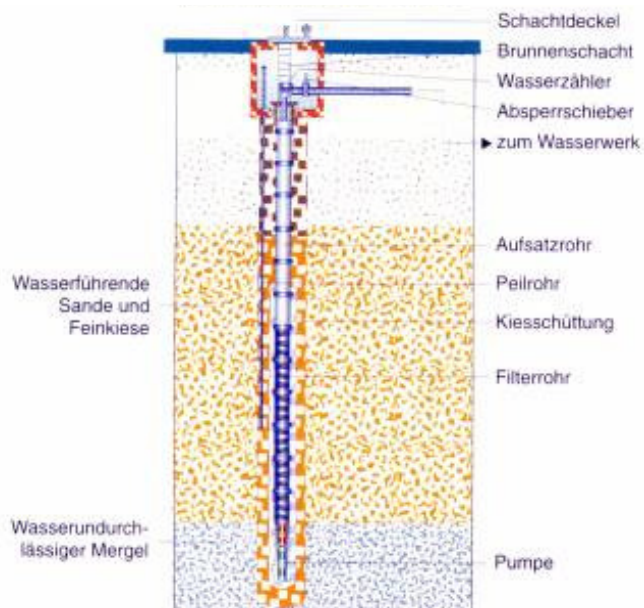


Bild 59 Aufbau eines vertikalen Tiefbrunnens [139]

Machbarkeit in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen

Die vertikalen Tiefbrunnen können in Abhängigkeit der Siedlungsstruktur und Bebauungsdichte durch Absenkung des Grundwassers in einem Radius von ca. 50 m die Kellergründungen von ca. 3 bis 4 Häusern trocken halten. Eine Grundwasserabsenkung durch Horizontalfilterbrunnen im öffentlichen Bereich kann wegen der geringen Reichweiten nur für Schwerpunktlösungen in Frage kommen [142].

In Tabelle 20 sind die Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der Horizontalfilterbrunnen (HFB) und der vertikalen Tiefbrunnen (VTB) dargestellt.

Tabelle 20 Eignungskriterien zur Auswahl von Verfahren zur Grundwasserhaltung [29, 140, 141]

Fassungsbauart	k_F - Wert (m/s)	Absenk- tiefe ¹⁾ (m)	Mächtigkeit des GWL ²⁾ (m)	Flur- abstand (m)	Pump- betrieb erford.	Bemerkungen
vertikale Tiefbrunnen	$1 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$	0 - H/2	ab 5	unabhängig	ja	viele Einzelbauwerke, konzentrischer Absenkungstrichter, große Absenkung möglich
Horizontalfilterbrunnen	$1 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$	0 - H/2	5 - 30	0 - 20	ja	wenige Bauwerke mit zentralen Betriebspunkten, hohe und flächige Absenkung
Quellen: HERTH und ARNDT (1994), BIESKE (1999)						
Erläuterungen: ¹⁾ H = Grundwasserdruckhöhe ²⁾ GWL = Grundwasserleiter						

Aufgrund der in Altena vorhandenen k_f -Werte von ca. 10^{-8} m/s des Untergrundes, des erforderlichen großen Flächenbedarfs und des oberflächennah anstehenden Felshorizontes von ca. 2 m im Untersuchungsgebiet können die Varianten HFB und VTB im vorliegenden Anwendungsfall nicht realisiert werden.

Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs

Bei den Varianten HFB und VTB kann ohne weitere Untersuchungen im Einzelfall nicht sichergestellt werden, dass die Grundwasserverhältnisse so beeinflusst werden, dass das drückende Grundwasser nach der Kanalsanierung nicht mehr belastet. Ist dies nicht sichergestellt, können im Einzelfall neben Feuchtigkeitsschäden insbesondere auch statische Schäden eintreten, z.B. Bruch der Kellersohlplatte. Ebenso ist zu beachten, dass unter Umständen für ältere Gebäudegründungen, die auf Pfählen errichtet sind, Schädigungen durch Setzungen möglich sind, wenn benachbarte Absenkungen des Grundwasserstandes unter ein erforderliches Mindestniveau erfolgen [142].

Aufwand für die Instandhaltung

Im Gegensatz zu einer Brunnenreihe aus vertikalen Tiefbrunnen ist die ganze Wasserfassung des Horizontalfilterbrunnens in einer großen betrieblichen Einheit zusammengefasst. Grundwassergewinnung und Rohwasserförderung befinden sich an einem einzigen Ort. Betriebsführung, Wartung, Kontrolle und Unterhaltung der Anlage werden vereinfacht und dadurch Einsparungen erreicht. Bei richtiger fördertechnischer Ausbildung werden die Betriebssicherheit verstärkt und eine leichtere hygienische Überwachung ermöglicht.

Die Zusammenfassung der Anlage zu einer einzigen geschlossenen Einheit kann unter Umständen bei Betriebsstörungen der Anlass zu einer vorübergehenden Stilllegung der gesamten Wasserversorgung sein, wenn entsprechende Reserven nicht vorhanden sind.

Die Absenkung bzw. der Pumpenbetrieb ist im Allgemeinen ganzjährig dauerhaft zu betreiben.

Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten

Brunnen unterliegen, ähnlich wie Dränleitungen, Alterungsprozessen, die von der chemisch-physikalischen Beschaffenheit des Grundwassers und dem Betrieb der Brunnen bestimmt werden. Brunnen zeichnen sich durch eine lange Nutzungsdauer bzw. ein gutes Langzeitverhalten bei geringem Wartungsaufwand aus. Einer hohen Förderleistung stehen ein immenser Energie- und Platzbedarf entgegen [29]. Die Nutzungsdauer nach den KVR – Leitlinien [131] beträgt für Tiefbrunnen mit Pumpenhaus 20 bis 40 (50) Jahre. Eine Nutzungsdauer für Horizontalfilterbrunnen wird in der Literatur nicht genannt.

Kosten

Der Bau von Horizontalfilterbrunnen und vertikalen Tiefbrunnen ist mit einem großen Aufwand verbunden. In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die Bau- und Betriebskosten der Horizontalfilterbrunnen und vertikalen Tiefbrunnen zur Grundwasserabsenkung dargestellt.

Tabelle 21 Baukosten ausgewählter Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung [147]

Maßnahme	Kosten
Hausbrunnen als vertikaler Tiefbrunnen (Leistung 50 m³/h, Bohrung 15 m, D = 320 mm)	12.500 €
vertikaler Tiefbrunnen (Leistung 215 m³/h, Bohrung 30 m, D = 700 mm)	70.000 €
vertikaler Tiefbrunnen (Leistung 400 m³/h) Bohrung 30 m, D = 1.000 mm	115.000 €
Horizontalfilterbrunnen (Leistung 1.200 m³/h, n = 6 Stränge DN 200 á 40 m)	1.600.000 €

Tabelle 22 Abschätzung der jährlichen Betriebskosten ausgewählter Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung [147]

Maßnahme	Kosten
Hausbrunnen (Leistung 50 m³/h)	14.235 €
Vertikalbrunnen (Leistung 215 m³/h)	32.375 €
Vertikalbrunnen (Leistung 400 m³/h)	68.550 €

Zu den Betriebskosten zählen im Allgemeinen jährliche Stromkosten, eine monatliche Funktionsprüfung und im zweijährigen Turnus Kosten durch Wartung, Kamerabefahrung und Regenerierung.

Kombinationsmöglichkeit mit den anderen in Frage kommenden Varianten

Werden Brunnen als grundwasserabsenkende Systeme errichtet, sind letztendlich auch geeignete Ableitungsmöglichkeiten (s. Abschn. 3.2.2) für das Grundwasser zu schaffen. Das Grundwasser kann anschließend beispielsweise über Regenwasserkanäle in ein Gewässer eingeleitet werden.

3.2.2 Ableitungssysteme für Sicker-, Schichten- und Grundwasser

In diesem Abschnitt werden verschiedene Möglichkeiten von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser als Dränagesysteme vorgestellt und diskutiert.

3.2.2.1 Kanäle mit im Leitungsgraben verlegtem Dränkanal

Einleitung

Vergleichbare Lösungen wurden noch zu Anfang des letzten Jahrhunderts in Gebieten mit hohen Grundwasserständen unter Verwendung von Kanalprofilen mit integrierten Dränkanälen umgesetzt, welche das Dränwasser und Abwasser in die Mischkanalisation ableitet (s. Bild 60).

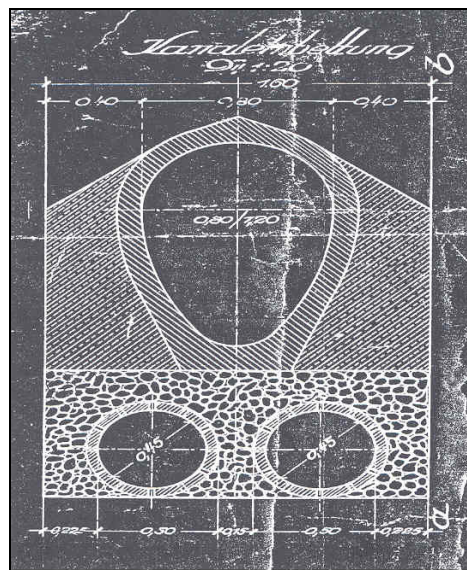
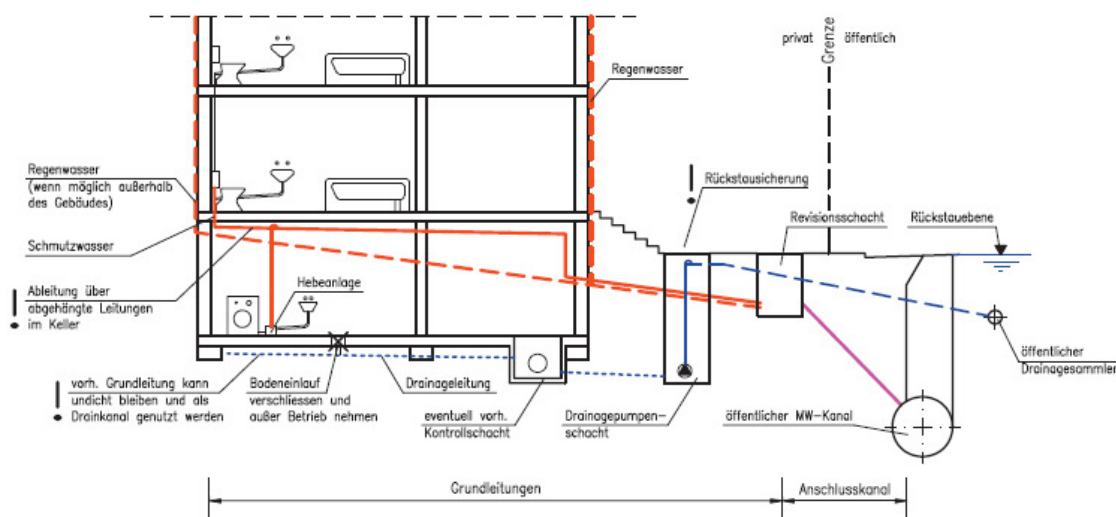


Bild 60 Abwasserkanal in Duisburg, Baujahr 1921 mit begleitenden Dränkanälen (Quelle: Wirtschaftsbetriebe Duisburg) [143]

Ein Forschungsprojekt [144], welches vom MUNLV NRW gefördert wurde, befasste sich mit der Entwicklung einer technischen Lösung zur Reduzierung des Fremdwassers für die Gemeinde Billerbeck (s. Bild 61).

Der Abwasserbetrieb Billerbeck favorisierte für die Entwässerungssituation im ersten Schwerpunktgebiet den Bau einer neuen Dränwasserableitung durch einen separaten Dränkanal, der das Dränwasser auf kurzem Weg zur nächstgelegenen Vorflut transportiert. Dazu musste das Dränwasser auf den Grundstücken separat gefasst werden. Da die Dränageanschlüsse häufig unzugänglich unter der Bodenplatte des Kellers lagen und nur sehr aufwändig von dem Abwassernetz zu entkoppeln wären, wurde als grundsätzliches Sanierungsprinzip die offene Neuverlegung der Abwasserleitungen im Bereich der Kellerdecken vorgeschlagen. Diese Vorgehensweise hatte den Vorteil, dass die Grundstücksentwässerungsanlage zuverlässig infiltrationsdicht herzustellen war und das vorhandene undichte Grundleitungssystem weiterhin zur Grundstücksdränierung genutzt werden konnte.

Die vorhandenen Grundstücksdränagen und defekten Grundleitungen wurden abgeklemmt und rückstausicher über einen Schacht mit einer Pumpe über eine Anschlussleitung an den neuen Dränkanal angeschlossen.



Legende

- | | | | |
|--|------------------------------------|--|--|
| | vorh. Grundleitung (neue Drainage) | | RW-Kanal (neu) |
| | SW/RW-Kanal (neu) | | Hausanschlussleitung (i.d.R. erneuert) |
| | Drainageableitung | | |

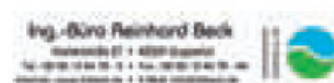


Bild 61 Sanierungsprinzip „offene Neuverlegung von Schmutzwasserleitungen im Bereich der Kellerdecke“ [144]

Im Rahmen eines weiteren vom MUNLV NRW geförderten Forschungsprojektes [63, 168] zur Fremdwasserreduzierung wurde in der Stadt Monschau ein Fremdwassersanierungskonzept (s. Bild 62) erarbeitet.

Die Fremdwassersituation in der Stadt Monschau mit ihren unterschiedlich strukturierten Ortsteilen ist charakteristisch für Gemeinden in Mittelgebirgsregionen, wie bspw. Eifel, Sauerland, Bergisches Land oder Schwarzwald.

Dem Ortsteil Mützenich der Stadt Monschau flossen aus den oberhalb gelegenen Hängen nahe des Hohen Venn bei Niederschlag durch den in geringer Tiefe anstehenden wasserundurchlässigen Tonstein erhebliche Sickerwassermengen zu. Die Schaffung eines Grabens mit einer darunter gelegenen Dränageschicht bis zur Tiefe des Tonsteins führte zur Abfangung dieses Sickerwassers oberhalb der Ortschaft. Darüber hinaus wurde auch das Fremdwasser durch Hangdränagen reduziert, welche straßenseitig durch einen Querriegel bzw. Dichtschleier vom Straßenkörper abgetrennt wurden. Der obere Teil der Hangdränage wurde als Wegeseitengraben ausgeführt. Parallel zu dieser Maßnahme wurden Hausdränagen beseitigt und das Dränwasser in die Hangdränage eingeleitet (s. Bild 62).

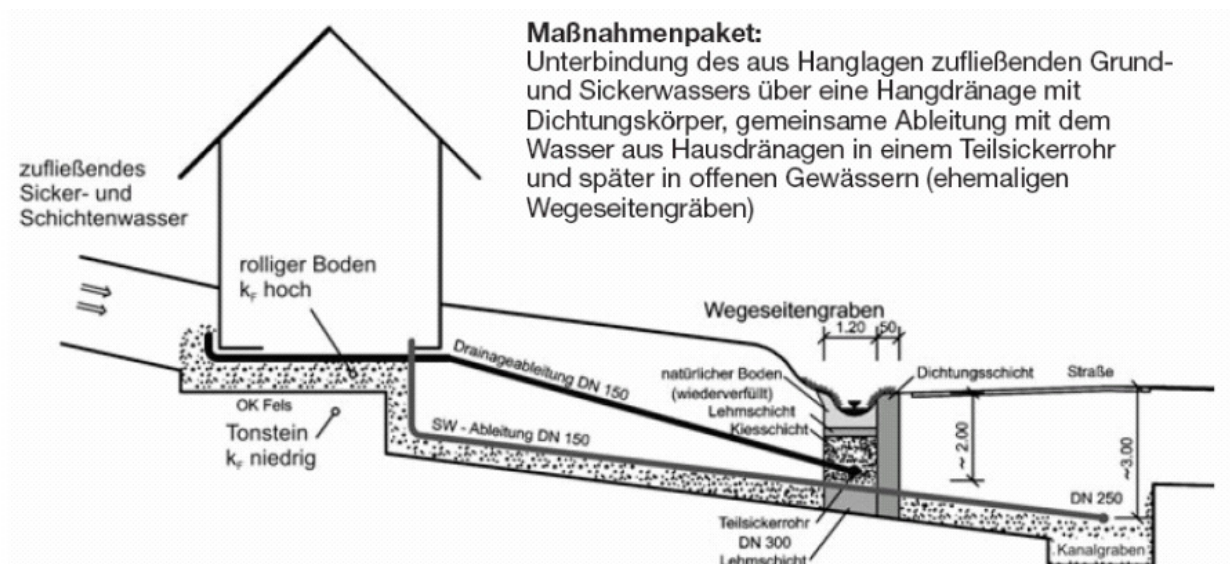
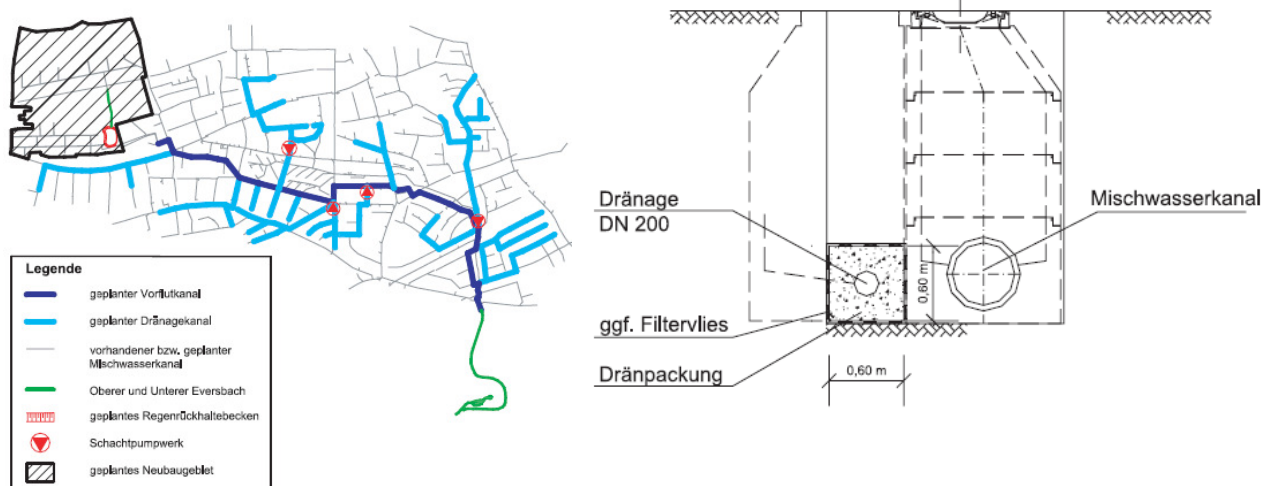


Bild 62 Beispiel einer Hangdränage zur Abfangung des Sickerwassers [63, 168]

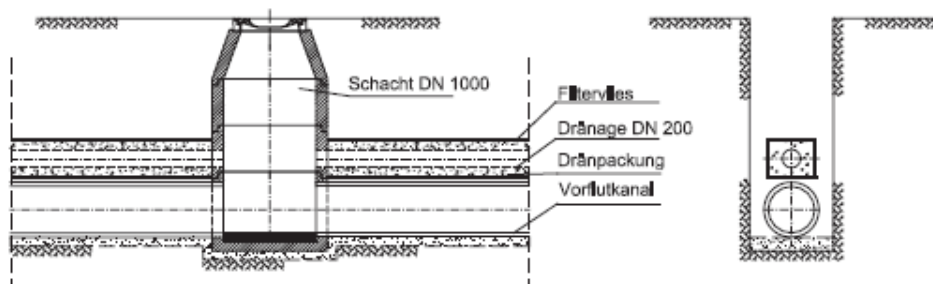
Für den Stadtteil Bockum – Hövel - Mitte der Stadt Hamm wurde ein zusätzliches Vorflut- und Dränagenetz als Ersatzsystem für die Fremd- und Grundwasserbewirtschaftung geplant und gebaut [145]. Das eng an die örtlichen

Verhältnisse angepasste Fremdwassersanierungskonzept beinhaltet ein aus zwei Hauptelementen bestehendes Ersatzsystem zur Grundwasserdränage (Dränleitungen) und zur Ableitung der verschiedenen Fremdwasserkomponenten (Dränkanal). Der Entwurf der einzelnen Elemente des Bewirtschaftungssystems unter den örtlichen Randbedingungen ist im Bild 63 dargestellt.



Dränsystem zur Fremd- und Grundwasserbewirtschaftung

Dränkanal im Rohrleitungsgraben (Prinzipskizze)



Vorflutkanal mit „Huckepack“-Dränleitung (Prinzipskizze)

Bild 63 Fremdwassersanierungskonzept für den Stadtteil Bockum – Hövel - Mitte [145]

Die o.a. Erfahrungen bezüglich der Fremdwassersanierungskonzepte in den Städten Billerbeck, Monschau und Hamm fließen auch in die Betrachtungen des vorliegenden Forschungsvorhabens mit ein.

Planerisches Konzept für Altena

Mögliche Ableitungssysteme für Sicker-, Schichten- und Grundwasser sind in den

Bildern 64 bis 66 dargestellt. Dabei wird auf der Grabensohle je nach statischen Gesichtspunkten ein Beton- oder Bodenaufleger für einen Misch- und Schmutzwasserkanal hergestellt. Parallel dazu werden zur Einstellung unschädlicher Grundwasserflurabstände inspizierbare Dränkanäle (mindestens DN/ID 300 nach ATV-A 118 [26]) auf dem Boden verlegt. Das Regenwasser aus Straßenober- und Dachflächen wird bei einem Trennsystem separat in einem Regenwasserkanal und bei einem Mischsystem in einem Mischwasserkanal abgeführt. Der ganze Graben wird in Dränagekies eingebettet, wobei die erforderlichen Bettungsbedingungen erreicht werden und gleichzeitig ein Filterkörper aufgebaut wird. Der gesamte Kieskörper wird mit filterstabilem Geotextil umgeben [3]. Geotextile haben jedoch den Nachteil, mit der Zeit zu verstopfen. Sie sind nicht mehr regenerierbar und können nicht gereinigt werden – bei Verstopfung kommt es genau zu dem Wasseraufstau, den die Dränagen eigentlich verhindern sollen. Alternativ kann das Verfüllmaterial bodengerecht zweischichtig aufgebaut werden. Die Anzahl und Nennweite der Dränkanäle ist abhängig von der anfallenden Wassermenge. Das unverschmutzte Dränwasser wird einer geeigneten Versickerungsstelle (DVS) oder einem nahe gelegenen Vorfluter (DVF) zugeführt.

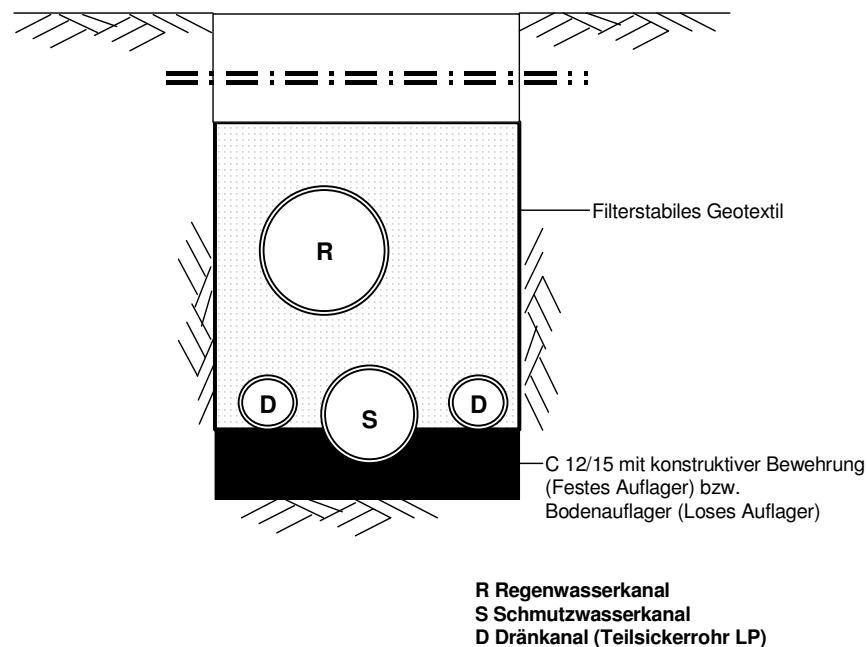


Bild 64 Anordnung eines Trennsystems mit zwei Dränkanälen im Leitungsgraben

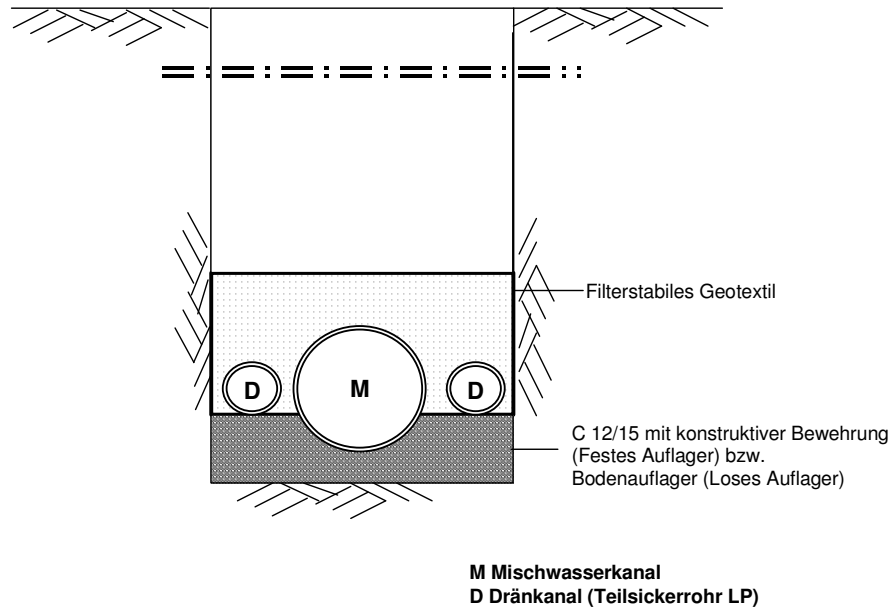


Bild 65 Anordnung eines Mischsystems mit zwei Dränkanälen im Leitungsgraben

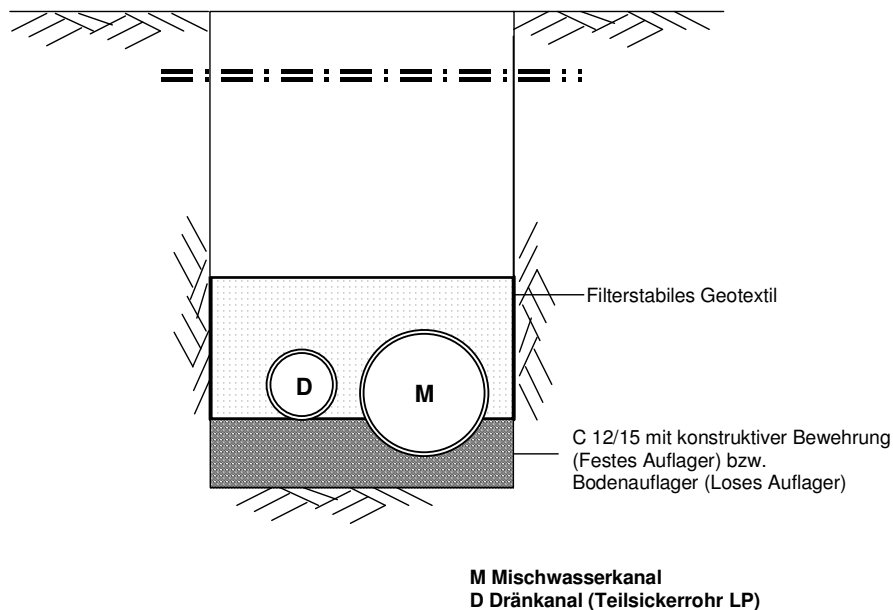


Bild 66 Anordnung eines Mischsystems mit einem Dränkanal im Leitungsgraben

Machbarkeit in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen

Das Konzept mit im Leitungsgraben verlegten Dränkanälen kann in Variante DVS und DVF sowohl bei dem vorliegenden Misch- als auch bei vorliegendem Trennsystem realisiert werden.

Da es sich bei dem Grundwasser gewöhnlich um nicht behandlungsdürftiges Wasser

handelt, ist im Sinne einer nachhaltigen Wasserwirtschaft das unverschmutzte Dränwasser einem nahe gelegenen Vorfluter zuzuführen (DVF). Außerdem sprechen die Randbedingungen, wie z.B. geringe Grundwasserflurabstände, ungünstige Durchlässigkeitsbeiwerte des Untergrundes und die Gefahr der Mobilisierung von Schadstoffen, für den Einsatz dieser Maßnahme. Allerdings ist darauf zu achten, dass für die Dränkanäle ein Teilsickerrohr verwendet wird. Die hydraulische Kapazität des Vorfluters ist zu berücksichtigen.

Beim Vergleich der Entwässerungssysteme ist besonders hervorzuheben, dass im Mischsystem zusätzliche Mitbehandlungskosten für den Niederschlagsanteil auf der Kläranlage Altena-Pragpaul anfallen.

Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs

Im Untersuchungsgebiet, in dem undichte Abwasserleitungen und -kanäle auch als Dränleitungen wirken und den Grundwasserspiegel über einen längeren Zeitraum abgesenkt haben, ist nach Durchführen einer erforderlichen Kanalerneuerung in offener Bauweise mit einer großflächigen Grundwasserspiegelanhebung zu rechnen. Durch die Variante DVF kann der Grundwasserspiegel weitgehend abgesenkt werden, so dass keine negativen Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs im jeweiligen Untersuchungsgebiet besteht. Bei der Variante DVS können Versickerungsmaßnahmen in kritischen Bereichen zu hohen Grundwasseranstiegen führen und somit Vernässungsschäden an Gebäuden verursachen.

Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten

Die Nutzungsdauer bzw. das Langzeitverhalten der Dränkanäle wurde bereits in Abschnitt 3.2.1.1 erläutert.

Die Nutzungsdauer der Hangdränagen wird nach [168] mit 20 Jahren angegeben.

Aufwand für die Instandhaltung

Der Aufwand für die Instandhaltung der Dränkanäle wurde bereits in den Abschnitten 3.1.3.2 und 3.2.1.1 erläutert.

Kosten

Beide Varianten DVF und DVS reduzieren im Misch- und Trennsystem den abfließenden Fremdwasseranteil und sparen Kosten bei der Abwasserbeseitigung. Insbesondere beim Trennsystem erfolgt eine konzentrierte Ableitung des Schmutzwasserkanals zur Kläranlage; das saubere Regen- und Dränwasser braucht an der Kläranlage nicht unnötig gereinigt zu werden und führt zu einer verbesserten Reinigungsleistung infolge geringerer Verdünnung des Abwassers und damit zu einer reduzierten Abwasserabgabe.

Für den Bau eines Dränagesystems beispielsweise im Ortsteil Bockum-Hövel-Mitte der Stadt Hamm erreichten die Investitionskosten leicht rd. 200.- € / lfm [146]. Dazu ist noch ein jährlicher Betriebsaufwand zuzurechnen. Die Bau- und Betriebskosten erhöhen sich mit größer werdender Grabentiefe und Nennweite. So liegen die Baukosten der Sickerrohre mit einer Tiefenlage von 5 m und einer Nennweite von DN 300 bei ca. 1500.- € / lfm [147]. Zu den Betriebskosten zählen im Allgemeinen jährliche Stromkosten, eine monatliche Funktionsüberprüfung und im zweijährigen Turnus Kosten durch Wartung, Kamerabefahrung und Regenerierung [29]. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Kosten nur auf die Dränkanäle beziehen.

Die Baukosten des Dränkanals in der Gemeinde Billerbeck belaufen sich auf rund 592.000 Euro für insgesamt 113 Hauseigentümer. Demzufolge ergeben sich Kosten in Höhe von rund 5.230,00 Euro pro Grundstück. Dabei ist zu berücksichtigen, dass gezielt im öffentlichen Raum einzelne Stränge von Dränkanälen in den Fremdwasserschwerpunkten verlegt wurden. Das Dränagesystem bietet hier den Vorteil, dass es nicht zwingend flächendeckend anzulegen ist -wie bei der Maßnahme Umbau von Misch- auf Trennsystem-, sondern vergleichsweise flexibel an den Bedarf angepasst werden kann.

Die spezifischen Investitionskosten für den Bau einer Hangdränage betragen 155 Euro/(m·m). Die laufenden spezifischen Kosten zur Instandhaltung werden mit ca. 1,5 Euro/m für die Inspektion und ca. 3 Euro/m für die Reinigung angegeben [168].

Kombinationsmöglichkeit mit den anderen in Frage kommenden Varianten

Die Maßnahme „Kanäle mit im Leitungsgraben verlegtem Dränkanal“ hat im

vorliegenden Anwendungsfall sowohl eine GW-Absenkungsfunktion als auch eine Ableitungsfunktion. So kann das Grundwasser, welches von den Hausdränagen nicht erfasst wurde, vom Dränkanal aufgenommen und gleichzeitig zum Vorfluter transportiert werden.

3.2.2.2 Modifiziertes Trenn- und Mischsystem unter Nutzung eines Altkanals

Beim modifizierten Trennsystem verbleibt bei der Erneuerung der Schmutzwasserkanal funktionstüchtig im Baugrund (s. Bild 67). Der Regenwasserkanal wird z.B. im Zuge der Verlegung der neuen Kanäle ausgebaut oder anschließend verdämmt. Das anfallende Sicker- und Grundwasser wird über den zu einem Dränkanal umfunktionierten alten Schmutzwasserkanal abgeführt (Variante T 1).

Wenn die erforderlichen Tiefbaumaßnahmen in einem verhältnismäßig schmalen Straßenraum stattfinden müssen, bietet sich bei allen Varianten der Ausbau eines der alten, in Horizontalanordnung im Stufengraben verlegten Kanäle, und die Verlegung der neuen Schmutz- und Regenwasserkanäle - entgegen der sonst praktizierten Horizontalverlegung – übereinander in einem schmalen Graben in Vertikalanordnung an, um durch die Leitungsbaumaßnahmen einen möglichst geringen Bereich des Straßenquerschnitts zu beanspruchen.

Diese Varianten beruhen auf der Annahme, dass die Standsicherheit und die Dränagewirkung auf Grund der vorhandenen Schäden des jeweiligen Altkanals ausreichen und bieten die Vorteile einer Baukostenreduzierung z.B. durch Minimierung von Aushubmassen / Verfüllboden und verringerte Wiederherstellungskosten für die Oberflächenbefestigung sowie eines Verzichtes auf die Verlegung von speziellen Dränleitungen.

Alte Situation: Verlegung von R- und S-Kanal im Stufengraben

Neue Situation: Verlegung von R- und S-Kanal übereinander

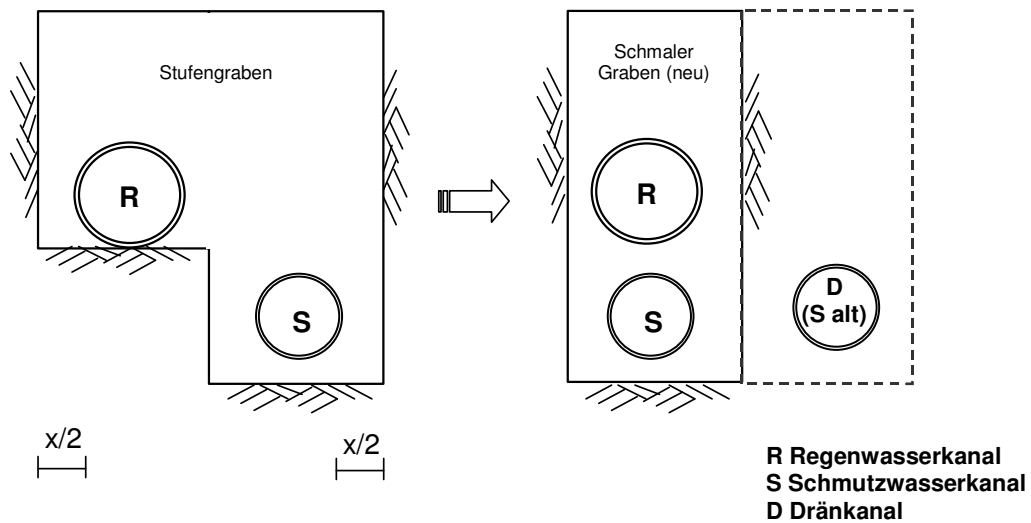


Bild 67 Modifiziertes Trennsystem unter Nutzung eines Altkanals als Variante T 1

Bei der Horizontalanordnung der im Stufengraben entspricht $x/2$ dem Mindestarbeitsraum zwischen Rohr und Verbau (100% Platzbedarf). Bei Vertikalanordnung in einem schmalen Rohrgraben ergeben sich in Abhängigkeit der Rohrnennweite bis zu 50% weniger Platzbedarf bzw. Aushubmassen.

Die Variante T 2 (s. Bild 68) entspricht sinngemäß der Variante T 1, jedoch verbleibt hier der Regenwasserkanal funktionstüchtig im Baugrund und wird zum Dränrohr umfunktioniert.

Alte Situation: Verlegung von R- und S-Kanal im Stufengraben

Neue Situation: Verlegung von R- und S-Kanal übereinander

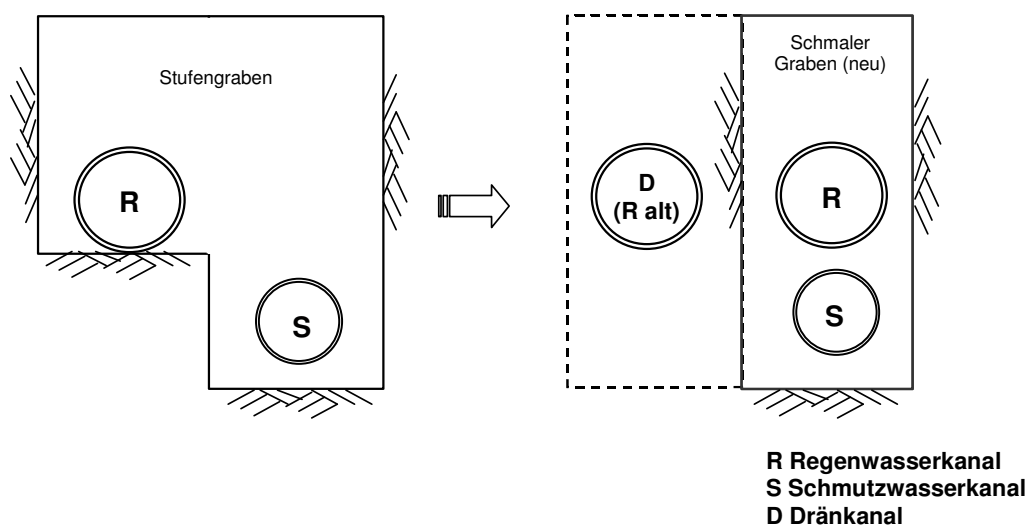


Bild 68 Modifiziertes Trennsystem unter Nutzung eines Altkanals als Variante T 2

Die Variante T 3 (s. Bild 69) basiert auf dem Gedanken, das Drän- und Regenwasser in einem Regen- und Dränkanal abzuführen. Bei großem Dränwasseranfall ist eine hydraulische Sanierung, d.h. Vergrößerung des Abflussquerschnittes, vorzusehen.

Alte Situation: Verlegung von R- und S-Kanal im Stufengraben

Neue Situation: Verlegung von R + D Kanal (Hydraulische Sanierung)

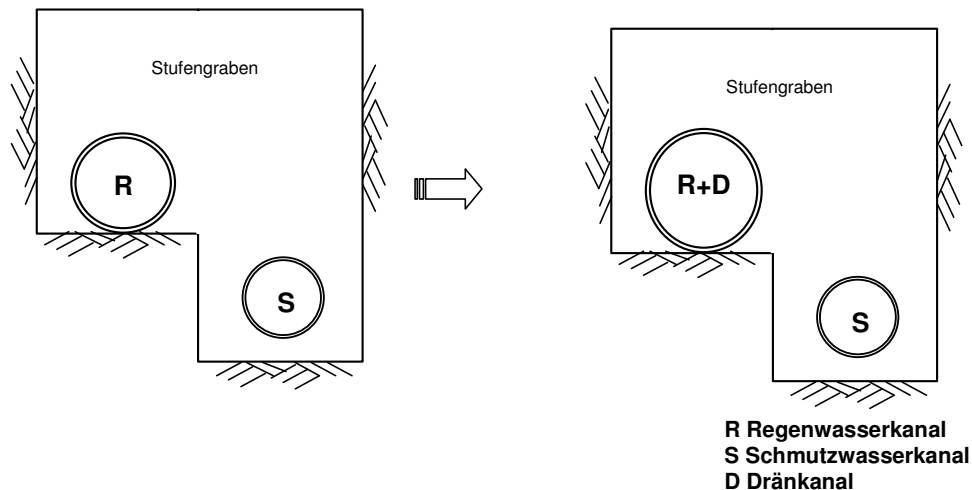
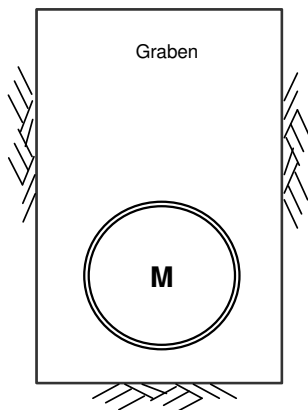


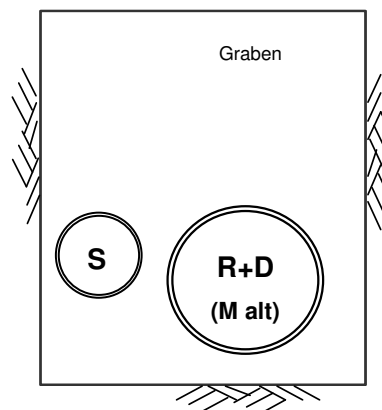
Bild 69 Modifiziertes Trennsystem unter Nutzung des Altkanals als Variante T 3

Bei der Variante M (s. Bild 70 und Bild 71) wird ein Mischsystem in ein Trennsystem umgestellt, indem beispielsweise ein neuer Schmutzwasserkanal gebaut und der vorhandene Mischwasserkanal weiterhin als Regen- und Dränwasserkanal genutzt wird. Der neue Schmutzwasserkanal kann im Freigefälle oder als oberflächennahe Druckleitung ausgebildet werden. Der Systemwechsel muss vollständig bis zur Kläranlage bzw. zum Vorfluter durchgeplant sein. Die Sammlung und Ableitung des Dränwassers kann weiterhin über die vorhandenen Dränleitungen erfolgen. Jedoch ist eine Neuordnung der Schmutzwasserleitungen und der Umschluss an den neuen Schmutzwasserkanal notwendig.

Alte Situation: Verlegung M-Kanal im Graben



Neue Situation: Verlegung eines zusätzlichen S-Kanals



M Mischwasserkanal
R Regenwasserkanal
S Schmutzwasserkanal
D Dränkanal

Bild 70 Modifiziertes Mischsystem unter Nutzung des Altkanals als Variante M

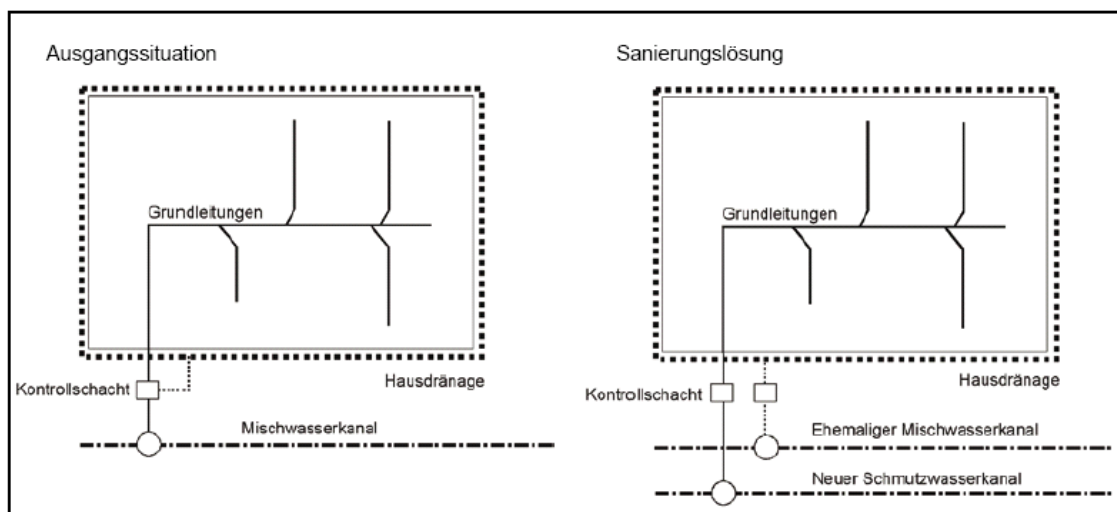


Bild 71 Trennung von Schmutz- und Dränwasser im bestehenden Mischsystem [148]

Ein Vorteil dieser Sanierungslösung ist, dass alte Mischwasserkanäle, die zur Fremdwasserableitung genutzt werden, nicht mehr saniert werden müssen.

Machbarkeit in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen

Der Aufwand zur Realisierung der Variante T 1 ist deutlich höher einzustufen, da hierbei alle Hausanschlüsse vom alten an den neuen Schmutzwasserkanal umgeschlossen werden müssen. Darüber hinaus müssen die Fehlschlüsse ggf. beseitigt werden.

Aufgrund dieser umfangreichen Entflechtungsarbeiten kann diese Maßnahme nicht auf eine Vertikalanordnung in einem schmalen Rohrgraben beschränkt werden.

Bei der Variante T 2 müssen die befestigten Flächen von Straßenabläufen und Dachflächenentwässerung abgekoppelt und an den neuen Regenwasserkanal angebunden werden. Die fehlangeschlossenen Dränagen müssen beseitigt und an den umfunktionierten Dränkanal umgestellt werden. Wie in Variante T 1 können die Erdarbeiten aufgrund der umfangreichen Entflechtungsarbeiten nicht auf einen schmalen Rohrgraben beschränkt werden.

Die Variante T 3 kann im Vergleich zu T 1 und T 2 mit einem geringen Aufwand realisiert werden. Diese Variante bietet die Möglichkeit, das vorhandene Trennsystem weiterhin komplett zu nutzen, um Regen- und Dränwasser aus dem Einzugsgebiet bis zum Vorfluter abzuleiten. Die Fehllanschlüsse müssen beseitigt werden. Die Leistungsfähigkeit des Drän- und Regenwasserkanals muss für den Dränwasseranfall hydraulisch dimensioniert werden; notfalls muss die Nennweite des Regenwasserkanals vergrößert werden. Der bauliche Aufwand ist insbesondere abhängig von der Anzahl der fehlangeschlossenen Leitungen.

Beim Konzept mit modifiziertem Mischsystem (Variante M) unter Nutzung eines Altkanals müssen alle Schmutzwasserleitungen vom Mischwasserkanal an den neuen Schmutzwasserkanal umgeschlossen werden. Das neue Trennsystem bietet allerdings die Möglichkeit, das vorhandene Mischsystem weiterhin komplett zu nutzen, um Regen- und Dränwasser aus dem Einzugsgebiet bis zum Vorfluter abzuleiten. Geht man davon aus, dass auch die privaten Leitungen entsprechende Undichtigkeiten aufweisen und deshalb ebenfalls erneuert werden müssen, ist der Bau eines Trennsystems sicherlich eine mögliche Alternative, da hier durch eine entsprechende Planung und Qualitätsüberwachung bei der Ausführung einfacher ein dichtes System erstellt werden kann, als dies durch Sanierung eines alten Systems möglich ist.

Alle diese o.g. Systeme der modifizierten Trenn- und Mischsysteme erzielen trotz der hohen Baukosten einen hohen Umweltbeitrag zur Gewässer Reinhaltung. Die Kläranlage wird sowohl von Dränwasser als auch von Regenwasser entlastet. Darüber hinaus erhält der Vorfluter seine natürliche Funktion als Gewässer und Vorflut für Regen- und Dränwasser zurück.

Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs

Bei den Varianten T 1 bis 3 und M muss sichergestellt werden, dass die Schmutzwasserleitungen dicht sind. Ein undichter Regen- bzw. Dränwasserkanal stellt kein Gefährdungspotenzial für Boden, Grundwasser und Gewässer dar. Da es sich hierbei um Ableitungssysteme handelt, muss dafür gesorgt werden, dass das Grundwasser nach der Kanalsanierung durch entsprechende Dränagesysteme abgesenkt wird, so dass keine Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs im jeweiligen Einzugsgebiet zu erwarten sind.

Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten

Die Nutzungsdauer bzw. das Langzeitverhalten der Abwasserkanäle im modifizierten Trenn- und Mischsystem werden durch den Altkanal begrenzt. Sie sind nach Arbeitsblatt DWA – A 133 [131] u.a. von folgenden maßgeblichen Faktoren abhängig:

- Ist - Zustand aus der Zustandserfassung
- Betriebsbedingungen
- Technischer und natürlicher Verschleiß (Substanz).

Aufwand für die Instandhaltung

Beim modifizierten Trennsystem müssen gleich drei Kanäle instandgehalten werden, während sich die Instandhaltung bei einem modifizierten Mischsystem auf zwei Kanäle beschränkt. Dazu gehören die Maßnahmen der Reinigung, Inspektion und der Sanierung. Die Vertikalanordnung ist mit einem großen Instandhaltungsaufwand verbunden, da bei Reparatur-, Renovierungs- und Erneuerungsmaßnahmen in offener Bauweise in der Regel beide Kanäle betroffen sind.

Kosten

Für eine qualitative Kostenabschätzung werden nachfolgend die unterschiedlichen kostenbeeinflussenden Faktoren der einzelnen Haltungen und Schächte für ein modifiziertes Misch- und Trennsystem aufgezeigt und diskutiert (s. Tabelle 23).

Tabelle 23 Abhängigkeiten der verwendeten Einheitspreise von den Kanalstammdaten

	Stammdaten	Rohrwerkstoff	Tiefenlage	Haltungslänge	Baugrubenbreite	Profilart	Profilbreite	Profilhöhe	Grundwasserstand	Anzahl Seitenzuläufe
1. Grabenaushub & Verfüllung			X	X	X					
2. Grabenverbau			X	X						
3. Rohrpreis inklusive Lieferung, Verlegung und Dichtheitsprüfung		X		X		X	X	X		
4. Beseitigung und Wiederherstellung der Oberflächenbefestigung				X	X					
5. Wasserhaltung			X	X	X				X	
6. Seitenzuläufe										X
7. Schacht			X				X			

Grabenaushub und Verfüllung

Die Einheitspreise [€/m³] für den Aushub und die Verfüllung des Leitungsgrabens sind im Gewerk gestaffelt nach der Tiefenlage⁶ angegeben. Zur Berechnung der haltungsspezifischen Aushubmassen werden die Haltungslänge, die Tiefenlage und die Grabenbreite benötigt. Die erforderliche Grabenbreite wird unter Einhaltung der Mindestgrabenbreiten nach DIN 4124 [93] und DIN EN 1610 [71] in Abhängigkeit der Rohrnennweite und der Tiefenlage bestimmt (s. Abschn. 3.1.2). Bei einem modifizierten Trennsystem (Variante T 1 und T 2) liegen die Kosten für Grabenaushub und Verfüllung aufgrund der größeren Grabentiefe höher als beim modifizierten Mischsystem (Variante M). Da bei Variante T 3 ggf. nur der Regenwasserkanal hydraulisch saniert werden muss, könnten die Kosten für Grabenaushub und Verfüllung hierbei gering gehalten werden.

⁶ Die Tiefenlagen der Haltungen werden errechnet aus der Sohlentiefe des Anfangsschachtes und der Sohlentiefe des Endschachtes

Grabenverbau

Die Einheitspreise [€/m²] für den Grabenverbau sind gestaffelt nach der Tiefenlage im Gewerk angegeben. Die erforderliche Fläche des Grabenverbaus für eine Haltung ergibt sich aus der Haltungslänge und der Tiefenlage.

Grundsätzlich ist der Verbau von Leitungsraben erst bei Aushubtiefen von mehr als 1,25 m [93] erforderlich. Für Haltungen, deren Tiefe kleiner als 1,25 m ist, sind keine Verbaukosten anzusetzen.

Die Verbaukosten bei einem modifizierten Trennsystem (Variante T 1 und T 2) entsprechen annähernd denen des modifizierten Mischsystems (Variante M). Bei Variante T 3 sind die Verbaukosten am geringsten.

Rohrpreis inklusive Lieferung, Verlegung und Dichtheitsprüfung

Der Rohrpreis [€/m] enthält die Kosten für die Lieferung, die Verlegung und die Dichtheitsprüfung. Die verwendeten Rohrpreise differenzieren nach Rohrwerkstoff, Rohrnennweite und Querschnittsform.

Die Kosten für ein modifiziertes Trennsystem (Variante T1 bis 3) liegen aufgrund der Rohranzahl höher als beim modifizierten Mischsystem (Variante M).

Beseitigung und Wiederherstellung der Oberflächenbefestigung

Die Einheitspreise [€/m²] für die Beseitigung und Wiederherstellung der Oberflächenbefestigung unterscheiden sich nach der Art der Oberflächenbefestigung (Asphaltdecke, Platten/Pflaster, Schotter, unbefestigte Gelände). Die Oberfläche wird aus der Haltungslänge und der Grabenbreite ermittelt.

Die Kosten für die Beseitigung und Wiederherstellung der Oberflächenbefestigung liegen aufgrund der größeren Grabenbreite beim modifizierten Trennsystem (Variante T 1 und T 2) höher als beim modifizierten Mischsystem (Variante M). Die Kosten beim modifizierten Trennsystem für die Variante T 3 sind gleichzusetzen mit den Kosten des modifizierten Mischsystems (Variante M).

Wasserhaltung

Die Einheitspreise [€/m] für die Wasserhaltung sind auf die Haltungslänge bezogen und

ergeben sich in Abhängigkeit der Absenktiefe und der Grabenbreite. Die Absenktiefe wird aus der Differenz zwischen dem Grundwasserstand und der Tiefenlage errechnet.

Die Wasserhaltungskosten bei einem modifizierten Trennsystem sind größer als bei einem modifizierten Mischsystem, da der Rohrgraben beim Trennsystem größer ist und damit mehr Grundwasser abgesenkt werden muss.

Seitenzuläufe

Für das Anschließen von Seitenzuläufen (Hausanschlüsse und Straßenabläufe) werden die Preise für die Stutzen und die Bohrung [€/Stück] angesetzt.

Die Kosten für Hausanschlüsse und Straßenabläufe bei einem modifizierten Trennsystem sind annähernd so hoch wie bei einem modifizierten Mischsystem.

Schächte

Die Schachtbauwerke werden je nach Schachttiefe und Nennweite der abgehenden Haltungen aus den zugehörigen Komponenten Schachtunterteil, Schachtringe, Schachtoberteil und Schachtabdeckung berechnet. Für den Aushub, den Verbau und die Oberflächenbefestigung werden die Mengen, die bereits zur Herstellung der Haltung berücksichtigt wurden, abgezogen.

Beim modifizierten Trennsystem liegen die Kosten für die Schächte aufgrund der fast doppelten Anzahl höher als beim modifizierten Mischsystem.

Sonstige Kosten

Weitere Einflussfaktoren auf die Gesamtkosten von Haltungen und Schächten, die sich aus der Baustelleneinrichtung (Einrichten, Vorhalten und Räumen der Baustelle, Verkehrssicherung, ggf. provisorische Umlegung von Fahrspuren usw.), der Leitungssicherung (ggf. Handschachtung zum Auffinden von Versorgungsleitungen, Sicherung freigelegter Leitungen z.B. durch Aufhängungen usw.) und der Abwasserhaltung (z.B. Überleitung der Abwasservorflut) ergeben, werden durch folgende prozentuale Zuschlagssätze berücksichtigt:

- Baustelleneinrichtung: 5% auf Netto-Gesamtkosten

- Leitungssicherung: 3% auf Netto-Gesamtkosten
- Abwasserhaltung: 1% auf Netto-Gesamtkosten
- Mehrwertsteuer: 19%

Die Kosten für die Baustelleneinrichtung und Leitungssicherung sind beim modifizierten Trennsystem geringfügig höher als beim modifizierten Mischsystem.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass die Gesamtbaukosten beim modifizierten Trennsystem (Variante T 1 und T 2) wesentlich höher liegen als beim modifizierten Mischsystem (Variante M). Die Baukosten der Variante M sind in etwa gleichzusetzen mit den Kosten der Variante T 3.

Kombinationsmöglichkeit mit den anderen in Frage kommenden Varianten

Modifizierte Trenn- und Mischsysteme unter Nutzung eines Altkanals sind nur Ableitungssysteme für Sicker-, Schichten- und Grundwasser, welche auch Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung, wie z.B. Dränanlagen (s. Abschn. 3.2.1), benötigen.

3.2.2.3 Rohr-in-Rohr-Lösungen

Ein weiteres Verfahren zur Ableitung von Sicker-, Schichten und Grundwasser stellen Rohr-in-Rohr-Lösungen dar. Dabei wird der Fremdwasserkanal innerhalb des Mischwasserkanals (s. Bild 72) und beim Trennsystem im Regenwasserkanal (s. Bild 73) geführt.

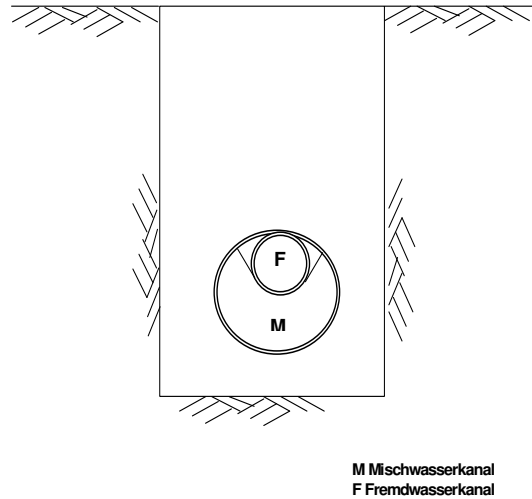


Bild 72 Querschnitt einer Rohr-in-Rohr-Lösung in einem Mischsystem

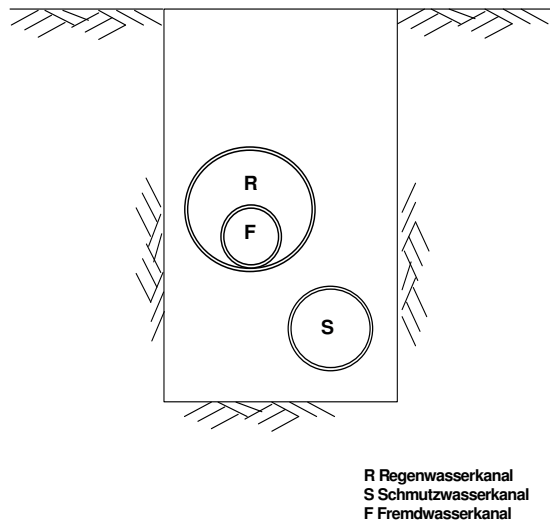


Bild 73 Querschnitt einer Rohr-in-Rohr-Lösung in einem Trennsystem

Diesbezügliche Praxisbeispiele sind im Bild 74 dargestellt. Sofern es die hydraulischen Randbedingungen zulassen, ist auch die Ableitung von Schmutzwasser im inneren und von Regen- und Fremdwasser im äußeren Rohr denkbar.



Bild 74 Rohr-in-Rohr-Lösung zur Ableitung von Fremdwasser (links abgehängte Fremdwasserleitung in Göppingen, rechts Sohlleitung zur Ableitung eines Baches im Mischwassersammler in Freiberg/Sachsen (Bildmaterial: Kovacic Ingenieure GmbH, Sigmaringen) [149]

Machbarkeit in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen

Das Konzept „Rohr-in-Rohr-Lösungen“ kann sowohl bei Misch- als auch bei Trennsystemen realisiert werden. Allerdings sind diese Systeme aus Montagegründen derzeit nur in begehbaren Kanälen anwendbar [149].

Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs

Da es sich bei den Rohr-in-Rohr-Lösungen um Ableitungssysteme für Fremdwasser handelt, muss dafür gesorgt werden, dass das Sicker-, Schichten- und Grundwasser nach der Kanalsanierung durch Dränanlagen abgesenkt wird. Durch eine ordnungsgemäße Planung und Ausführung dieser Systeme sind keine negativen Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs im jeweiligen Einzugsgebiet zu befürchten.

Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten

In der Literatur sind keine Angaben über die Nutzungsdauer bzw. das Langzeitverhalten dieser Lösungen enthalten.

Aufwand für die Instandhaltung

Bei Rohr-in-Rohr-Lösungen muss neben den Abwasserkanälen im Misch- und

Trennsystem zusätzlich der Fremdwasserkanal instandgehalten werden. Die Befestigung der abgehängten Fremdwasserleitung ist regelmäßig auf Dauerhaftigkeit zu untersuchen. Bei Kanalinstandhaltungen an der Sohle bzw. am Scheitel muss immer der Fremdwasserkanal ausgebaut werden, was mit erhöhtem Aufwand verbunden ist. Im Falle der Sohlableitung des Fremdwassers (s. Bild 74) innerhalb des Kanals werden dessen hydraulischen Verhältnisse empfindlich gestört, so dass erhöhte Ablagerungen zu erwarten sind. Die Reinigung lässt sich allerdings im vorliegenden Anwendungsfall nicht mittels einer Hochdruckreinigung realisieren. Auch die Inspektion mit einer fahrbaren Kamera ist nicht durchführbar.

Kosten

Da bisher die Rohr-in-Rohr-Lösungen selten ausgeführt wurden, sind die in der nachfolgenden Tabelle 24 angegebenen Kosten nur als Anhaltswerte zu sehen.

Tabelle 24 Kosten für Systeme zur alternativen Ableitung von Fremdwasser [49]

System	Kosten⁷	ausgeführt in
Rohr-in-Rohr (s. Bild 74 links)	150 Euro/m abgehängter Leitung PE-DN 250	Göppingen
Rohr-in-Rohr (s. Bild 74 rechts)	550 Euro/m Sohlleitung Polymerbeton DN 700	Freiberg/Sachsen

Kombinationsmöglichkeit mit den anderen in Frage kommenden Varianten

Rohr-in-Rohr-Lösungen sind nur Ableitungssysteme für Sicker-, Schichten- und Grundwasser, welche auch Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung, wie z.B. Dränanlagen (s. Abschn. 3.2.1), benötigen.

⁷ Die Kosten stammen von bereits durchgeführten Maßnahmen in Göppingen und Freiberg/Sachsen [49].

3.2.3 Konzepte zur Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden

3.2.3.1 Mineralische Kapselung

Die mineralische Kapselung von einwandigen Abwasserleitungen und –kanälen dient der Vermeidung der Exfiltration von Abwasser bzw. der Infiltration von Grundwasser bei Schäden am Abwasserleitungssystem. In diesem Fall wird die Dichtwirkung von der mineralischen Abdichtung übernommen [153].

Die Hausanschlussleitungen werden im vorliegenden Anwendungsfall in einem ursprünglich für die Deponieabdichtung entwickelten, speziellen Mineralgemisch [150] verlegt, so dass Umläufigkeiten mit der Folge einer Vernässung der Liegenschaften vermieden werden sollen. Die mineralische Kapselung erfolgt jeweils für die gesamte Haltung einschließlich der Schächte und der Anschlusskanäle / Grundleitungen der Gebäude (MKG). Die Rohre werden in der Leitungszone mit einer Dicke von mindestens $d = 25 \text{ cm}$ ummantelt [153].

Das Mineralgemisch (s. Bild 75), das auch für die Einkapselung von einwandigen Abwasserleitungen und –kanäle in Wasserschutzgebieten zur Anwendung kommt, zeichnet sich generell durch folgende Eigenschaften aus [151, 152]:

- Hohe Abdichtungswirkung ($k_f = 5 \cdot 10^{-11} \text{ m / s}$) durch besondere Korngrößenverteilung (gemischtkörniger Boden aus Kies und Sand) und Verwendung von quellfähigen Tonmineralen (Bentonit); vgl. Bild 76
- Der Überschuss an Feinstanteilen bewirkt ein schwimmendes Grobkorngefüge, wodurch alle Porenräume ausgefüllt sind. Durch die Minimierung des Porenvolumens entsteht ein hoher Schadstoffdiffusionswiderstand;
- Zusätzliche Zurückhaltung von Schadstoffen durch sorbierende Eigenschaften des verwendeten Bentonits
- Ähnlich wie Sand verarbeitbar, da trocken zu mischen und einzubauen (Einbau nach ATV-A 139 [72])

- Dichte Kapselung durch Quellen des Trockenmaterials (Bentonit) infolge der Bodenfeuchte
- Statisch günstige Bettungsbedingungen
- Hohe Belastbarkeit bei gleichzeitig geringer Empfindlichkeit gegenüber Senkungen
- Projektbezogene, individuelle Rezeptur.

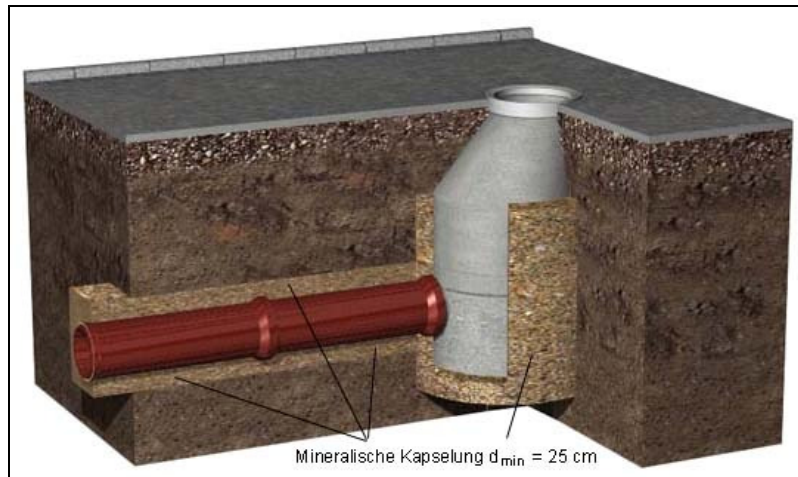


Bild 75 Mineralische Kapselung nach ATV-M 146 [153] bei Kanal und Schacht in einem Wassergewinnungsgebiet [4, 153] (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

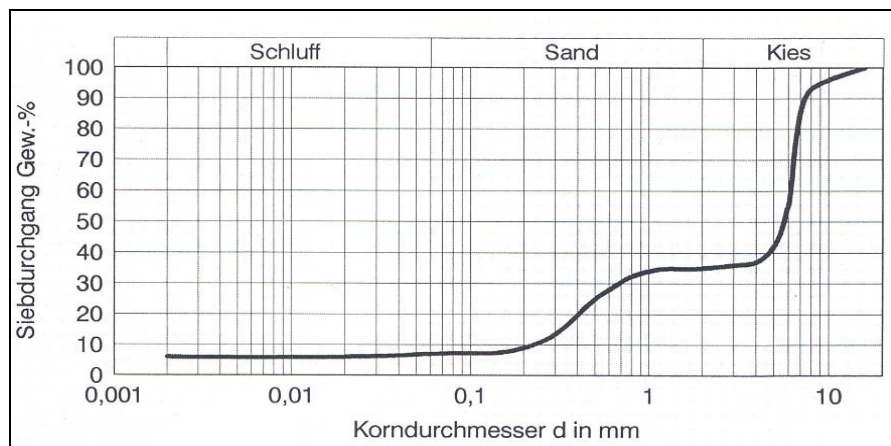


Bild 76 Beispielhafte Kornverteilung eines speziellen Mineralgemischs [154]

In Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse können ggf. auch partiell mineralisch gekapselte Abschnitte in gewissen Abständen bzw. an neuralgischen Punkten entlang der Leitungen zur Verhinderung der Umläufigkeiten und zur Abdichtung der Leitungsgräben ausreichend sein (MKP).

Machbarkeit in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen

Das Konzept der mineralischen Kapselung kann sowohl bei Misch- als auch bei Trennsystemen realisiert werden.

Das von der Firma Dernoton [161] entwickelte, spezielle Mineralgemisch wird als Fertigmischung geliefert. Zur Herstellung des Rohraufagers wird das Material in einer Lage von ca. 15-20 cm eingebracht und mit einem leichten Vibrationsstampfer (z.B. Wacker BS 30) in 2-4 Übergängen verdichtet. Nach Unterstopfen der Rohrzwickel wird die Leitungszone verfüllt und verdichtet. Oberhalb der Leitungszone, d.h. in der Hauptverfüllzone, können die Schüttlagen entsprechend vergrößert und mittelschwere Verdichtungsgeräte gewählt werden.

Die mineralische Kapselung ist beim Einbau des Bodens nur bei kleinen Absenkungstrichtern im Grundwasserleiter sinnvoll, da mit einem entsprechenden Wiederanstieg des Grundwassers zu rechnen ist. Darüber hinaus wird mit dieser Maßnahme der Fremdwasseranfall nur indirekt bzw. gar nicht reduziert, indem das Grundwasser möglicherweise in die Zonen eines undichten Kanal- bzw. Leitungsnetzes umgelenkt wird.

Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs

Durch die Abdichtungswirkung mittels mineralischer Kapselung werden einerseits Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden vermieden, andererseits kann sie zur Verlagerung der weiträumigen Grundwasseranstiegen in anderen Bereichen führen.

Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten

Das aus natürlichen Grundstoffen bestehende Mineralgemisch verrottet nicht. Eine Nutzungsdauer wird in der Literatur nicht genannt.

Aufwand für die Instandhaltung

Liegen undichte Kanäle ständig oder zeitweise im Grundwasser, kommt es zur Grundwasserinfiltration, wobei gleichzeitig auch Bodenmaterial in Form von Mineralgemisch aus der Leitungszone mit eingetragen werden kann.

Die Menge dieses Feststoffeintrages kann sehr unterschiedlich sein und ist abhängig von Leckgröße und -form, der Art, Kornverteilung und Lagerungsdichte des Bodenmaterials der Leitungszone, der Hauptverfüllung und des anstehenden Bodens sowie der inneren Belastung (HD-Reinigung, Dichtheitsprüfung mit Wasser, wechselnde Wasserstände, Überstauereignisse) und der äußeren Belastung (dynamische Belastung, Grundwasser) des Abwasserkanals [155].

Erste Untersuchungen zur Quantifizierung dieses Feststoffeintrages über die Schadensarten Risse, Scherbenbildung sowie undichte Rohrverbindungen und die daraus resultierenden Konsequenzen einer möglichen Hohlraumbildung bis zum Extremfall eines Tagbruches haben Dohmann/Hennerkes [156] im Rahmen eines Forschungsprojektes durchgeführt. Sie stellten fest, dass bei Risschäden (Längsrisse und Querrisse) ab einer bestimmten Größe und generell bei undichten Rohrverbindungen immer mit einem massiven Feststoffeintrag bei infiltrierendem Grundwasser gerechnet werden muss.

Dieses Phänomen setzt nach Dohmann et. al. [156] bei nichtbindigen Böden nach DIN 1054 [157] (Sande, Kiese, Steine und ihre Mischungen), wenn der Gewichtsanteil der Bestandteile mit Korngrößen $<0,06$ mm weniger als 15 % beträgt) bei Rissbreiten > 3 mm und einer Leckgröße ab 30 cm^2 ein (s. Bild 77).

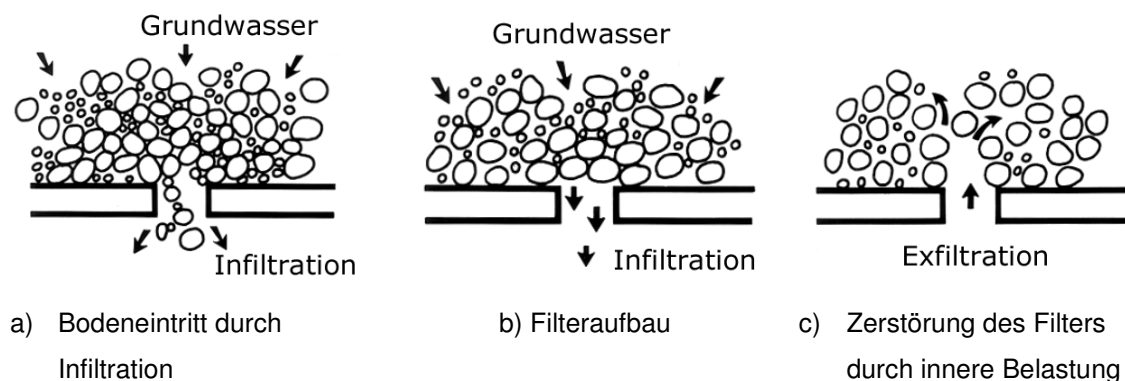


Bild 77 Erosionsverhalten nichtbindiger Böden bei einem unterhalb des Grundwasserspiegels befindlichen, undichten Freispiegelkanal (Bildmaterial: S & P Consult GmbH) [158]

Bei bindigen Böden nach DIN 1054 [157] (Tone, tonige Schluffe und Schluffe sowie ihre Mischungen mit nichtbindigen Böden), wenn der Gewichtsanteil der Bestandteile mit Korngrößen $<0,06$ mm mehr als 15 % beträgt) findet der Feststoffeintrag im Bereich der Schadensstelle hauptsächlich durch Bodenerosion infolge der inneren Belastungen statt

(s. Bild 78). Dies erfolgt bei Risssschäden mit einer Rissbreite $\geq 6\text{mm}$ und einer Leckgröße $> 60\text{ cm}^2$ [156, 159].

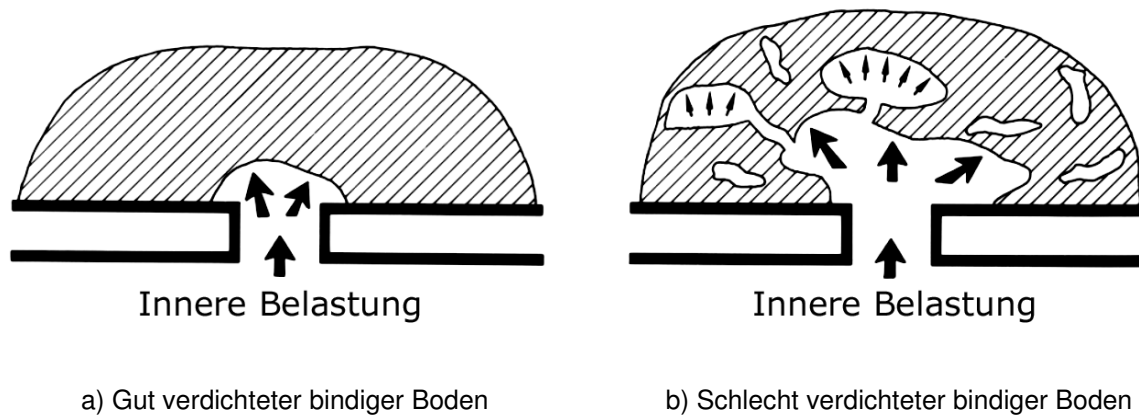


Bild 78: Erosionsverhalten bindiger Böden bei innerer Belastung eines unterhalb des Grundwasserspiegels befindlichen, undichten Freisiegelkanals (Bildmaterial: S & P Consult GmbH) [158]

Feststoffeinträge mit dem infiltrierenden Grundwasser oder durch innere Belastungen in Schadensbereichen „mit Boden sichtbar“ führen einerseits zu verstärkten Ablagerungen in den Kanälen bis hin zu Verstopfungen und andererseits zu Änderungen der Bettungsbedingungen durch Auflockerung des Bodens in der Leitungszone bis hin zu einer mehr oder weniger großen Hohlraumbildung (s. Bild 79).

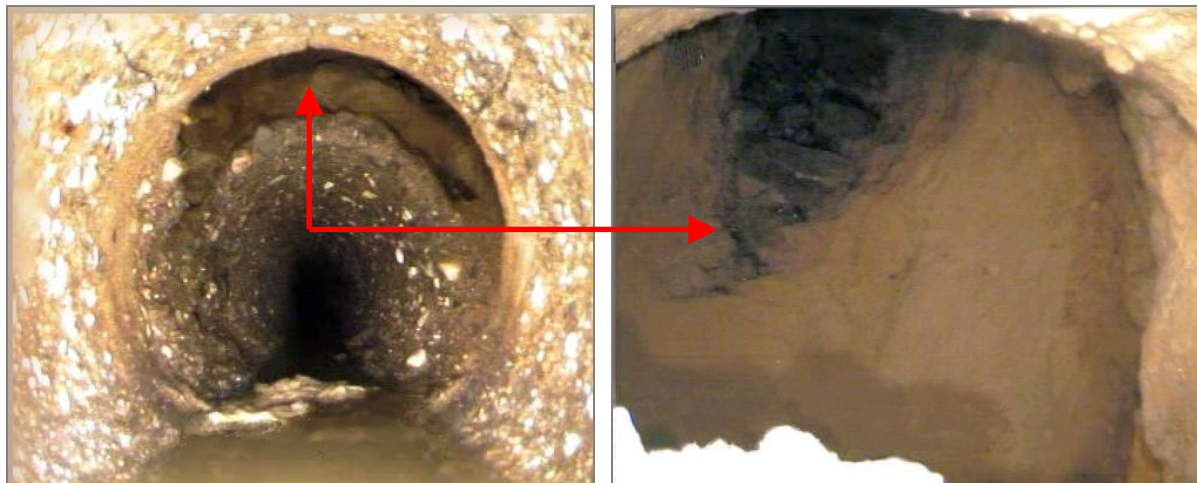


Bild 79: Große Hohlraumbildung im Scheitelpunkt eines Abwasserkanals als Vorstufe für einen drohenden Tagbruch (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Schadensbereiche „mit Boden sichtbar“ bewirken darüber hinaus eine Beeinträchtigung der Standsicherheit des Kanals und stellen Ausgangspunkte für Folgeschäden bis zu dessen Einsturz bzw. zum Tagbruch dar (s. Bild 80). In Anbetracht dieser

weitreichenden Schadensfolgen sind auf diese Weise geschädigte und ständig oder zeitweise unterhalb des Grundwasserspiegels befindliche Kanäle in der Regel in das sofort bzw. kurzfristig zu realisierende Sanierungsprogramm einzuordnen. Sanierungs- bzw. Handlungsbedarf besteht nach ATV-A 128 [23] bei Fremdwasserspenden von 0,15 l/s·ha.



Bild 80: Großflächiger Straßeneinsturz (Tagbruch) aufgrund einer nicht fachgerecht ausgeführten, undichten Einbindung eines Seitenzulaufs in einen Hauptsammler (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Besonders kritisch sind in dieser Hinsicht nicht fachgerecht ausgeführte Sickerpackungen mit Dränleitungen im Bereich der Bettungszone. Mögliche Folgen zeigt das Bild 81. Durch Einspülung von Sand aus der Leitungszone in die grobkörnige Sickerpackung entstehen Auflockerungen im Bettungsbereich der Leitung und im Extremfall Hohlräume. Diese Bettungsveränderungen können zur Beeinträchtigung der Tragfähigkeit der Kanäle mit den Schadensfolgen Rissbildung, Verformung, Lageabweichung, Einsturz etc. führen.

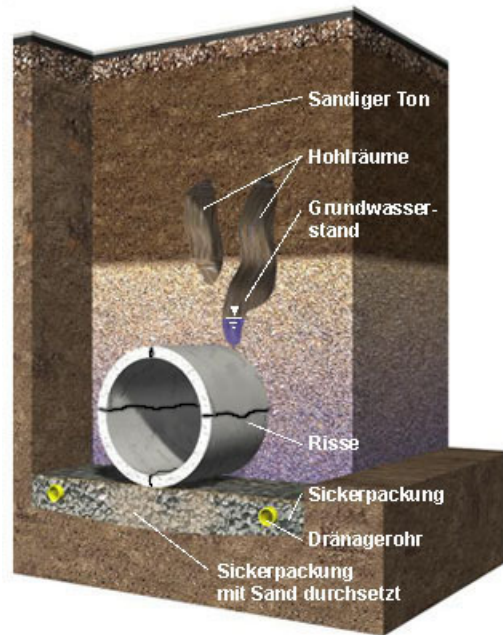


Bild 81 Auswirkungen einer nicht fachgerecht ausgeführten Sickerpackung auf die Tragfähigkeit der Kanäle [160]
(Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Kosten

Die Kosten des Mineralgemisches für die mineralische Kapselung betragen ca. 55 – 65 Euro/t [161]. Aufgrund dieser Kosten ist der MKP (partiell mineralisch gekapselte Abschnitte) der Vorzug zu geben, da die Wirkung der beiden Varianten hinsichtlich Abdichtung nahezu identisch ist.

Kombinationsmöglichkeit mit den anderen in Frage kommenden Varianten

Werden mineralische Kapselungen zur Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden hergestellt, sind letztendlich auch geeignete GW-Absenkungs- und Ableitungsmöglichkeiten für das Grundwasser zu schaffen.

Diese Maßnahmen sind für den vorliegenden Anwendungsfall nicht sinnvoll, da mit einem entsprechenden Wiederanstieg des Grundwassers zu rechnen ist. Dabei besteht die Gefahr, dass dieses kostenintensive Verfahren keine nachhaltige Wirkung im Hinblick auf die Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden erzielt.

3.2.3.2 Dichtriegel innerhalb der zur Erneuerung der Anschlusskanäle / Grundleitungen vorgesehenen bzw. der vorhandenen Leitungsgräben

Der Dichtriegel (Querschott) hat die Aufgabe, Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden zu vermeiden. Er wird in den Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen quer zu diesen hergestellt. Darüber hinaus kann dieser auch zur gezielten Führung bzw. Ablenkung des Grundwassers eingesetzt werden.

Variante DRG

Bei der Variante DRG wird die Rohrleitung mit einem wasserdichten Injektionskörper aus z.B. Zementsuspension umhüllt. Hierbei kann beispielsweise der hydraulisch bindende Verfüllbaustoff fuma®Boden der Readymix AG als wasserdichter Injektionskörper verwendet werden [162]. Der Boden ist als Baustoff für die Leitungszone nach DIN EN 1610 [71] zugelassen.

fuma®Boden wird aus Wasser, Sand (lieferbar im Korngrößenbereich 0/2 und 0/8, s. Tabelle 25 bzw. Bild 82), Zusatzstoffen und dem mineralischen Bindemittel Zement sowie luftporenbildenden Zusatzmitteln (Tenside) hergestellt. Es wird für den Einbau in eine sehr fließfähige Form (flüssige Konsistenz) gebracht und verfestigt sich anschließend hydraulisch.

Tabelle 25 Korngrößenverteilung von fuma®Boden nach Herstellerangaben [163]

Produkt	fuma Boden	
Körnung/Größtkorn	0/2	0/8
Siebweite [mm]	Siebdurchgang in [%]	
0,125	2,3	1,1
0,25	15,8	7,5
0,5	58,8	37,1
1	85,5	56,6
2	95,2	63,1
4	100,0	72,9
8	100,0	97,9
16	100,0	100,0
32	100,0	100,0
D-Summe	655	535
k-Wert	1,45	2,65
Ungleichförmigkeit U	2,9	5,4
d ₆₀ [mm]	0,52	1,4
d ₁₀ [mm]	0,18	0,26
Anteil Sand 0/2	> 90%	> 60%
Bodenklassifikation nach DIN 18196 [78]	SE (Sand, enggestuft)	SW (Sand, weitgestuft)

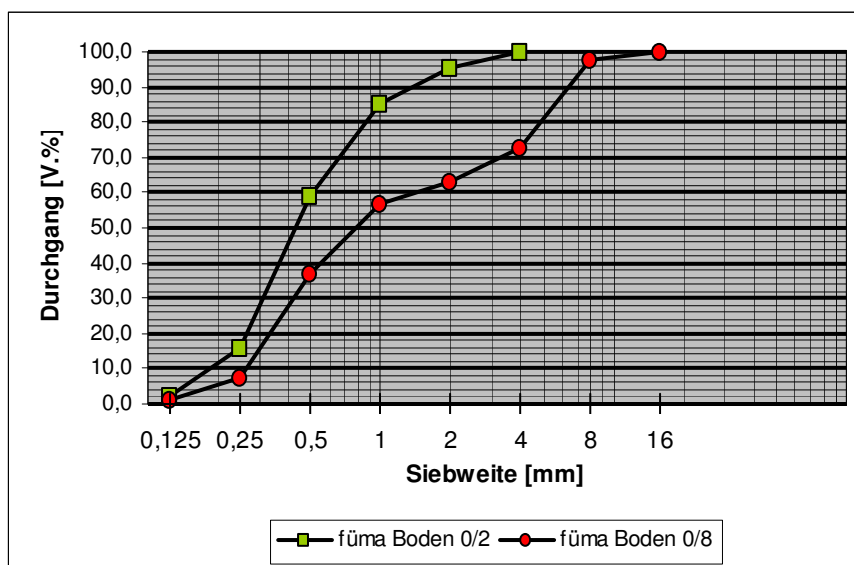


Bild 82 Sieblinien von fuma®Boden der Körnung 0/2 und 0/8 nach Herstellerangaben [163]

Die Anlieferung von fūma[®]Boden erfolgt im Fahrmischer. Er gelangt direkt oder über Schüttrohre bzw. Schlauch an den vorgesehenen Einbauort (Bild 83 a). Bei Bedarf kann fūma[®]Boden auch mit einer Betonpumpe eingebaut werden. Die flüssige Konsistenz ermöglicht eine selbstverdichtende (ohne mechanische Verdichtungsarbeit) und hohlraumfreie Verfüllung (insbesondere auch der Rohrzwickel) (Bild 83 b) [164].

Nach Herstellerangaben ist die Oberfläche des mit fūma[®]Boden verfüllten Leitungsgrabens nach einem Tag betretbar und nach 3 Tagen überbaubar („Rückverfüllung des Leitungsgrabens“).



a) Fahrmischer mit Betonrutsche („Schurre“)



b) Detailansicht mit mehreren parallel verlegten Versorgungsleitungen

Bild 83 Einbringen des flüssigen fūma[®]Bodens in einen Rohrgraben [165] (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Die technischen Daten von fūma[®]Boden sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26 Technische Daten und Eigenschaften von fūma[®]Boden nach Herstellerangaben [165]

Frishrohdichte	
Sieblinie 0/2	1,4 bis 1,6 kg/dm ³
Sieblinie 0/8	1,6 bis 1,8 kg/dm ³
Trockenrohdichte	
Sieblinie 0/2	1,3 bis 1,4 kg/dm ³
Sieblinie 0/8	1,5 bis 1,7 kg/dm ³
Setzfließmaß	57 cm
Druckfestigkeit nach 28 d	< 0,5 N/mm ² (entspricht der Bodenklasse 3 bis 4 nach DIN 18300 [90])
Elastizitätsmodul nach 28 d	120 bis 150 N/mm ²
Bruchstauchung nach 28 d	0,4 bis 0,7%
Wasserdurchlässigkeit	schwach durchlässig 10 ⁻⁶ bis 10 ⁻⁷ m/s
Ev2-Wert nach 3 d	> 45 MN/m ²

nach 7 d nach 28 d	> 120 MN/m ² > 180 MN/m ²
Verträglichkeit mit PVC und PE	Hart- und Weich-PVC sowie PE verhalten sich gegenüber der mineralischen Grundmischung sowie der zugesetzten Tenside inert, d.h. untereinander findet keine chemische Reaktion statt, so dass fuma [®] Boden als verträglich gegenüber den o.g. Kunststoffen einzustufen ist.
Einfluss auf duktilen Guss und Stahl	fuma [®] Boden ist ein zementgebundener Baustoff mit einem pH-Wert zwischen 12 und 13. In diesem hohen alkalischen Bereich ist metallisches Eisen passiviert. Solange der pH-Wert von fuma [®] Boden im festen Zustand über pH 12 bleibt, sind Stahl und Guss korrosionsgeschützt.
Umweltverträglichkeit	fuma [®] Boden enthält keine Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und auch bei der luftporenbildenden Zusatzmittelherstellung werden keine FCKW eingesetzt. Wie Normalbeton auch, kann fuma [®] Boden im Grund- und Trinkwasserbereich eingesetzt werden. Das Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen hat mit Prüfbericht vom 10.11.2003 zusammenfassend folgende Beurteilung vorgenommen: „Aufgrund der Untersuchungsergebnisse ist u.E. keine merkliche Beeinflussung des Grundwassers, Abwassers oder Regenwassers durch den ausgehärteten Verfüllstoff „fuma“ zu erwarten. Gegen die Verwendung des ausgehärteten Materials in den Trinkwasserschutzzonen II und III bestehen u.E. keine Bedenken. Eine Verwendung von fuma in der Trinkwasserschutzzone I ist mit den zuständigen Behörden abzustimmen“.
Weitere Eigenschaften	• frostwiderstandsfähig • sehr fließfähig • selbstnivellierend & selbstverdichtend • pumpbar oder mittels Rohr- bzw. Schlauchverlängerung einbaubar • begehbar nach 1 d, überbaubar nach 3 d • auf Dauer wieder lösbar

Wie bereits erwähnt, ermöglicht fuma[®]Boden eine selbstverdichtende und hohlraumfreie Verfüllung der Leitungszone. Nach 28 Tagen wird eine Druckfestigkeit von maximal 0,5 N/mm² erreicht (s. Tabelle 26), dies entspricht der Bodenklasse 3 bis 4 („leicht bis mittelschwer lösbare Bodenarten“) nach DIN 18300 [185].

Bei der Verwendung von fuma[®]Boden können die bei der offenen Bauweise unter Verwendung von körnigen, ungebundenen Baustoffen zur Rückverfüllung der Leitungszone häufig auftretenden klassischen Verlegefehler und daraus mittel- bzw. unmittelbar resultierende Schadensursachen für die verlegte Rohrleitung von vornherein vermieden werden.

Vorteile nach [162] sind:

- Beschädigung der neu verlegten Rohrleitung durch zu hohe Verdichtungsauflasten

werden vermieden

- Reduzierung der Grabenbreiten
- Verbesserte Bettungsbedingungen für die Rohrleitung
- Verkürzung der Bauzeit
- Vermeidung von Oberflächensetzungen
- Vermeidung von Erschütterungen durch mechanische Verdichtung, Reduzierung von Lärm- und Schwingungsemissionen
- Verlängerung der Nutzungsdauer der Rohrleitung.

Alternativ kann hierzu auch der RSS[®]- Flüssigboden als wasserdichter Injektionskörper im Hinblick auf Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden Verwendung finden.

Der RSS[®]- Flüssigboden ist ein Stoffgemisch, bestehend aus dem Grundmaterial Boden, Sand, Schluff oder Ton bzw. aus Gemischen davon, oder geeigneten Recycling-Baustoffen, dem Plastifikator (einer Suspension aus Wasser, quellfähigem Ton oder statt des Tones anderen anorganischen Zusätzen oder anderen mineralischen Gemischen) sowie einem Stabilisator, wie z.B. Zement oder Kalk, das nach Vermischen der Bestandteile vorübergehend eine gewollt steife oder weiche oder breiige Konsistenz annimmt und sich anschließend dauerhaft nur soweit verfestigt, dass dieser Flüssigboden entsprechend der Klasse 4 nach DIN 18300 gelöst werden kann. Der Flüssigboden wird zum Zweck des hohlraumfreien Einbaus in der Regel zeitweilig in eine fließfähige Konsistenz überführt; er verdichtet sich anschließend selbständig ohne gesonderte Verdichtungsarbeit [166] (s. Bild 84).



Bild 84 Einbau von RSS[®]- Flüssigboden

Die Herstellung von RSS[®]-Flüssigboden kann in Zentralmischanlagen (mixed-in-plant) oder dezentral in Ortsmischanlagen (mixed-in-place) erfolgen. Beide Varianten sind eng an die Herstellungstechnologie von Beton- oder Bodenverfestigungsmassen geknüpft, mit dem Zusatz der vorherigen Herstellung einer Mischung einer rezepturabhängigen Trocken-Komponente mit Wasser. Der Transport und Einbau können z. B. durch Betonfahrmischer erfolgen. Der Einbau in den Rohrgraben kann in 2 Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase werden punktuell Belastungsbänke aus RSS[®]-Flüssigboden, steiferer Konsistenz, gesetzt, mit dem Ziel der Fixierung und Auftriebssicherung der Rohrleitungen. In der zweiten Phase erfolgt die Grabenverfüllung durch den lagenweisen Einbau mit RSS[®]-Flüssigboden flüssiger Konsistenz.

Bei Einsatz von RSS[®]-Flüssigboden im Vergleich zu vollem Bodenaustausch ergibt sich beispielsweise für eine Verlegung einer Rohrleitung DN 100 folgender Mengenvergleich [166]:

- Reduzierung der Position Straßenaufbruch und Wiederherstellung um ca. 40%
- Reduzierung der Position Bodenaushub, Transport und Deponie des verdrängten

Bodens um ca. 40%, Wegfall der Positionen Verdichten und Verdichtungsprüfung in der Leitungs- und Verfüllzone

- Reduzierung der Material- und Einbaukosten in der Leitungszone zwischen Bettungssand und Austauschboden und dem RSS[®]- Flüssigboden um ca. 20%.

Insgesamt kann die Wirkung ähnlich der mineralischen Kapselung beschrieben werden, so dass Umläufigkeiten mit der Folge einer Vernässung der Liegenschaften vermieden werden.

Variante DRP

Bei der Variante DRP wird ein gezieltes Schlitzten mit wasserundurchlässigem Boden (z.B. verdichtetem Ton, Bentonit) hergestellt. Hierbei kann beispielsweise das Bentofix[®] der Firma Naue GmbH & Co. KG, Espelkamp-Fiestel [167] verwendet werden, welches als *„eine vollflächig über alle Komponenten kraftschlüssig vernadelte Tondichtungsbahn“* beschrieben wird. Es ist mit quellfähigem Natriumbentonit gefüllt und wird zur Dichtung gegen Flüssigkeiten und Gase in verschiedenen Anwendungsgebieten eingesetzt.

Die Einsatzgebiete von Bentofix[®] sind:

- Dichtungsschleier für Grundwasserablenkungsmaßnahmen
- Dichtung von Deponiebasis und -oberfläche
- Sorptionsbarriere und Schutzlage in Deponien
- Dichtung von Regenrückhaltebecken, Teichen, Wassersammel- und Speicherbecken
- Sicherung von Dämmen und Talsperren
- Dichtung von Sohlen und Böschungen bei Wasserstraßen
- Unterwasserverlegungen
- Dichtungselement für den Grundwasserschutz und im Kulturwasserbau.

Tabelle 27 zeigt die wesentlichen Eigenschaften der Tondichtungsbahn Bentofix[®] BFG 5000

Tabelle 27 Eigenschaft der Tondichtungsbahn Bentofix® BFG 5000 [167]

Eigenschaft	Prüfverfahren*	Einheit	Werte
Geotextillagen:			
Decklage (Polypropylen-Vliesstoff mit Bentonit gefüllt):			
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	g/m ²	300
Trägerlage (Polypropylen-Gewebe):			
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	g/m ²	200
Bentonitlage (Natriumbentonitpulver):			
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN 14196 (ρ_{TON})	g/m ²	4.200 + 800
Quellvolumen	ASTM D 5890	ml/2g	24
Fluid Loss	ASTM D 5891	ml	≤ 18
Wassergehalt	DIN 18121 / ISO 11465 (5 Std., 105 °C)	%	ca. 10
Geosynthetische Tondichtungsbahn:			
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN 14196 (ρ_{GBR-C})	g/m ²	5.500
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	mm	7,0
Höchstzugkraft, md/cmd**	DIN EN ISO 10319 / ASTM D 4595	kN/m	20,0 / 11,0
Dehnung bei Bruch, md/cmd**	DIN EN ISO 10319 / ASTM D 4595	%	10,0 / 5,0
Verbundfestigkeit	ASTM D 6496	N/10 cm***	≥ 60
		N/m	≥ 360
Stempeldurchdruckkraft	DIN EN ISO 12236	N	2.500
k-Wert	DIN 18130 / ASTM D 5887	m/s	2×10^{-11}
Index Flux	DIN 18130 / ASTM D 5887	(m ³ /m ²)/s	5×10^{-9}
Rollenabmessungen:			
Breite x Länge, / Durchmesser	-	m x m / m	4,85 x 40 / Ø 0,65

* = in Anlehnung an; **md = machine direction, cmd = cross machine direction, ***max. peak

Machbarkeit in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen

Das Konzept des Dichtriegels kann sowohl bei Misch- als auch bei Trennsystem realisiert werden.

Die hydraulisch bindenden Verfüllbaustoffe fūma[®] Boden weisen eine Durchlässigkeit von $k_f = 10^{-6}$ m/s bis 10^{-7} m/s auf, so dass eine Abdichtfunktion der Leitungen zu den Gebäuden nicht wirklich gewährleistet wird. Allerdings ist eine höhere Durchlässigkeit durch z.B. Bentonit mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $2 \cdot 10^{-11}$ zu erreichen. Im letzten Fall liegen im Bereich der Grundwasserführung und -umlenkung bereits Erfahrungen vor [63, 168].

Wie im Abschnitt 3.2.3.1 beschrieben, ist diese Maßnahme für den vorliegenden Anwendungsfall nicht sinnvoll, da mit einem entsprechenden Wiederanstieg des Grundwassers zu rechnen ist. Dabei besteht die Gefahr, dass dieses kostenaufwändige Verfahren keine Wirkung im Hinblick auf die Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden erzielt. Darüber hinaus wird mit dieser Maßnahme der Fremdwasseranfall nur indirekt bzw. gar nicht reduziert, indem das Grundwasser möglicherweise in die Zonen eines

undichten Kanal- bzw. Leitungsnetzes umgelenkt wird.

Auswirkungen auf Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Bebauung und Bewuchs

Durch die Abdichtungswirkung der Dichtriegel werden einerseits Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden vermieden, andererseits kann sie zur Verlagerung der weiträumigen Grundwasseranstiege in andere Bereiche führen.

Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten

Mit dem Einbau von hydraulisch bindendem Verfüllbaustoff fūma[®]Boden in der Leitungszone können, bedingt durch die optimale Auflagerung bzw. Bettung der Rohrleitungen eine einwandfreie und gleichbleibende Verlegequalität sowie eine dauerhafte Standsicherheit des Rohrleitungssystems gewährleistet werden (Variante A). Mit der fachgerechten Verwendung von stabilisierten Böden könnte deshalb die von den Auftraggebern geforderte hohe angestrebte Nutzungsdauer für Ver- und Entsorgungsleitungen von 80 Jahren umgesetzt werden.

Die Nutzungsdauer der Dichtriegel innerhalb der zur Erneuerung der Anschlusskanäle/Grundleitungen vorgesehenen bzw. der vorhandenen Leitungsgräben wird nach [168] mit 20 Jahre angegeben.

Aufwand für die Instandhaltung

Der Aufwand für die Instandhaltung von hydraulisch bindendem Verfüllbaustoff fūma[®]Boden als Dichtriegel ist gering einzuschätzen, da im Vergleich zur mineralischen Kapselung mit Mineralgemisch ein Feststoffeintrag und damit erhöhter Reinigungsbedarf ausgeschlossen ist.

Bei bindigen Böden wie z.B. Ton findet die Bodenerosion im Bereich von Schadensstellen vornehmlich durch Überlastung/Überflutung oder stark wechselnde Grundwasserstände im Kanal statt. Bedingt durch dabei auftretende Strömung, werden die Kohäsion aufgehoben und der Abtrag ermöglicht. Dabei wird die Erosionsrate von Schadensart und -umfang, von der Lagerungsdichte und der Plastizität des bindiges Bodens beeinflusst [3, 156].

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Aufgrund der z.T. selbstverdichtenden Eigenschaften reduziert sich der Arbeitsaufwand auf der Baustelle. Dennoch ist das Verfahren insgesamt als teuer einzustufen. Aus Kostengründen ist deshalb dem gezielten Herstellen von Schlitzten mit wasserundurchlässigem Boden der Vorzug zu geben.

Die Kosten für einen Dichtriegel belaufen sich nach [63, 168] auf rund 8.000 Euro pro Stück.

Kombinationsmöglichkeit mit den anderen in Frage kommenden Varianten

Werden Dichtriegel innerhalb der vorhandenen Leitungsgräben zur Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden hergestellt, sind letztendlich auch geeignete GW-Absenkungs- und Ableitungsmöglichkeiten für das Grundwasser zu schaffen.

4 Bestandsaufnahme und Untersuchungs- / Messprogramme

4.1 Bestandsaufnahme und durchgeführte Untersuchungs- / Messprogramme

4.1.1 Geographische Verhältnisse

Die Stadt Altena (Westf.) mit rd. 21.200 Einwohnern (Stand: Januar 2008 [17]) liegt im Sauerland, rd. 8,5 km südlich von Iserlohn bzw. rd. 11 km nördlich von Lüdenscheid. Administrativ ist sie dem Märkischen Kreis und damit dem Regierungsbezirk Arnsberg zugeordnet. Das Stadtgebiet von 44,29 km², welches zu rd. 61% bewaldet ist [17], erstreckt sich entlang der Talauen von Lenne, Nettebach, Brachtenbecke und Rahmede sowie über die anschließenden Hänge und Hochebenen. Naturräumlich befindet sich das Stadtgebiet im südsauerländischen Bergland, welches Teil des bergisch –

sauerländischen Gebirges ist [169]. Die Morphologie ist bei einer Höhenentwicklung zwischen 145 m ü. NN und 511 m ü. NN [17] durch ein relativ ausgeprägtes Mittelgebirgsrelief gekennzeichnet. Die Täler – wie das Durchbruchstal der Lenne - sind tief eingeschnitten und besitzen sehr schmale Talböden und steile Hänge.

Das Stadtgebiet liegt im Übergangsbereich zwischen maritimem und kontinentalem Klima, wobei die maritimen Einflüsse überwiegen. Kennzeichnend sind starke Bewölkung, hohe Luftfeuchtigkeit und hohe jährliche Niederschlagsmengen mit Winter - Maximum sowie geringe jährliche Temperaturschwankungen [170]. Die mittlere Niederschlagssumme ist für diese Region mit ca. 1250 mm anzusetzen (mittlere jährliche Niederschlagssumme der Periode 1998 – 2006 in Altena) [171]. Durchschnittlich entfallen dabei auf die Monate Januar bis April ca. 500 mm.

Die Bodenverhältnisse sind bestimmt durch schluffig - lehmige, podsolige Braunerden im Bereich der Hanglagen sowie Ranker und stellenweise Hang - Pseudogley, Braunerde und Löss - Parabraunerde an Hangrücken. In den Tälern der Oberflächengewässer sind grundwasserbeeinflusste Böden zu finden [172].

Für die hier vorgestellten Untersuchungen wurden zwei Untersuchungsgebiete ausgewählt, welche nachfolgend näher beschrieben werden.

„Nettestraße“

Im Untersuchungsgebiet verläuft die „Nettestraße“ als Landesstraße L 698 in einem S - förmigen Bogen von Nordosten nach Westen in der Talsohle zwischen dem Giershager Berg (328,8 m ü. NN) im Norden, dem Halsknopf (bis 388,8 m ü. NN) im Südosten und dem Schwarzenstein (326,0 m ü. NN) im Südwesten. Das Untersuchungsgebiet, definiert über das oberirdische Einzugsgebiet (vgl. Abschn. 4.1.3.4 und Bild 90), umfasst rd. 0,299 km². Die Talflanken sind im Mittel mit rd. 1:1,8 bis 1:2,1 (rd. 25° bis 29°) geneigt. Die Talsohle liegt zwischen rd. 199,4 m ü. NN im Nordosten und rd. 183,6 m ü. NN im Westen des Untersuchungsgebietes [173], [174]. Letzterer ist zugleich der tiefste Punkt des Untersuchungsgebietes. Der höchste Punkt mit rd. 385 m ü. NN liegt auf dem Höhenrücken nördlich des Giershager Berges.

Die Hänge und Höhenrücken sind weitgehend bewaldet und im Gebietsentwicklungsplan (kurz: GEP), Stand Juli 2001 [175] weitgehend als Bereiche

für den Schutz der Natur, untergeordnet auch als Bereiche für den Schutz der Landschaft ausgewiesen. Während für den westlichsten Teil des Untersuchungsgebietes allgemeine Siedlungsbereiche charakteristisch sind, herrschen im Hauptteil des Untersuchungsgebietes, etwa ab der Einmündung des Giershagener Weges, Gewerbe- und Industrieansiedlungen vor. Die Talrandlagen sind hier im GEP [175] teilweise als Agrarbereiche eingeordnet.

In dem engen, steilen Bachtal mäandrierte früher der Nettebach. Die Straße und das Kanalsystem queren den Bach im Untersuchungsgebiet.

Bild 85 zeigt die geographischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes „Nettestraße“.



Bild 85 Luftbilddarstellung [o. M.] des Untersuchungsgebietes „Nettestraße“, ergänzt um Angaben zum Untersuchungsgebiet

Einen Eindruck von den örtlichen Verhältnissen geben auch Bild 86 und Bild 87.



Bild 86 Örtliche Verhältnisse „Nettestraße“ / Giershager Weg, Blickrichtung NE´ (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)



Bild 87 Örtliche Verhältnisse „Nettestraße“, Höhe Hausnummer 92, Blickrichtung NE´ (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

„Im Steinwinkel“

Der Steinwinkel liegt in einem etwa Nord - Süd - verlaufenden Quertal des Nettebachtales. Das Untersuchungsgebiet als oberirdisches Einzugsgebiet von rd. 0,029 km² (vgl. Abschn. 4.1.3.4 und Bild 91) umschließt einen Teil der Straße „Steinwinkel“ sowie die östliche Stichstraße. Der Steinwinkel mündet nördlich eines Fabrikgeländes in die Westiger Straße (L 698) ein. Das Tal wird im Westen begrenzt von den Osthängen eines südlichen Ausläufers des Rüssenberges (379,6 m ü. NN), im Osten von den Hängen des Lilien Hagen (rd. 387,5 m ü. NN) und des Löttringsen (381,9 m ü. NN). Weiter nach Norden, zum Hamberg bzw. Rüssenberg hin, fächert das Tal in einzelne Siepen und kleinere Talungen auf. Die Talflanken sind ebenfalls im Mittel mit rd. 1:1,8 bis 1:2,1 (rd. 25° bis 29°) geneigt. Die Talsohle liegt zwischen rd. 255 m ü. NN im Norden und rd. 243,4 m ü. NN im Süden des Untersuchungsgebietes (tiefster Punkt des Untersuchungsgebietes). Der höchste Punkt mit rd. 310 m ü. NN liegt auf dem Westhang des Lilien Hagen. Südlich der Westiger Straße steigt das Gelände mit 1:2,1 (rd. 25°) wieder an [176], [177], [178].

Die Hänge und Höhenrücken sind weitgehend bewaldet. Während für das Nettebachtal hier Gewerbe- und Industrieansiedlungen charakteristisch sind, ist das Untersuchungsgebiet im GEP [175] weitgehend als Agrarbereich eingeordnet. Bis auf die gewerblich / industriell genutzten Bereiche im Süden ist das Untersuchungsgebiet im GEP [175] als Bereich für den Schutz der Landschaft ausgewiesen.

Bild 88 zeigt die geographischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes „Im Steinwinkel“.

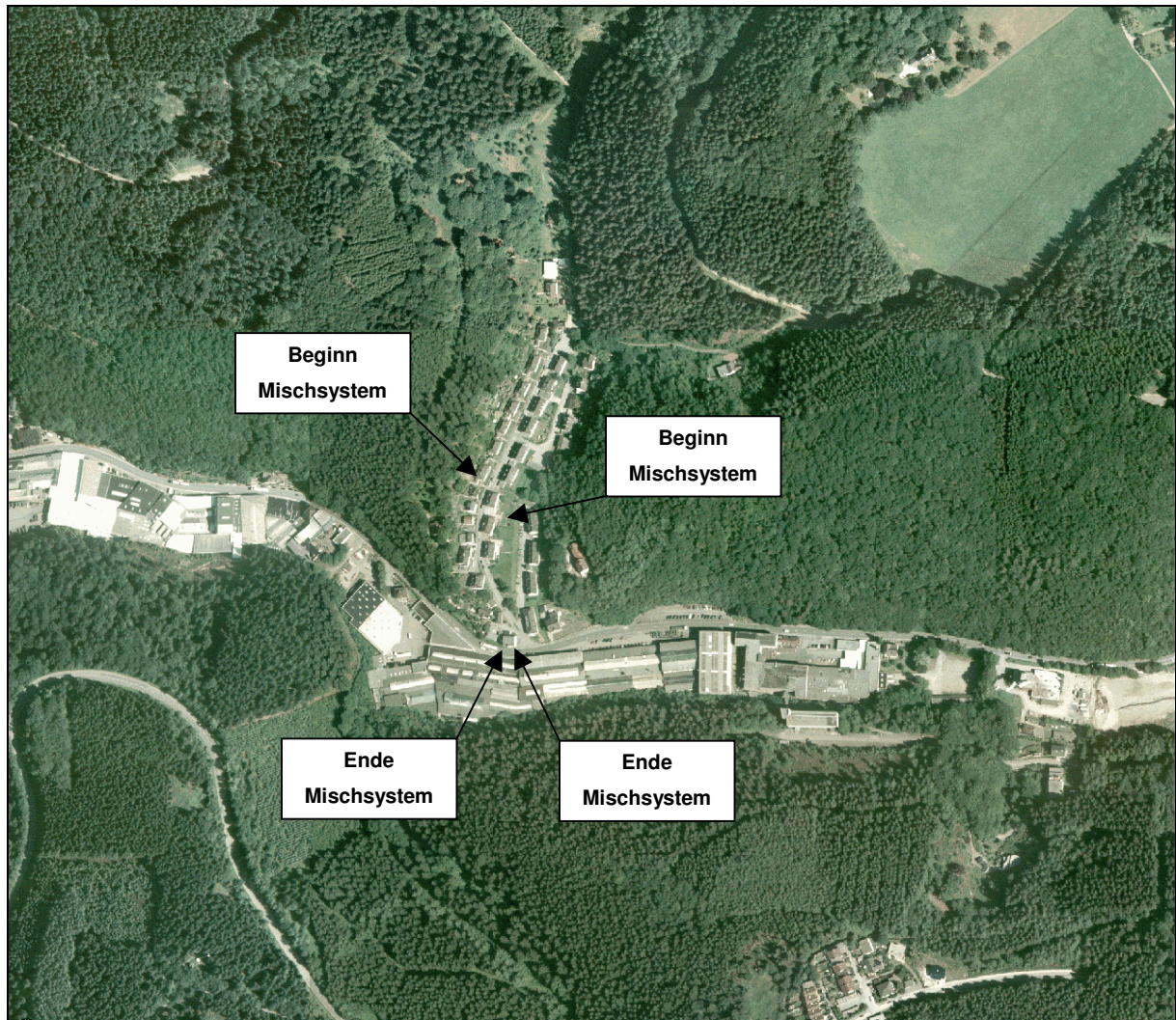


Bild 88 Luftbilddarstellung [o. M.] des Untersuchungsgebietes Steinwinkel, ergänzt um Angaben zum Untersuchungsgebiet (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Einen Eindruck von den örtlichen Verhältnissen gibt auch Bild 89.



Bild 89 Örtliche Verhältnisse Im Steinwinkel, Blickrichtung N' (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

4.1.2 Befestigungs- bzw. Versiegelungsgrad

Der Befestigungs- und Versiegelungsgrad (Gebäudefläche, versiegelte Freifläche und nicht befestigte Fläche) von „Im Steinwinkel“ beträgt nach den Angaben der kpp-Datei [189] und in Anlehnung an die Einzugsgebiete im Bild 90 und Bild 91 ca. 42%, wohingegen der Befestigungs- und Versiegelungsgrad an der „Nettestraße“ ca. 23% aufweist. Der Gesamtversiegelungsgrad des Untersuchungsgebietes („Nettestraße“ und „Steinwinkel“) beträgt aufgrund der größeren unbefestigten Fläche an der „Nettestraße“ im Mittel 24%. Bei einer Gesamteinzugsgebietsfläche von 43,45 ha in „Steinwinkel“ und der „Nettestraße“ ergibt sich eine undurchlässige Fläche von ca. 10,45 ha.

4.1.3 Geologische, hydrogeologische, baugrundtechnische und hydrologische Verhältnisse

4.1.3.1 Geologische Verhältnisse

Der Großraum Altena ist Teil der tektonischen Großstruktur des Rheinischen Schiefergebirges. Die paläozoischen Gesteinsformationen des Unter- und Mitteldevons aus Tonschiefern und Grauwacken mit Einschaltungen von Sandsteinen wurden während der variszischen Gebirgsbildung gefaltet. Es entstanden weitgespannte Sättel und Mulden, deren Faltenachsen SW – NE streichen. Störungen, Auf- und Überschiebungen, Klüfte, Schicht- und Schieferungsflächen durchsetzen das Gestein und führen zur tektonischen Auflockerung und somit auch zur Erhöhung der Trennfugen- bzw. Wasserdurchlässigkeit des Gebirges [179].

Das Altenaer Stadtgebiet liegt im Zentralbereich der tektonischen Großstruktur des Remscheid – Altenaer - Arnsberger Sattels, dessen Achse im Bereich Altena ungefähr SSE – NNW streicht und dessen Sattelachsenfläche mit 65 - 85° nach SSE einfällt. Der Sattel ist durch etliche Spezialfalten gegliedert und bereichsweise stark gestört.

Im Stadtgebiet Altena sind deutlich geschichtete Tonsteine, Schluffsteine und Sandsteine mit vielfältigen Übergängen aufgeschlossen. Sie werden den Hobräcker, Mühlenberg- und Unteren Honseler Schichten des Mitteldevons zugerechnet. Diese sind als Folge der variskischen Faltung und späterer Hebungsvorgänge (Tertiär) intensiv geklüftet, wobei im wesentlichen drei Hauptkluftrichtungen relevant sind, die als eng- bis mittelständig zu beurteilen sind. Hinzu tritt bei Tonsteinen und schluffigen Tonsteinen eine intensive Schieferung, wobei die Schieferungsflächen steil mit 70° - 80° nach SE einfallen. Das Gebirge ist an Störungszonen (meist steil stehend) und an Über- und Abschiebungen versetzt. Die Schichtung ist bei Sandsteinen als dickbankig, bei Schluff- und Tonsteinen als dünnbankig zu bezeichnen. Innerhalb des Trennflächengefüges ist die Klüftung als Haupttrennfläche anzusehen.

Das heutige Relief wurde nach der Hebung des Geländes im Tertiär durch die intensive Erosion vor allem während der Eiszeiten geformt und es entstanden meist tief eingeschnittene Haupttäler mit zahlreichen, ebenfalls tief eingeschnittenen Seitentälern.

Dabei fand eine an den Hängen mehrere Zehner-Meter tiefe Auflockerung des Gebirges statt.

Im Untersuchungsgebiet „Nettestraße“ stehen, lt. [180], die Hobräcker Schichten und die Mühlenberg - Schichten des Mitteldevons an. Sie bestehen hier aus einer engen Wechsellagerung von Ton-, Schluff- und Sandsteinen mit ständig wechselnden Übergängen. Im Bereich des Untersuchungsgebiets „Im Steinwinkel“ stehen lt. [181] die Unteren Honseler Schichten des Mitteldevons an. Sie bestehen aus Ton-, Schluff- und Sandsteinen mit dünnen Kalksteinlagen.

Es ist davon auszugehen, dass unter der heutigen Talaue des Nettebachs – wie unter allen anderen Bächen und Flüssen – eine mehr oder minder mächtige Schicht aus sandigem Kies, gerundeten Steinen und Lehm (Netteschotter) ansteht, die (wenn nicht bei der Bebauung ausgeräumt) durch eine unterschiedlich mächtige Schicht aus Auelehm überlagert wird.

Der Auelehm wird lt. [182] als semiterrestrischer Boden eingestuft und ebenda als Gley, z. T. auch als Nassgley, bezeichnet.

„Nettestraße“

Das Nettetal ist durch die intensive Bebauung umgestaltet und der Mutterboden breitflächig abgetragen worden. Fast überall finden sich Anschüttungen unterschiedlichen Materials und unterschiedlicher Mächtigkeit. Je nach Bebauung wurde auch der Tallehm (Auelehm) entfernt oder in seiner Mächtigkeit reduziert.

Bei der Industrialisierung wurden die Talflanken oft zurückgelegt, so dass hier auf der heutigen Talsohle der verwitterte Fels ansteht.

An den Talflanken zeigen sich Hanglehm und Hangschutt (Fließerden), die – je nach Steilheit der Hänge – unterschiedlich mächtig sind. An Prallhängen ist oft kein Hanglehm vorhanden. Hier steht direkt der verwitterte Fels an.

Um den Untergrund im engeren Bereich der Kanalisation zu erkunden, wurden entlang der „Nettestraße“ Sondierungen erstellt (s. Anhang 1, B1.1). Die Sondieransatzpunkte wurden so gewählt, dass über die gesamte Strecke des Untersuchungsgebiets die

Erstellung von Querprofilen unter Berücksichtigung der Nette möglich war. Wegen der engen Bebauung, des starken Verkehrs auf der „Nettestraße“ und der Vielzahl von unterirdischen Leitungen konnten von den ursprünglich geplanten ca. 30 Sondierungen jedoch nur 20 verwirklicht werden. An einigen Stellen konnten daher keine vollständigen Querprofile erstellt werden. Die Ergebnisse sind dennoch für die hier relevanten Aussagen ausreichend. Einzelheiten zum Bodenaufbau sind Anhang 1 (B 2.1 - 2.9) zu entnehmen.

Die Geländeoberfläche im Untersuchungsgebiet ist entlang der „Nettestraße“ nahezu vollständig mit unterschiedlich dickem Asphalt, Beton, Verbundsteinpflaster u.ä. versiegelt, nur kleinere Teilflächen sind mit Schotter befestigt (Sondierungen So 1, So 11 und So 14) oder mit angeschüttetem Mutterboden bedeckt (So 16).

Unter den Oberflächenbefestigungen bzw. dem Schotter / Mutterboden folgen in allen Sondierungen Anschüttungen aus Lehm, Sand und Steinen, die unregelmäßig mit Ziegel- und Betonbruch, lokal auch mit Asche, vermischt sind. Die Anschüttungen sind unterschiedlich, im Mittel ca. 1,0 m, mächtig. Lokal (Sondierungen So 1, So 14 und So 16) reichen sie bis 1,5 - 2,0 m Tiefe. Vor dem Hintergrund der Fragestellungen konnte auf eine Untersuchung der Anschüttungen verzichtet werden.

Der ursprünglich vorhandene Mutterboden ist bei der Bebauung abgetragen worden.

Unter der Anschüttung wurde in den meisten Sondierungen natürlich gelagerter Auelehm, der im Wesentlichen aus Mittel- bis Grobschluff besteht, angetroffen. Feinschluff, Ton, Sand und Kies sind in unterschiedlichen Mengenanteilen enthalten. Diese Schicht ist im Mittel 0,4 - 0,8 m mächtig. Im Bereich der Sondierungen So 8 und So 9 ist der Auelehm nur noch in Resten (0,2 - 0,3 m mächtig) vorhanden. Die Basis des Auelehms liegt bei ca. 1,0 - 2,0 m unter Gelände. In etlichen Sondierungen wurde kein Auelehm angetroffen, er ist bereits früher abgetragen worden.

Unter dem Auelehm zeigt sich überall eine unterschiedlich mächtige Schicht aus verlehmteten Netteschottern, einem Gemisch aus Kies jeder Größe, ovalen bis plattigen, kantengerundeten Steinen (vor allem in den tieferen Lagen) und sehr wechselhaften Mengen Sand, Schluff und Ton. Die oberen Zonen des Netteschotters sind stärker, die unteren Lagen, vor allem wenn der Schotter mehr als 3 m mächtig ist, nur schwach

verlehmt. Da sich während der Eiszeit ein unregelmäßiges V - förmiges Kerbtal ausgebildet hatte, ist die Mächtigkeit der Schotter sehr unterschiedlich. In den Sondierungen, die ungefähr in der eiszeitlichen Talrinne angesetzt wurden, wurde das Liegende des Schotters, d. h. der verwitterte Fels, erst in mehr als 4 m, in So 15 sogar erst in 7 m Tiefe angetroffen. In der Talrinne sind die Netteschotter ca. 3 m mächtig, lokal (Sondierung So 15) beträgt die Mächtigkeit sogar ca. 5 m. Bei anderen Sondierungen, bei denen in größerer Tiefe kein Bohrfortschritt mehr zu verzeichnen war, ist nicht sicher, ob hier schon der verwitterte Fels ansteht oder ob hier nur ein grober Stein lag, der nicht durchbohrt werden konnte. Da die Teufenlage der Untergrenze der verlehnten Netteschotter für die Fragestellungen des Forschungsvorhabens bzw. die Kanalsanierung nicht von Bedeutung ist, konnte auf weitere Sondierungen verzichtet werden. In den Sondierungen entlang der ursprünglichen Talränder (Sondierungen So 4, So 7, So 11, So 16, So 18 und So 19) wurde die Basis der Netteschotter dagegen bereits in ca. 1,5 - 2,6 m Tiefe erreicht.

Der verwitterte Fels, der in einigen Sondierungen erbohrt wurde, besteht aus Ton-, Schluff- und Sandsteinen der Hobräcker und Mühlenberg-Schichten des Mitteldevons. Die Schichten sind unterschiedlich stark von Trennfugen durchzogen.

„Im Steinwinkel“

Das Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“ liegt am südlichen Ende eines von N nach S verlaufenden Seitentals der Nette. Der hier ursprünglich verlaufende Bach ist im unteren Teil des Tals, d. h. im Bereich der jetzt vorhandenen Bebauung, verrohrt.

Westlich und nördlich des untersuchten Bereichs, d. h. westlich und nördlich der Häuser 'Steinwinkel 6a - 10a', ist die ursprüngliche Geländeoberfläche durch Auffüllungen verändert worden.

Um den Untergrund im engeren Bereich der Kanalisation westlich der Häuser „Im Steinwinkel“ 6a - 10a zu erkunden, wurden hier neun Sondierungen niedergebracht (s. Anhang 1, B 1.2). Die Sondieransatzpunkte wurden so gewählt, dass über die gesamte Strecke des Untersuchungsgebiets die Erstellung von entsprechenden Querprofilen im Bereich der Kanalsanierungsstrecke möglich war. Einzelheiten zum Bodenaufbau sind Anhang 1, B 2.10 - 2.12 (Bodenprofile) zu entnehmen.

Die Geländeoberfläche unmittelbar vor den Häusern „Im Steinwinkel“ 6a - 10a ist asphaltiert. Der Parkstreifen westlich der asphaltierten Fläche ist mit Schotter befestigt. Ansonsten sind in der näheren Umgebung der Sondieransatzpunkte Grünflächen vorhanden.

Im Bereich der Grünflächen wurde in allen Sondierungen angeschütteter Mutterboden erkundet.

Unter den Oberflächenbefestigungen bzw. dem Schotter / Mutterboden folgen in allen Sondierungen Anschüttungen, die im Bereich der Straße und der Parkplatzfläche aus Lehm, Sand und Steinen bestehen, die unregelmäßig mit Ziegel- und Betonbruch, lokal auch mit Schlacke vermischt sind. Im Bereich des Untersuchungsgebiets, in dem nach W das Gelände ansteigt (Sondierungen So 32 und So 35 - 37), fanden sich in der Anschüttung auch Lagen, die nur aus Ziegelbruch und Mörtel bestehen. Die Anschüttungen sind im Bereich der Straße und des Parkplatzes 0,6 - 1,3 m mächtig. Im Bereich westlich des Parkplatzes reicht die Anschüttung bis 1,65 - 3,3 m Tiefe. Vor dem Hintergrund der Fragestellungen konnte auf eine Untersuchung der Anschüttungen verzichtet werden.

Der ursprünglich vorhandene Mutterboden ist bei der Bebauung abgetragen worden. Nur in Sondierung So 35, westlich der Parkplatzfläche, war unter den Anschüttungen eine ca. 0,2 m dicke Lage des natürlichen Mutterbodens erhalten.

Unter der Anschüttung zeigte sich in allen Sondierungen natürlich gelagerter Auelehm, der hier aus Fein- bis Mittelschluff besteht. Ton, Sand und Kies sind in unterschiedlichen Mengenanteilen enthalten. Diese Schicht ist in den meisten Sondierungen ca. 0,6 - 1,15 m mächtig. Die größte Mächtigkeit erreicht der Auelehm in Sondierung So 32 mit 1,5 m. In den Sondierungen So 33 und So 37 ist der Auelehm (Mächtigkeit 0,35 - 0,45 m) nur noch in Resten vorhanden. Die Basis des Auelehms liegt in den Sondierungen So 30, So 31, So 33, So 34, So 37 und So 38 bei ca. 1 - 2 m unter Gelände. Nur im Bereich der Sondierungen So 32, So 35 und So 36, d. h. im Bereich des stark aufgeschütteten Geländes westlich des Parkplatzes, wurde die Basis des Auelehms bei ca. 3,6 - 3,9 m unter Gelände erbohrt.

Ähnlich wie im Nettetal folgt unter dem Auelehm überall eine unterschiedlich mächtige

Schicht aus verlehnten Bachschottern, die aus einem Gemisch aus Kies jeder Größe, ovalen bis plattigen, kantengerundeten Steinen und sehr unterschiedlichen Mengenanteilen von Schluff, Ton und Sand bestehen. Die Basis der verlehnten Bachschotter wurde in den Sondierungen So 31, So 32, und So 34 - So 37 in unterschiedlichen Tiefen erbohrt. Die größte Mächtigkeit der Schotter wurde in Sondierung So 37 mit ca. 3,4 m im nördlichen Teil des Untersuchungsgebiets und die geringste Mächtigkeit in Sondierung So 32 mit 0,7 m am südwestlichen Rand des Untersuchungsgebietes festgestellt. Generell nimmt die Mächtigkeit der Bachschotter von W (Talrand) nach E (Talrinne) deutlich zu. Bei den anderen Sondierungen, bei denen in größerer Tiefe kein Bohrfortschritt mehr zu verzeichnen war, ist nicht sicher, ob hier schon der verwitterte Fels ansteht oder ob hier nur ein grober Stein lag, der nicht durchbohrt werden konnte. Die Teufenlage kann daher nicht exakt festgelegt werden.

Der verwitterte Fels, der in den Sondierungen So 31, So 32 und So 34 - So 37 erbohrt wurde, besteht aus sandigen Schluffsteinen der Unteren Honseler Schichten (Mitteldevon), die ein unterschiedlich ausgeprägtes Trennflächengefüge aufweisen.

4.1.3.2 Hydrogeologische Verhältnisse

Hydrogeologischer Überblick

Weite Flächen des Stadtgebiets Altena liegen über den Hobräcker und Mühlenberg-Schichten des Mitteldevons, die, je nach Gesteinsart, unterschiedliche Trennflächengefüge aufweisen und damit sehr unterschiedlich durchlässige Kluftgrundwasserleiter sind. Die Ton- und Schluffsteine weisen nur eine geringe bis höchstens mäßige Gebirgsdurchlässigkeit auf. Entsprechend DIN 18130 [80] können sie als "schwach durchlässig" mit k_f - Werten von 10^{-8} m / s bis 10^{-6} m / s eingestuft werden. Dickere Sandsteinhorizonte weisen eine z. T. gute Durchlässigkeit auf, die gemäß DIN 18130 [80] als "durchlässig" mit k_f - Werten von 10^{-6} m / s bis 10^{-4} m / s eingestuft werden kann. An den Talflanken ist aufgrund der Permafrosteinwirkung während der Eiszeit eine bis 10 - 30 m tief reichende Auflockerungszone vorhanden, so dass die Durchlässigkeit an den Talflanken größer ist. Sie ist insgesamt so unterschiedlich, dass keine bestimmte Größe einer Gebirgsdurchlässigkeit angegeben

werden kann. Die Spannbreite kann von "schwach durchlässig" bis "durchlässig" gemäß DIN 18130 [80] angenommen werden, was k_f - Werten von 10^{-8} m / s bis 10^{-4} m/s entspricht.

Die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Lockergesteine sind als Porengrundwasserleiter bis Grundwassergeringleiter bzw. –stauer einzustufen:

Die den Fels überlagernden Deckschichten sind im Stadtgebiet Altena zumeist nur geringmächtig und an den Hängen, aufgrund ihres hohen Steingehalts, als mäßig, z. T. auch als gut wasserdurchlässig, entsprechend DIN 18130 [80] als "durchlässig" (k_f - Werte von 10^{-6} m / s bis 10^{-4} m / s) anzusehen.

An den Hangfüßen sind an Gleithängen langgestreckte Lockergesteinsmassen vorhanden (Hanglehm / Hangschutt), die lokal nur eine geringe Wasserdurchlässigkeit aufweisen und wasserstauend sein können. Entsprechend DIN 18130 [80] sind diese Bodenzonen als "schwach durchlässig" mit k_f - Werten von 10^{-8} m / s bis 10^{-6} m / s einzustufen. Hier kommt es zur Ausbildung von Staunässeazonen.

In den Talauen finden sich im natürlichen Zustand Mutterboden und Auelehme von unterschiedlicher Durchlässigkeit. Sie spielen, da sie in den Talbereichen oft ausgeräumt wurden, keine nennenswerte Rolle mehr. Darunter folgen, je nach Tiefe der Einkerbung des Tales, verlehnte Talschotter, wobei die Verlehmung nach unten ab und die Durchlässigkeit der Schotter entsprechend zunimmt. Die Durchlässigkeit kann gemäß DIN 18130 im Bereich "durchlässig" mit k_f - Werten von 10^{-6} m / s bis 10^{-4} m / s angesetzt werden. Da die Einkerbungen aber oft nur sehr schmal sind, ist die Wasserführung nur mäßig, so dass die gewinnbaren Wassermengen meistens nicht hoch sind.

Grundwasser kommt also vorrangig in den Sandsteinpartien des Festgesteins und in der Auflockerungszone / den Hangschuttschichten vor. Es fließt über den wasserstauenden Ton- und Schluffsteinschichten hangabwärts und tritt in den Hängen, aber auch in den Talgründen in unterschiedlicher und nicht vorhersehbarer Tiefe und in nicht vorhersehbarer Menge aus. Diese Grundwässer sind vor allem dann von Bedeutung, wenn die grundwasserführende Schicht durch die Bebauung (Keller) angeschnitten wird, da das Grundwasser nicht weiter abfließen und auch nicht nach

unten versickern kann.

Auf Grund der weit verbreiteten, nur gering wasserdurchlässigen Schichten fließen große Anteile des Niederschlages den Oberflächengewässern direkt zu. In niederschlagsarmen Zeiten wird hierdurch die Bildung eines größeren Grundwasservorrats verhindert.

Um genauere Daten zur Grundwassersituation im Bereich der Untersuchungsgebiete zu erhalten, wurden im Untersuchungsgebiet „Nettestraße“ die Grundwassermessstellen B 4 - B 8 und im Untersuchungsgebiet Steinwinkel die Grundwassermessstellen B 1 - B 3 gebohrt. Die Bohrungen wurden, soweit möglich, bis auf die Oberfläche des festen Fels, d. h. bis zur Basis der verlehnten Bachschotter abgeteuft. Anschließend wurden die Bohrungen zu 3" - Messstellen ausgebaut. Die Pegelstandorte wurden so gewählt, dass sie möglichst nah an der jeweiligen Kanaltrasse liegen und möglichst die Talrinne mit der größten grundwassererfüllten Mächtigkeit erfasst wurde.

Um sämtliche (auch witterungsbedingten) Grundwasserspiegelschwankungen zu erfassen, wurden die Grundwasserstände in allen Messstellen von Juli 2005 bis Juli 2006 regelmäßig in zwei- bis vierwöchentlichen Abständen als Stichtagsmessungen gemessen. Die Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen sind aus Tabelle 28 und Tabelle 29 zu entnehmen.

Weiterhin wurden nach Beendigung der Messreihe im Juli 2006 aus einigen Messstellen Grundwasserproben entnommen, die hinsichtlich der Versinterungs- / Verockerungsneigung und hinsichtlich der Betonaggressivität chemisch untersucht wurden.

„Nettestraße“

Das Nettetal ist als steiles enges V - förmiges Kerbtal aufzufassen, in dem in der Nacheiszeit verlehnte Bachschotter und Auelehme abgelagert wurden, wodurch das heutige Sohlenkerbtal entstand.

Der Auelehm ist bereichsweise ausgeräumt und durch Anschüttungen ersetzt worden. Diese und der verbliebene Auelehm sind sehr unterschiedlich durchlässig. Entsprechend DIN 18130 [80] ist die Anschüttung als "schwach durchlässig" bis

"durchlässig" (k_f - Werte 10^{-8} m / s bis 10^{-4} m / s) und der Auelehm als "schwach durchlässig" (k_f - Werte 10^{-8} m / s bis 10^{-6} m/s) zu beurteilen.

Die obere Zone des unter dem Auelehm bzw. unter den Anschüttungen angetroffenen Bachschotters ist verlehmt und mäßig wasserdurchlässig. Die untere Zone ist nur wenig verlehmt und durchweg mäßig bis gut wasserdurchlässig. Gemäß DIN 18130 [80] sind die Bachschotter als "durchlässig" (k_f - Werte 10^{-6} m / s bis 10^{-4} m / s) zu beurteilen.

Staunässe wurde während der Sondierarbeiten an der Basis von Anschüttungen und in den Auelehmschichten nur gelegentlich angetroffen. Sie ist bedingt durch die lokale Versickerung größerer Wassermengen in den Tagen und Wochen vor der Durchführung der Sondierungen, in denen es sehr stark geregnet hatte. Einzelheiten zum Auftreten von Staunässe sind den Bodenprofilen in Anhang 1 (B2.1 bis B2.9) zu entnehmen.

Zusammenhängendes Grundwasser wurde in einigen Sondierungen, bevorzugt im Bereich des eigentlichen Kerbtals, angetroffen. In einigen Sondierungen konnte nach dem Sondieren ein Wasserspiegel gemessen werden, wobei aber nicht sicher ist, ob es sich um den eingespiegelten Grundwasserspiegel handelt. Es kann gut sein, dass dieser höher liegt, sich aber in der nur kurzen Zeit, welche die Sondierungen offen blieben, noch nicht eingespiegelt hatte. Der Wasserspiegel in den Sondierungen lag entweder ungefähr in der Höhe des Wassers im Nettebach oder bis zu 1 - 1,5 m darunter.

Die Grundwassermessstelle B 4 liegt am nordöstlichen Ende des Untersuchungsgebietes und konnte aufgrund der Vielzahl unterirdischer Leitungen nicht unmittelbar neben der Nette, sondern musste näher am nördlichen Rand des Nettetals gebohrt werden. Der tiefste gemessene Grundwasserspiegel lag am 14.07.2005, d. h. unmittelbar nach Erstellung der Messstelle, bei 2,96 m unter Gelände, d. h. bei +197,45 m NN. Der höchste Grundwasserstand wurde am 28.03.2006 bei 2,81 m, d. h. bei +197,60 m NN gemessen. Die letzte Messung wurde am 13.04.2006 durchgeführt. Danach konnten keine weiteren Messungen mehr durchgeführt werden, da der Pegel bei Ausbesserungsarbeiten an der Hoffläche zuasphaltiert wurde. Die im Beobachtungszeitraum festgestellten jahreszeitlichen und witterungsbedingten Grundwasserspiegelschwankungen betragen in B 4 max. 0,15 m.

Die Grundwassermessstelle B 5 befindet sich ca. 80 m südlich (talabwärts) der Grundwassermessstelle B 4. Der höchste Grundwasserspiegel in B 5 lag am 14.07.2005 bei 0,47 m (ab OK Messbasis). Der Wasserspiegel ist aber hier nicht relevant, da er unmittelbar nach Fertigstellung der Bohrung gemessen wurde und der Grundwasserspiegel wahrscheinlich noch nicht eingespiegelt war. Bei den anderen Messungen wurden Grundwasserstände zwischen 1,29 m und 2,17 m unter Messbasis, d. h. bei +196,91 m NN und +196,03 m NN gemessen. Die maximale beobachtete Grundwasserschwankung in B 5 beträgt 0,88 m.

Ca. 120 m südwestlich (talabwärts) von B 5 wurde die Grundwassermessstelle B 6 gebohrt. Die in B 6 gemessenen Wasserstände lagen im Beobachtungszeitraum zwischen 1,54 m und 1,98 m (ab OK Messbasis), d. h. zwischen +193,56 m NN und +193,12 m NN. Die maximale beobachtete Grundwasserschwankung in B 6 beträgt 0,44 m.

Die Grundwassermessstelle B 7 wurde ca. 70 m südwestlich (talabwärts) von B 6 erstellt. Die hier gemessenen Grundwasserstände liegen zwischen 2,24 m und 2,56 m (ab OK Messbasis), d. h. zwischen +191,22 m NN und +190,90 m NN. Die maximale beobachtete Schwankung des Grundwasserspiegels in B 7 beträgt 0,32 m.

Die Grundwassermessstelle B 8 liegt am südwestlichen Ende des Untersuchungsgebiets. Die hier gemessenen Grundwasserstände liegen zwischen 2,88 m und 3,71 m (ab OK Messbasis). Dies entspricht Wasserständen zwischen +185,44 m NN und +184,61 m NN. Die maximale beobachtete Grundwasserschwankung in B 8 beträgt 0,83 m.

Die Ergebnisse der Pegelmessungen im Untersuchungsgebiet „Nettestraße“ sind in Tabelle 28 zusammengefasst.

Tabelle 28 Auswertung der Pegelmessungen („Nettestraße“)

GWM	GOK [m NN]	Art der Mess- basis	OK Mess- basis	Endtiefe [m NN]	GW _{min} [m NN] Datum	GW _{max} [m NN] Datum	Differenz GW _{min} / GW _{max} [m]	Flurabstand GW _{min} / GW _{max} [m]
B 4	200,55	Seba	200,41	197,35	197,45 14.07.05	197,60 28.03.06	0,15	3,10 / 2,95
B 5	198,34	Seba	198,20	195,74	196,03 18.07.06	196,91 16.09.05	0,88	2,31 / 1,43
B 6	195,28	Seba	195,10	193,55	193,12 18.07.06	193,56 03.08.05	0,44	2,16 / 1,72
B 7	193,63	Seba	193,46	191,07	190,90 17.11.05	191,22 16.09.05	0,32	2,73 / 2,41
B 8	188,22	Seba	188,32	184,64	184,61 04.10.05	185,44 28.03.06	0,83	3,61 / 2,78

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Grundwasserspiegel im Beobachtungszeitraum (witterungsbedingt) nur im Dezimeterbereich schwankt.

In den Messstellen B 4, B 7 und B 8, die nicht unmittelbar neben der Nette bzw. nicht in der Talrinne gebohrt wurden, liegt der Grundwasserflurabstand bei mehr als 2 m. In den Grundwassermessstellen, die annähernd in der Talrinne gebohrt wurden (Messstellen B 5 und B 6), liegt der Grundwasserflurabstand bei ca. 1,3 m - 2,0 m. Da in dem gesamten Beobachtungszeitraum keine extremen oder sehr langanhaltenden Regenfälle beobachtet wurden, ist davon auszugehen, dass der höchste zu erwartende Grundwasserspiegel nicht gemessen wurde. Es sollte daher für den höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegel (Bemessungsgrundwasserstand nach DIN 18195-1 [183], d.h. der höchste nach Möglichkeit aus langjähriger Beobachtung ermittelte Grundwasserwasserstand) ein Sicherheitszuschlag von 0,5 m angenommen werden.

Die Konstruktion von Grundwassergleichen ist aufgrund der Lage der Messstellen zueinander nur unzureichend möglich und daher für die Beurteilung der Grundwasserfließrichtung nicht aussagekräftig. Es ist aber davon auszugehen, dass das Grundwasser hier entsprechend der Topographie bzw. der Felsoberfläche nach S, d. h. in Richtung Lennetal, abfließt.

Die Grundwasseroberfläche ist nicht eben, sondern, aufgrund der sehr unterschiedlichen Verlehmung im oberen Teil der Bachschotter, unregelmäßig, z. T. wellig. Der hydraulische Gradient folgt weitgehend der Topographie bzw. dem Verlauf des Bachbetts. Im Bereich stärker verlehmt Zonen weicht lokal die Fließrichtung des

Grundwassers von der allgemeinen Fließrichtung ab bzw. erhöht sich der hydraulische Gradient. Aus den Grundwasserstandsmessungen in B 4 - B 8 lassen sich keine nennenswerten Änderungen des hydraulischen Gradienten ableiten, so dass davon auszugehen ist, dass im Untersuchungsgebiet ein relativ gleichmäßiges Einfallen der Grundwasseroberfläche vorhanden ist. Ein Gefälle des Grundwasserspiegels von den Talflanken zum Bach hin ist da vorhanden, wo der Nettebach noch als Vorfluter anzusehen ist.

Die größte grundwassererfüllte Mächtigkeit ist in den Netteschottern ungefähr in der Mitte der Talrinne zu erwarten. Entsprechend der Mächtigkeit der in der Talrinne aufgeschlossenen Netteschotter, die je nach Witterungslage vollständig grundwassererfüllt sein können, dürfte die größte Grundwassermächtigkeit an diesen Stellen auch 3 - 5 m betragen. Sie nimmt entsprechend der Mächtigkeit der Netteschotter zu den Talflanken deutlich ab und läuft an den Rändern des Kerbtals gegen Null aus.

Da die Oberfläche im Nettetal zu einem sehr hohen Teil versiegelt ist, fließt der größte Teil des Regenwassers als Oberflächenabfluss in die Kanalisation oder in die Nette ab. Die Grundwasserneubildungsrate ist daher im Untersuchungsgebiet gering. Lediglich an den Stellen, in denen Regenwasser durch die unbefestigten Oberflächen versickern kann, wird Niederschlagswasser dem Grundwasserhaushalt zugeführt.

Daneben wird die Grundwasserbilanz des Untersuchungsgebietes von dem Grundwasserzustrom von den Talflanken in das unterirdische Einzugsgebiet mitbestimmt.

Über längere Strecken hinweg ist der Nettebach kanalisiert oder das Bachbett ist durch das Ablagern von Feinmaterial und frühere Verschmutzungen streckenweise so abgedichtet, dass der Kontakt zum Grundwasser verloren gegangen ist. Die Situation an den Wehren konnte nicht untersucht werden, da an diesen Stellen nicht ausreichend Sondierungen erstellt werden konnten.

Zur Beurteilung des Grundwassers hinsichtlich der Versinterungs- / Verockerungsneigung bzw. der Betonaggressivität, wurden am 18.07.2006 aus den Grundwassermessstellen B 5, B 7 und B 8 Grundwasserproben entnommen.

Die Grundwasserproben aus B 5 und B 8 sind entsprechend DIN 4030 Teil 1 [184] als nicht betonangreifend einzustufen. Der Gehalt an kalklösender Kohlensäure in der Wasserprobe aus der Grundwassermessstelle B 7 ist sehr hoch und müsste entsprechend der DIN 4030 Teil 1 [184] als sehr stark betonangreifend eingestuft werden. Da sich aber aufgrund der nur geringen Wasserführung in den Pegeln in den Wasserproben ein hoher Feststoffanteil abgesetzt hatte, ist davon auszugehen, dass die Messung der kalklösenden Kohlensäure in B 7 als nicht relevanter Analysewert anzusehen ist. Wenn an dieser Stelle genauere Aussagen zur Betonaggressivität des Grundwassers notwendig sind, müsste die Probenahme in B 7 bei hohen Grundwasserständen wiederholt werden.

In allen Proben wurde die Gesamthärte mit Gehalten zwischen 1,04 (B 7) und 2,14 mmol / l (B 8) bestimmt. Das Grundwasser kann in den Härtebereich sehr weich bis weich eingestuft werden. Die Versinterungsneigung ist nur gering.

Der Gehalt an gelöstem Eisen liegt in den untersuchten Proben zwischen 0,56 mg / l (B 8) und 2,4 mg / l (B 5) und ist damit als gering bis mäßig einzustufen. Anhand von Erfahrungswerten aus dem Brunnenbau kann davon ausgegangen werden, dass die Verockerungsneigung ab einem Eisengehalt > 2 mg / l als problematisch anzusehen ist. Bei den festgestellten Eisengehalten ist daher eine Verockerungsneigung nur in geringem Maße zu berücksichtigen.

„Im Steinwinkel“

Das Untersuchungsgebiet Steinwinkel liegt am Ende eines engen Seitentals der Nette und ist wie das Nettetal als ein enges, V-förmiges Seitental einzustufen, in dem in der Nacheiszeit verlehnte Bachschotter und Auelehme abgelagert wurden. Im Zuge der Bebauung und Industrialisierung im Nettetal wurde das Tal an der N - und W – Seite durch mehrere Meter mächtige Anschüttungen aufgefüllt.

Die Anschüttungen und der Auelehm darunter sind sehr unterschiedlich durchlässig. Entsprechend DIN 18130 [80] ist die Anschüttung als "schwach durchlässig" bis "durchlässig" (k_f - Werte 10^{-8} m / s bis 10^{-4} m / s) und der Auelehm als "schwach durchlässig" (k_f - Werte 10^{-8} m / s bis 10^{-6} m / s) zu beurteilen.

Die unter dem Auelehm angetroffenen Bachschotter sind durchweg verlehmt und als

mäßig wasserdurchlässig, d. h. entsprechend DIN 18130 [80] als "durchlässig" (k_f - Werte 10^{-6} m / s bis 10^{-4} m / s) zu beurteilen.

Staunässe wurde während der Sondierungen lokal an der Basis der Anschüttung und in der Auelehmschicht angetroffen. Sie ist bedingt durch die lokale Versickerung größerer Wassermengen an den Tagen und Wochen vor Durchführung der Sondierungen, an denen es zeitweise stark geregnet hatte. Einzelheiten zum Auftreten der Staunässe sind den Bodenprofilen in Anhang 1 (B 2.10 -2.12) zu entnehmen.

Zusammenhängendes Grundwasser wurde in nahezu allen Sondierungen in den verlehmtten Bachschottern angetroffen. In einigen Sondierungen konnte nach dem Bohren ein Wasserspiegel gemessen werden. Ob es sich hierbei aber um die tatsächlichen, eingespiegelten Grundwasserstände handelt, ist nicht sicher, da die Sondierungen nur kurze Zeit offen blieben.

Die Grundwassermessstelle B 1 liegt am südlichen Ende des Untersuchungsgebiets, westlich von Haus „Im Steinwinkel“ 6a. Der im Beobachtungszeitraum höchste Grundwasserspiegel wurde am 14.07.2005 bei 1,88 m (ab OK Messbasis), d. h. bei +244,67 m NN gemessen. Der niedrigste Grundwasserspiegel wurde am 18.07.2006 bei 2,69 m (ab OK Messbasis), d. h. bei +243,86 m NN gemessen. Daraus ergibt sich eine maximale beobachtete Grundwasserschwankung in B 1 von 0,81 m.

Die Grundwassermessstelle B 2 liegt ca. 45 m nördlich der Grundwassermessstelle B 1, d. h. westlich von Haus „Im Steinwinkel“ 8a. Der höchste Grundwasserstand wurde in B 2 am 14.07.2005 bei 1,51 m (gemessen ab OK Messbasis,) d. h. bei +247,77 m NN, der niedrigste Grundwasserstand am 18.07.2006 bei 1,75 m (gemessen ab OK Messbasis), d. h. bei +247,53 m NN, gemessen. Daraus ergibt sich eine maximale Grundwasserschwankung in B 2 im Beobachtungszeitraum von 0,24 m.

Die Grundwassermessstelle B 3 liegt am nördlichen Ende des Untersuchungsgebiets westlich des Hauses Steinwinkel 10a. Der höchste Grundwasserspiegel wurde am 28.03.2006 bei 1,57 m (ab OK Messbasis), d. h. bei +250,08 m NN, der niedrigste Grundwasserspiegel wurde am 18.07.2006 bei 2,18 m (ab OK Messbasis), d. h. bei +249,47 m NN, gemessen. Die maximale beobachtete Grundwasserschwankung in B 3 beträgt 0,61 m.

Die Ergebnisse der Pegelmessungen im Untersuchungsgebiet Steinwinkel sind in Tabelle 29 zusammengefasst.

Tabelle 29 Auswertung der Pegelmessungen (Steinwinkel)

GWM	GOK [m NN]	Art der Mess- basis	OK Mess- basis	Endtiefe [m NN]	GW_{min} [m NN] Datum	GW_{max} [m NN] Datum	Differenz GW_{min} / GW_{max} [m]	Flurabstand GW_{min} / GW_{max} [m]
B 1	246,67	Seba	246,55	242,49	243,86 18.07.06	244,67 14.07.05	0,81	2,81 / 2,00
B 2	249,37	Seba	249,28	245,20	247,53 18.07.06	247,77 14.07.05	0,24	1,84 / 1,60
B 3	251,74	Seba	251,65	247,63	249,47 18.07.06	250,08 28.03.06	0,61	2,27 / 1,66

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Grundwasserspiegel im Beobachtungszeitraum (witterungsbedingt) nur im Zentimeter- bis Dezimeterbereich schwankt.

Die geringsten Grundwasserflurabstände liegen bei ca. 1,5 - 1,8 m. Da nicht auszuschließen ist, dass der höchste zu erwartende Grundwasserspiegel nicht gemessen wurde, sollte wie im Nettetal für den höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegel (Bemessungsgrundwasserstand nach DIN 18195-1 [183]) auf den höchsten gemessenen Grundwasserstand ein Sicherheitszuschlag von 0,5 m beaufschlagt werden.

Die Konstruktion von Grundwassergleichen ist aufgrund der Lage der Messstellen zueinander nur unzureichend möglich und daher für die Beurteilung der Grundwasserfließrichtung nicht aussagekräftig. Es ist aber davon auszugehen, dass das Grundwasser hier entsprechend der Topographie bzw. der Felsoberfläche in Richtung S, d. h. in Richtung Nettetal, abfließt.

Die Grundwasseroberfläche ist nicht eben, sondern aufgrund der unterschiedlichen Verlehmung und wahrscheinlich auch der unterschiedlichen Lagerungsdichte der Bachschotter unregelmäßig. Der hydraulische Gradient folgt ebenfalls weitgehend der Topographie bzw. dem Verlauf des Bachbetts und es ist ein Gefälle des Grundwasserspiegels von den Talflanken zum Bach hin vorhanden. Aus den Grundwasserstandsmessungen in B 1 - B 3 lässt sich keine nennenswerte Änderung

des hydraulischen Gradienten ableiten, so dass davon auszugehen ist, dass im Untersuchungsgebiet ein relativ gleichmäßiges Einfallen der Grundwasseroberfläche zu erwarten ist.

Die grundwassererfüllte Mächtigkeit ist ähnlich wie im Nettetal entsprechend der Mächtigkeit der Bachablagerungen anzusetzen. Es ist davon auszugehen, dass die größte grundwassererfüllte Mächtigkeit mit 2 - 3 m in der Talrinne zu erwarten ist und die grundwassererfüllte Mächtigkeit zu den Talflanken hin deutlich abnimmt.

Entgegen der Bebauungssituation im Nettetal ist im Untersuchungsgebiet Steinwinkel die Geländeoberfläche nur teilweise versiegelt. Die Flächen in der näheren Umgebung des Untersuchungsgebietes wurden durch Anschüttung z. T. deutlich aufgehöht. Die Anschüttung ist gemäß DIN 18130 [80] als "schwach durchlässig" bis "durchlässig" einzustufen, so dass Niederschlagswässer auf den Freiflächen versickern können und dem Grundwasserhaushalt zugeführt werden. Die Grundwasserneubildungsrate ist hier höher anzusetzen als im Nettetal. Daneben wird die Grundwasserbilanz des Untersuchungsgebietes von dem Grundwasserzustrom von den Talflanken in das unterirdische Einzugsgebiet mitbestimmt.

Da der ursprünglich hier verlaufende Bach verrohrt ist, ist hier – abgesehen von evtl. Undichtigkeiten – kein Kontakt mehr zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser vorhanden.

Zur Beurteilung des Grundwassers hinsichtlich seiner Versinterungs- / Verockerungsneigung bzw. der Betonaggressivität wurden am 18.07.2006 aus den Grundwassermessstellen B 1 und B 3 Grundwasserproben entnommen.

Die Wasserproben aus B 1 und B 3 sind entsprechend der DIN 4030 Teil 1 [184] als nicht betonangreifend einzustufen.

In den beiden Proben wurde die Gesamthärte mit Gehalten zwischen 1,01 mmol / l (B 3) und 1,51 mmol / l (B 1) bestimmt. Das Grundwasser kann in den Härtebereich sehr weich bis weich eingestuft werden. Die Versinterungsneigung ist nur gering.

Der Gehalt an gelöstem Eisen liegt in den zwei untersuchten Proben zwischen 0,88 mg / l (B 3) und 1,9 mg / l (B 1) und ist damit als gering bis mäßig einzustufen. Aus den

beim Untersuchungsgebiet „Nettestraße“ erwähnten Gründen ist bei den hier festgestellten Eisengehalten nur eine geringe Verockerungsneigung zu berücksichtigen.

4.1.3.3 Baugrundverhältnisse

Die Beurteilung der Baugrundverhältnisse richtet sich nach dem jeweiligen Bodenaufbau. In beiden Untersuchungsgebieten sind vier verschiedene Bodenarten (Anschüttung, Auelehm, verlehmt Schotter, verwitterter Fels) im Untergrund vorhanden, deren Bodenkennwerte in Tabelle 30 aufgeführt sind. Bei der Festlegung der Bodenkennwerte wurde auf Literaturangaben und auf örtliche Erfahrungen des Projektpartners Füllung Beratende Geologen GmbH zurückgegriffen. Laborversuche wurden nicht durchgeführt. Für die Beschreibung der Baugrundverhältnisse sind die Angaben jedoch ausreichend genau.

Die Bodenkennwerte für die Anschüttung verstehen sich ohne den angeschütteten Mutterboden und ohne die vorhandenen Oberflächenbefestigungen. Diese Anteile der Anschüttung müssen im Zuge von Baumaßnahmen vollständig ausgebaut und entsprechend ihrer Zusammensetzung wiederverwertet oder entsorgt werden.

Tabelle 30 Bodenkennwerte der maßgeblichen Baugrundsichten

Bodenart	Raumgewicht, erdfeucht [kN / m ³]	Raumgewicht unter Auftrieb [kN / m ³]	Kohäsion [kN / m ²]	Reibungswinkel [°]	Steifeziffer [MN / m ²]
Anschüttung	16 - 20	8 - 9	0 – 10	25 - 30	5 - 15
Auelehm ¹⁾	19	10	10 - 15	27,5	10 - 20
Verlehmt Schotter	20	10	0 - 5	30 - 40	60 - 80
verwitterter Fels	23	12	20 ²⁾	40	100 ³⁾

1) bei mindestens steifer Konsistenz

2) auf den Schichtflächen

3) im mäßig verw. Fels sind wesentlich höhere Werte (1.000 MN / m² und mehr) möglich

Bei der Ausschreibung von Baumaßnahmen wird überwiegend auf die Klassifizierung der Böden nach der DIN 18 300 [185] zurückgegriffen.

Unter Berücksichtigung dieser Norm ist die Anschüttung in die Bodenklassen 3 (nichtbindige Böden) und 4 (bindige Böden) einzuordnen. Mengenmäßig untergeordnet kann außerdem die Bodenklasse 5 (Steine mit mehr als 30% Gewichtsanteil) auftreten. Der Auelehm gehört in die Bodenklasse 4, bei vollständiger Wassersättigung, d.h. bei breiiger Konsistenz, auch in die Bodenklasse 2. Die verlehmtten Schotter gehören ebenfalls, je nach Lehmanteil, in die Bodenklassen 3 und 4 nach DIN 18 300 [185]. Der verwitterte Fels ist in die Bodenklasse 6 und mit zunehmender Tiefe auch in die Bodenklasse 7 (Fels im festen Verband) zu stellen. Die Grenzziehung zwischen den Bodenklassen 6 und 7 ist problematisch und führt immer wieder zu Auseinandersetzungen zwischen den Vertragspartnern, weil oft schweres Gerät (Reißzahn, Felsmeißel o. ä.) eingesetzt werden muss, diese Leistungen aber bei konsequenter Auslegung der DIN 18 300 [185] nicht anrechenbar sind.

Bei Kanalbaumaßnahmen ist außerdem die Ausbildung der Böschungen als wesentlicher Kostenfaktor zu berücksichtigen. Generell gilt hierfür die DIN 4124 [93]. Darin wird festgelegt, dass Gräben bis 1,25 m Tiefe ohne Sicherung, bei Einhaltung bestimmter Randbedingungen, senkrecht ausgeschachtet werden dürfen. Für tiefere Baugruben werden die zulässigen Böschungswinkel je nach vorhandener Bodenart festgelegt. Wird von diesen Vorgaben abgewichen, muss der Graben gesichert oder der rechnerische Nachweis der Standsicherheit geführt werden.

Die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Böden dürfen unter 45° (sandige Anschüttung, Schotter), 60° (bindige Anschüttung, Auelehm) und 80° (verwitterter Fels) geböscht werden.

In der Praxis werden tiefe Kanalgräben nicht frei geböscht, sondern mit unterschiedlichen Verbauarten gesichert. Dies können Verbauwerke sein, die dem Aushub vorausseilen (z. B. Spundwände) oder Verbaulemente, die in den vorgeschachteten Leitungsgaben eingestellt werden. Die Wahl der Verbauart richtet sich nach den im Untergrund vorhandenen Böden. So muss z. B. für das Einstellverfahren der Boden eine ausreichende vorübergehende Standsicherheit besitzen. Dies ist im untersuchten Gebiet nur für den Auelehm und den verwitterten Fels der Fall. Wobei die Standfestigkeit des verwitterten Fels wesentlich von dessen Trennflächeninventar abhängt. Bei einem ungünstigen Einfallen der Schichten kann auch der Fels instabil werden. Die Anschüttung und die verlehmtten Schotter neigen beim Aushub zum

Nachbrechen, d. h. es entstehen keine glatten Böschungen, sondern unruhige Oberflächen. Diese unregelmäßig ausbrechenden Böschungen müssen durch den Verbau abgestützt und nach dem Ziehen des Verbaus wieder kraftschlüssig verfüllt werden. Problematisch können diese Nachbrüche dann werden, wenn zusätzlich zu den wenig standsicheren Bodenarten auch noch Schichtwasserlinsen oder das Grundwasser angeschnitten werden. Dann kann es zu einem plötzlichen Versagen / Rutschen der Böschungen kommen.

Bei der Planung der Kanäle ist außerdem die Tragfähigkeit des Untergrunds zu berücksichtigen, d. h. wie verhält sich der Boden bei der Aufbringung von Lasten unterschiedlichster Art. Die Anschüttung ist aufgrund ihrer örtlich stark wechselnden Zusammensetzung als tragfähiger Baugrund am wenigsten geeignet. Falls der vollständige Austausch unter dem Kanalrohr oder den Schachtbauwerken nicht möglich oder nicht gewünscht ist, müssen die möglichen Setzungen und Setzungsdifferenzen durch Bodenaustausch minimiert werden. Dabei müssen die Art und Dicke des Bodenaustauschs sowie der Verdichtungsgrad entsprechend den Anforderungen an das Tragverhalten der Bettung festgelegt werden.

Der Auelehm ist nur im erdfeuchten Zustand als Tragschicht geeignet. Im Zusammenspiel mit Wasser weicht dieser Boden rasch auf und lässt sich nicht mehr verdichten. Falls sich dieser Boden nicht vor dem Zutritt von Wasser schützen lässt, gelten die für die Anschüttung gemachten Angaben sinngemäß. Zusätzlich zum Austausch kann der Auelehm auch durch das Zumischen von Kalk oder das Eindrücken von Grobschlag stabilisiert werden. Allerdings lassen sich diese Maßnahmen im Kanalbau nur schwer umsetzen und kontrollieren. Die verlehmteten Schotter und der verwitterte Fels sind unter dem Gesichtspunkt der Tragfähigkeit unproblematisch.

Das Setzungsverhalten der verschiedenen Böden korrespondiert mit dem Tragverhalten. Generell reagieren die Anschüttung und der Auelehm je nach Größe der Lastaufbringung mit starken bis sehr starken Setzungen. Die bindige Anschüttung und der Auelehm reagieren jedoch oft erst nach mehreren Jahren mit Setzungen. Auch hier übt das Wasser einen entscheidenden Einfluss aus, weil sich bei Wasserentzug die Setzungen verstärken. Generell wird man bei jedem Bauwerk versuchen, die Gründung in einer Bodenart durchzuführen, um ein einheitliches Trag- / Setzungsverhalten zu erreichen. Dies ist bei einer Kanalbaumaßnahme nur sehr begrenzt möglich, weil hier

andere Zwangspunkte (z. B. das Gefälle oder vorhandene Anschlusshöhen) maßgeblich sind. Hier bleibt dann oft nur die Möglichkeit, den Untergrund dem Bauwerk anzupassen. Dies gilt insbesondere für die Übergangsbereiche, in denen die Kanaltrasse von einer Bodenart in die nächste wechselt.

Das Grundwasser wird nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen erst in den verlehnten Schottern erreicht, d. h. erst bei einer in entsprechender Tiefe verlaufenden Kanaltrasse wird eine Wasserhaltung erforderlich. Diese kann in Form einer „offenen Wasserhaltung“ durchgeführt werden. Dafür sind bestimmte Voraussetzungen erforderlich. So muss u. a. eine wasserrechtliche Genehmigung und eine Einleitgenehmigung für den Betrieb vorhanden sein. Während des Betriebs dürfen keine oder nur sehr geringe Anteile an Feinbestandteilen abgepumpt werden, d. h. das abgepumpte Wasser muss weitgehend klar sein. Durch das dauernde Abpumpen von Feinbestandteilen können deutliche Setzungen an der angrenzenden Bebauung auftreten. Um möglichen Regressforderungen vorzubeugen, müssen vor Baubeginn entsprechende Beweissicherungen durchgeführt werden.

4.1.3.4 Hydrologische Verhältnisse, Wasserwirtschaft

Hydrologischer Überblick

Größtes Oberflächengewässer in unmittelbarer Umgebung der Untersuchungsgebiete ist die Lenne (Gewässer 2. Ordnung), die in einem Bogen rund 270 m südlich der „Nettestraße“ vorbeifließt.

Während es in den 70er Jahren in Altena zu keinem bedeutenden Hochwasserereignis an der Lenne kam, wurden in den 80er / 90er Jahren mehrere Hochwasserereignisse ($HQ > 300 \text{ m}^3 / \text{s}$) registriert. Hierbei handelte es sich fast ausschließlich um Winterereignisse infolge der Jahresperiodik des Auftretens typischer Großwetterlagen sowie einer Veränderung des Abflussverhaltens bei gefrorenem Boden bzw. Vorhandensein einer Schneedecke. So handelte es sich bei den Winterereignissen der 80er und 90er Jahre um langanhaltende hohe Niederschläge der Großwetterlage "Westlage zyklonal". Die meist stabilen zyklonalen Wetterlagen führen im Einzugsgebiet der Lenne zu sehr lange andauernden Hochwasserereignissen (mehrere Tage bis

Wochen). Sommerhochwässer entstehen im Einzugsgebiet der Lenne in der Regel bei der Großwetterlage Tief - Mitteleuropa [186].

Nördlich des Schlossberges fließt der Lenne der Nettebach, welcher die beiden Untersuchungsgebiete tangiert bzw. quert, von Osten zu. Abflussdaten liegen für den Nettebach nicht vor, doch dürften die Abflussganglinien in ihrer Charakteristik denen der Lenne vergleichbar sein.

Aus den im Abschnitt 4.1.3.2 beschriebenen Gründen fließen große Anteile des Niederschlages den Oberflächengewässern direkt zu. Bereits mittlere Regen können daher zu Hochwasser führen.

Da das Wasserdargebot in den Lockergesteinen größer ist als die Trennfugenkapazität des unterlagernden Festgesteins, tritt überschüssiges Wasser meist über Hangschuttquellen aus. In niederschlagsarmen Zeiten wird jedoch aufgrund der Undurchlässigkeit des Bodens die Bildung eines ausreichenden Grundwasservorrats zur Speisung der Quellen verhindert.

Die Untersuchungsgebiete liegen außerhalb von Wasserschutzgebieten.

„Nettestraße“

Lokale- bzw. oberirdische Wasserscheiden sind im Nordwesten am Giershager Berg bzw. – ausgeprägt - im Süden zwischen dem Schwarzenstein und Zweifelmüt vorhanden. Sie grenzen Bereiche, von denen dem zu betrachtenden Kanalisationssystem Oberflächenwasser direkt zufließen kann, ab (oberirdisches Einzugsgebiet). Die weitere Abgrenzung des Untersuchungsgebietes zeigt Bild 90.

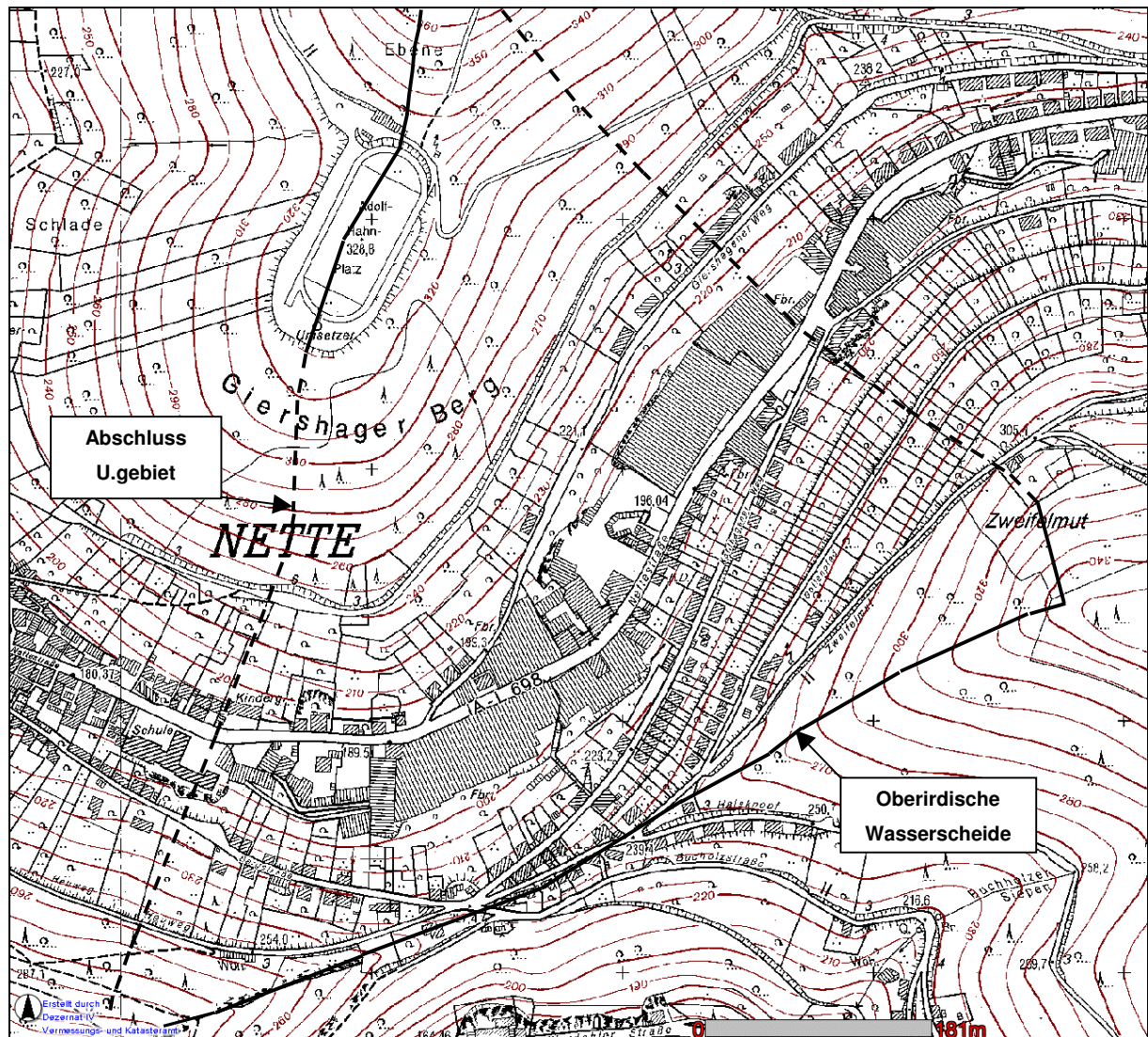


Bild 90 Auszug [ca. 1 : 5.000] aus der Deutschen Grundkarte 1:5.000, ergänzt um die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes „Nettestraße“

Dem Untersuchungsgebiet fließt von Nordosten der Nettebach zu. Der unter der „Nettestraße“ verlaufende Nettebach ist durchgehend gefasst (im Wesentlichen mit Bruchsteinmauern) und zum größten Teil überbaut. Er dürfte bereichsweise verlegt worden sein. Im Untersuchungsgebiet befanden sich früher mindestens zwei, evtl. drei Stauwehre für Wasserkraftanlagen. Mindestens zwei dieser Wehre sind noch erhalten. Sie beeinflussen die Grundwasserverhältnisse lokal. Nähere Angaben zu den Abflussverhältnissen des Nettebaches liegen nicht vor. Innerhalb des Untersuchungsgebietes findet sich als weiteres Oberflächengewässer lediglich ein temporär wasserführender Graben östlich der Schule / südlich des Nettebaches. Er mündet unmittelbar nördlich der Schule in den Nettebach.

Rd. 175 m nordöstlich des Untersuchungsgebietes entspringt auf rd. 285 m ü. NN eine Quelle, der zugehörige Bachlauf entwässert nach Südosten zum Nettebach. Wasserwirtschaftliche Nutzungen sind im Untersuchungsgebiet nicht bekannt.

„Im Steinwinkel“

Lokale oberirdische Wasserscheiden sind im Westen am Hang des südlichen Ausläufers des Rüssenberges, im Osten am Hang des Lilien Hagen ausgebildet. Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes zeigt Bild 91.

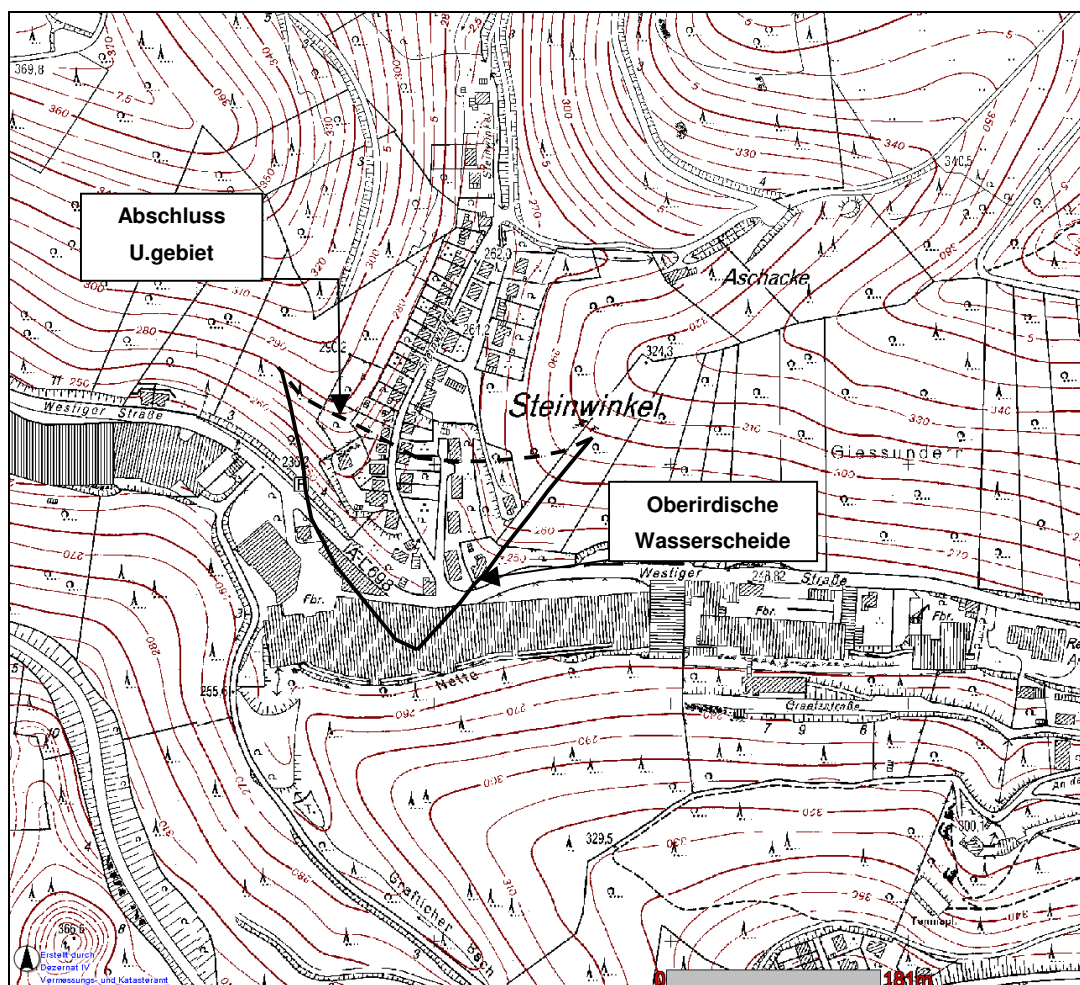


Bild 91 Auszug [ca. 1 : 5.000] aus der Deutschen Grundkarte 1 : 5.000, ergänzt um die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes Steinwinkel

Dem Untersuchungsgebiet fließt von Norden der Steinwinkler Bach zu, der nördlich des Löttringsen entspringt und von einer Vielzahl weiterer Bäche und Siepen gespeist wird. Er ist ab dem nördlichen Ortsende überbaut / verrohrt und mündet in den Nettebach.

Der Nettebach verläuft 80 m südlich des Untersuchungsgebietes. Er ist durchgehend gefasst und im näheren Umfeld des Untersuchungsgebietes zum größten Teil unverbaut. Er dürfte bereichsweise verlegt worden sein. Dem Nettebach fließt von Südosten der Grafticher Bach zu. Nähere Angaben zu den Abflussverhältnissen der vorgenannten Gewässer liegen nicht vor.

Das Quellniveau der Bäche und Siepen liegt vorwiegend zwischen rd. 410 m ü. NN und rd. 445 m ü. NN, nur selten bei rd. 320 m ü. NN bis 350 m ü. NN. Die Quelle des Steinwinkler Baches wird wasserwirtschaftlich genutzt. Innerhalb des Untersuchungsgebietes i.e.S. sind keine Quellen vorhanden.

4.1.4 Vorhandene Kellersohlentiefe

Im Rahmen einer Ortsbesichtigung am 5.03.07 wurden die Kellersohlen von Gebäuden am „Im Steinwinkel“ und an der „Nettestraße“ stichpunktartig eingemessen. Dabei schwankten sie hauptsächlich zwischen 1,80 m und 2,20 m. Darüber hinaus wurden auch Gebäude vorgefunden, die nicht unterkellert sind oder auch Kellertiefen aufweisen, welche ca. 0,5 m unterhalb der Straßenoberfläche lagen. Des Weiteren wurden bei der Ortsbesichtigung ehemalige Vernässungsschäden bzw. Durchfeuchtungen (z.B. Steinwinkel 8 a und 10 a) entdeckt, die bereits saniert wurden (s. Bild 92, vgl. Anhang 3).

Eine Ursache für die Gebäudvernässungen könnte an den mit Feststoffen zugesetzten Dränleitungen liegen. Der relativ dichte Auelehm bis ca. 1,0 m wirkt wie eine unterirdische versiegelte Fläche, auf der das Schichten- und Grundwasser talwärts strömt, sich vor den Kellerwänden staut und von den zugesetzten Dränleitungen nicht aufgenommen und abgeführt werden kann.



Bild 92 Sanierte Bauwerksschäden infolge des Schichten- und Grundwassers (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Bislang wurde in der Stadt Altena keine differenzierte Betrachtung der auftretenden Schäden in Abhängigkeit des Gebäudealters und Fremdwasseraufkommens vorgenommen. Nach [187] wurden folgende Erkenntnisse über das Gebäudealter im Hinblick auf den Fremdwasseranfall festgestellt, welche für den vorliegenden Anwendungsfall übertragbar sind.

- Die Altbebauung im Ortskern trägt nicht wesentlich zu den Fremdwasserabflüssen bei. Die Gründungssohlen dieser Häuser liegen über dem Grund- bzw. Stauwasserhorizont.
- Die Neubaugebiete tragen ebenfalls nicht wesentlich zu den Fremdwasserabflüssen bei; Drainageabflüsse wurden hier vereinzelt festgestellt und nach Aufforderung kurzfristig beseitigt.
- Die größte Anzahl von Drainageabflüssen konnte in den ca. 20 bis 40 Jahre alten Baugebieten festgestellt werden. Diese Wohnbebauungen verfügen bis auf wenige Ausnahmen über Keller, deren Gründungssohlen unterhalb des Grund- bzw. Stauwasserspiegels liegen und daher über Dränleitungen „trocken gehalten“ werden.

4.2 Entwässerungssituation der Stadt Altena

Die zu entwässernde Fläche der Stadt Altena umfasst rd. 285 ha. Insgesamt fallen in Altena i.M. 40 l/s Schmutzwasser an. Es setzt sich aus häuslichen Schmutzwasser von rd. 21.200 Einwohnern (Stand: Januar 2008 [17]) und industriellen

Schmutzwässern zusammen. Die tägliche Abwassermenge beträgt ca. 3.200 m³. Das Kanalnetz mit einer Gesamtlänge von rd. 117 km ist hauptsächlich (85%) als Mischsystem ausgeführt. Die Abwässer werden zur Kläranlage Altena - Praggpaul abgeleitet [188].

4.2.1 Vorhandenes Kanalnetz in den Untersuchungsgebieten

Als Grundlage für die Beschreibung des vorhandenen Kanalnetzes standen Auszüge aus dem Kanalkataster [189] des Abwasserwerkes der Stadt Altena zur Verfügung. Fehlende Angaben zu Haltungslängen oder zu Gefällen wurden mittels Grafikprogrammen ermittelt bzw. errechnet.

Das zu untersuchende Kanalnetz gliedert sich in die Straße „Im Steinwinkel“ und in die „Nettestraße“. Umfangreichere Sanierungsmaßnahmen durch Erneuerung des Kanalnetzes mit besonderer Bedeutung für den Haus- / Grundwasserschutz sollen in Altena voraussichtlich ab 2011 in einem Mischgebiet (Häuser 59 bzw. 60 bis 125 bzw. 130) an der „Nettestraße“ im Ortsteil Innenstadt bzw. in einem rd. 1,3 km weiter östlich gelegenen Mischgebiet (Häuser 1 bzw. 2 bis 11 bzw. 12 und Häuser 2a bis 10a) an der Straße „Im Steinwinkel“, welches ebenfalls noch dem Stadtteil Innenstadt zuzurechnen ist, durchgeführt werden. Diese Gebiete sind im in Überarbeitung befindlichen Abwasserbeseitigungskonzept der Stadt Altena zur Erneuerung in der 2. Zeitstufe vorgesehen. Sie bestehen aus Liegenschaften / Grundstücken mit ca. 53 Gebäuden (überwiegend Mehrfamilienhäuser und Gewerbebauten, entstanden ab ca. 1900) in der „Nettestraße“ bzw. 23 Gebäuden (Mehrfamilienhäuser, erbaut ab etwa 1930 im Westteil- bzw. ab etwa 1960 im Ostteil des Untersuchungsgebietes) „Im Steinwinkel“ und in der „Westiger Straße“. Sie wurden als Untersuchungsgebiete ausgewählt, weil

- vorhandene Oberflächengewässer – der Nettebach bzw. der Steinwinkler Bach – in unmittelbarer Nähe verlaufen,
- die vorhandenen Abwasserkanäle in Tallage verlegt sind, so dass mit einem größeren Andrang an zulaufendem Schichten- und Grundwasser zu rechnen ist,
- die Entwässerungssysteme gemäß Abwasserbeseitigungskonzept der Stadt Altena für die baldige Erneuerung vorgesehen sind.

Die entsprechenden Eckdaten des Untersuchungsgebietes sind in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31 Allgemeine Daten des Untersuchungsgebietes

Gebiet	A _{EK} [ha]	A _U [ha]	Ein- wohner [–]	L _{gesamt} [m]	L _{Misch} [m]	L _{Schmutz} [m]	L _{Regen} [m]
„Nettestraße“	3,1802 (MK ⁸) 0,8552 (RK ⁹)	2,8622 (MK) 0,7697 (RK)	308	1108,51	869,58	0	238,93
„Im Steinwinkel“	2,2951 (MK)	2,0656	103	290,17	290,17	0	0
Gesamt	6,3305	5,6975	411	1398,68	1159,75	0	238,93

Insgesamt wurden 43 Haltungen mit einer Gesamtlänge von ca. 1,4 km innerhalb des Kanalnetzes der Stadt Altena untersucht. Hierbei handelte es sich überwiegend um ein Mischsystem (s. Bild 93).

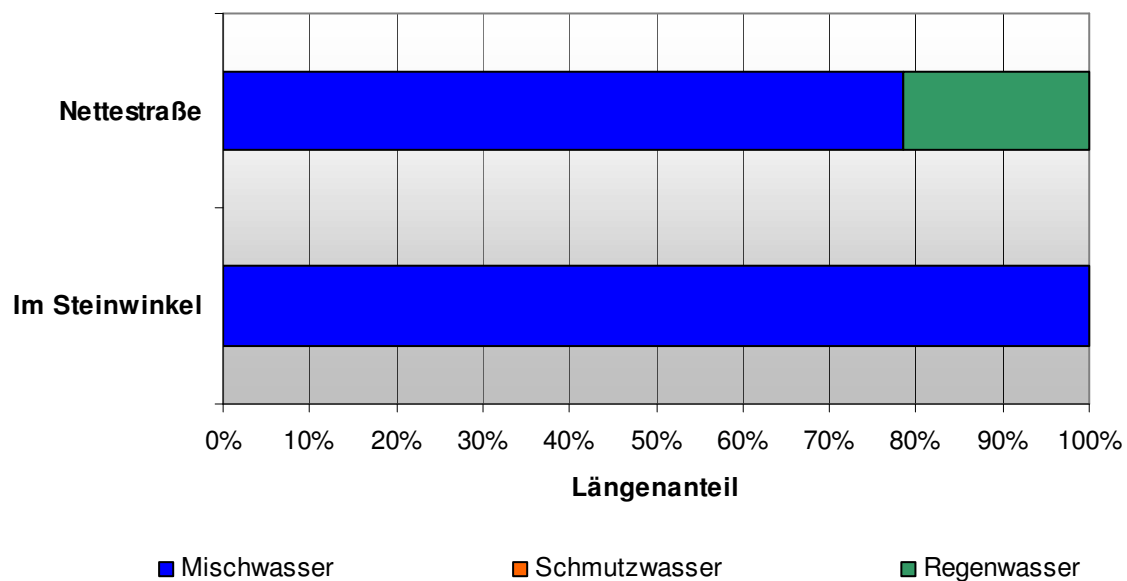


Bild 93 Verteilung der Kanallängen nach Kanalnutzung

⁸ Mischwasserkanal

⁹ Regenwasserkanal

Die Verteilung der Netzlängen des Untersuchungsgebietes „Im Steinwinkel“ und „Nettestraße“ nach dem Jahr ihrer Erstellung (Baujahr) ist im Bild 94 zu sehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Kanäle in „Im Steinwinkel“ in zwei Bauphasen und die Kanäle in der „Nettestraße“ in drei Bauphasen erstellt wurden. Dabei sind die Kanäle im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“ jünger als die Kanäle in der „Nettestraße“.

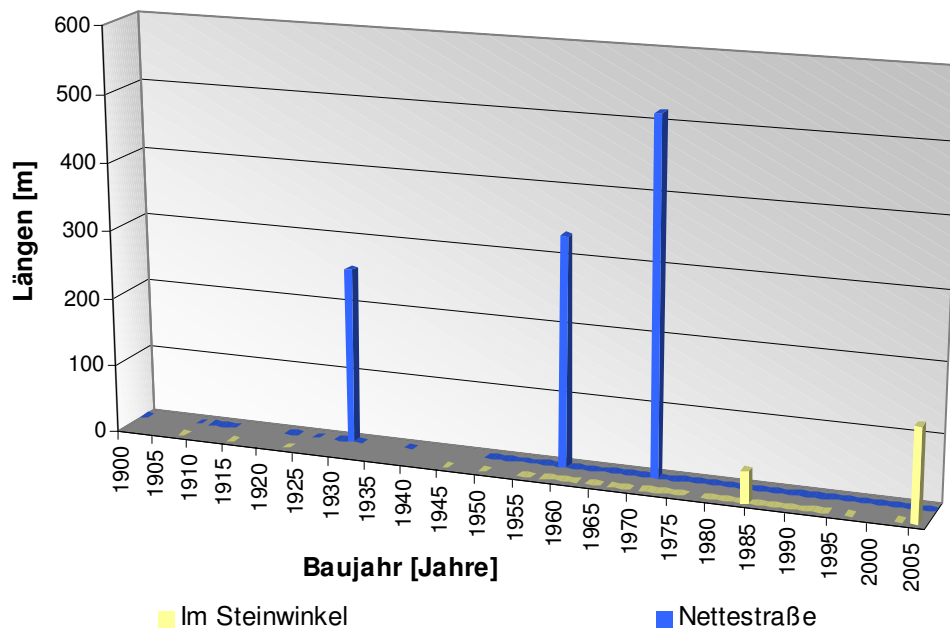


Bild 94 Verteilung der Kanallängen nach Baujahr

Bild 95 zeigt die Verteilung der Nennweiten der untersuchten Kanäle. Die dominierende Nennweite ist im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“ DN 300 mit einem Längenanteil von ca. 50% und in der „Nettestraße“ DN 600 mit einem Längenanteil von ca. 42%. Als Profilart wurden im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“ ausschließlich Kreisprofile eingesetzt, wohingegen in der „Nettestraße“ auch Eiprofile verwendet wurden (s. Bild 96).

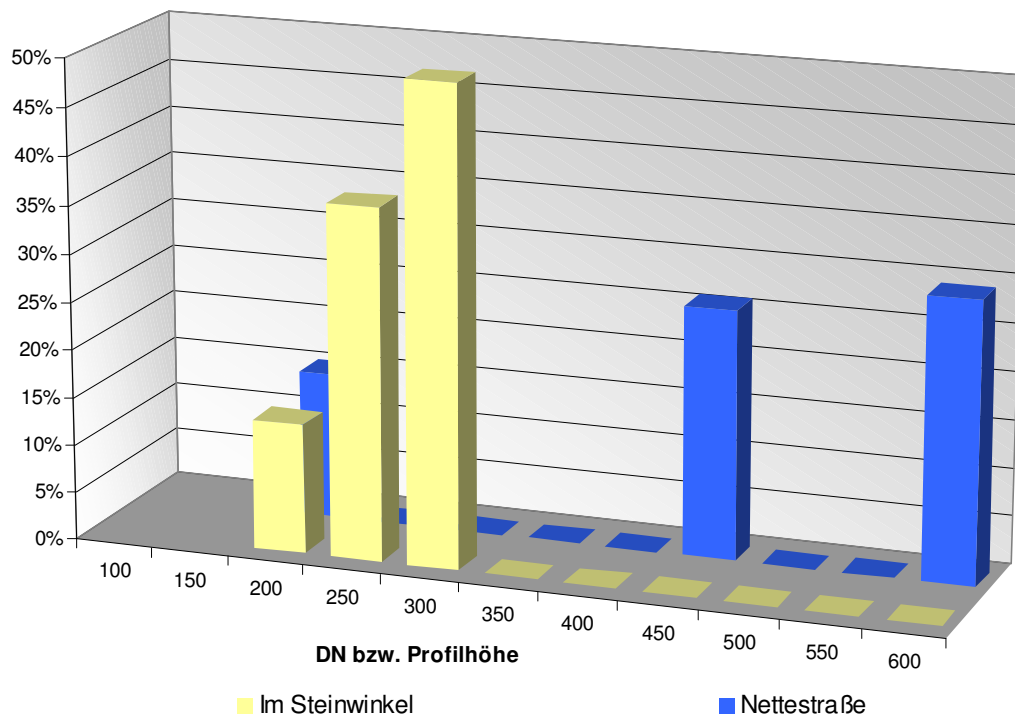


Bild 95 Verteilung der Nennweiten in den untersuchten Leitungen

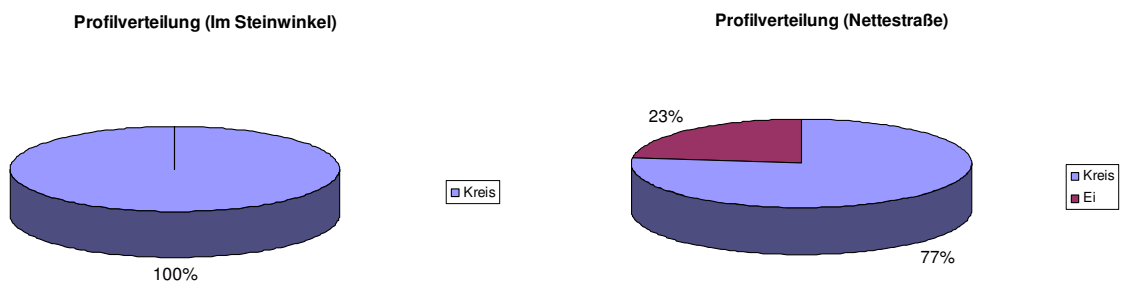


Bild 96 Profilverteilung

Bei den untersuchten Haltungen ist Steinzeug mit einem Anteil von ca. 927 m der am häufigsten verwendete Rohrwerkstoff (s. Bild 97). Als zweite Werkstoffgruppe sind die Kunststoffleitungen mit über ca. 216 m zu nennen, die in den letzten Jahren vorwiegend im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“ bei Erneuerungs- und Sanierungsmaßnahmen eingesetzt wurden. Stahlbetonkanäle weisen eine Kanallänge von ca. 257 m auf, die ausschließlich in Eiprofilen gebaut wurden.

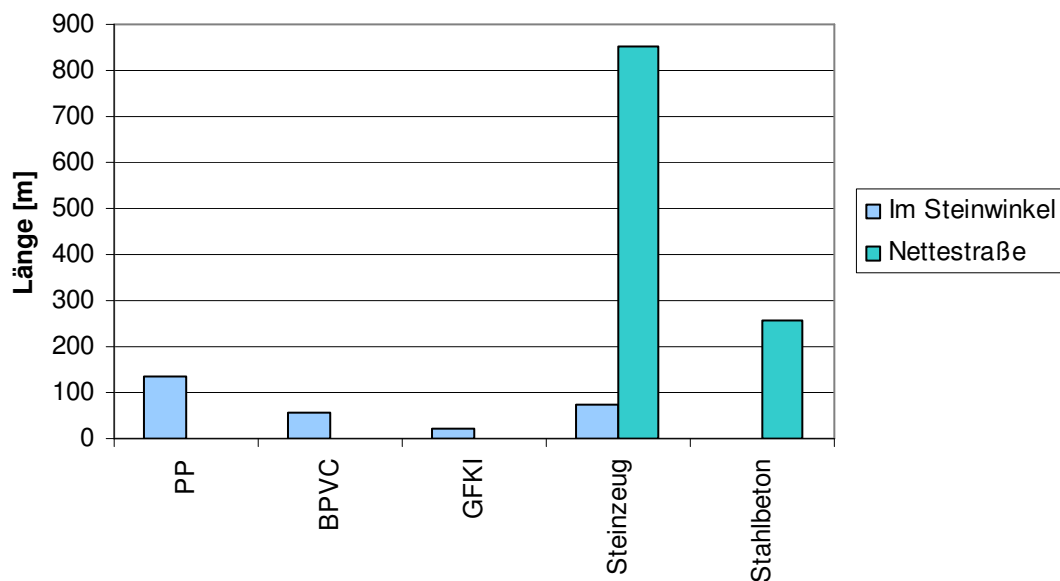


Bild 97 Verteilung der Rohrwerkstoffe in den untersuchten Leitungen

4.2.1.1 Vorhandenes Kanalnetz „Im Steinwinkel“

Das zu sanierende Mischsystem folgt dem Relief zum Nettebachtal hin. Es ist gegliedert in einen westlichen Teil (Schacht Nr. 30100020 bis Schacht Nr. 30110010) und in einen östlichen Teil (Schacht Nr. 30060010 bis Schacht Nr. 30070010). Die beiden unteren Endschächte sind Bestandteil des Mischsystems in der „Westiger Straße“.

Die wesentlichen Angaben zum Kanalnetz sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

Tabelle 32 Wesentliche Angaben zum Kanalnetz im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“

Gebiet	Lage	Einwohner	Fläche A _{EK} [ha]	Kanalart	DN / ID [mm]	Werkstoff	Länge [m]
„Im Stein- winkel“	Östlicher Teil	51	0,1992	MW	200 - 250	PVC Steinzeug	124,66
	Westlicher Teil	48	0,3449	MW	300	PP GFK Steinzeug	165,51
	Gesamt	99	0,5441				290,17

4.2.1.2 Vorhandenes Kanalnetz „Nettestraße“

Das zu sanierende Kanalnetz in der „Nettestraße“ folgt entsprechend den Gegebenheiten des Reliefs auf voller Länge dem Nettebachtal. Es gliedert sich in ein Mischsystem mit zwei Kanälen (Schacht Nr. 30270010 bzw. Schacht Nr. 30290010 bis Schacht Nr. 30320060) und einen zusätzlichen Regenwasserkanal, der im unteren Bereich entwässert (Regenwasserkanal Schacht Nr. 30300042 bis Auslass in die Nette).

Die wesentlichen Angaben zum Kanalnetz sind in Tabelle 33 zusammengestellt.

Tabelle 33 Wesentliche Angaben zum Kanalnetz im Untersuchungsgebiet „Nettestraße“

Gebiet	Einwohner	Fläche A _{EK} [ha]	Kanalart	DN / ID [mm]	Werkstoff	Länge [m]
„Nettestraße“	308	3,1802	MK	250 -600	Steinzeug	869,58
		0,8552	RK		Stahlbeton	238,93
Gesamt	308	4,0354				1108,51

Dem Schacht Nr. 30270010 läuft von Nordosten die Fortsetzung des Mischwasserkanals in der Westiger Straße (DN / ID 450 Steinzeug) zu. Ebenfalls an diesen Schacht – über eine zulaufende Haltung DN/ID 300 Steinzeug - angeschlossen sind Nebensammler, welche die östlich gelegenen bebauten Hänge im Mischsystem (Kohlhagener Weg bzw. Schreck) entwässern. Der Regenwasserkanal am Schreck (DN / ID 300 Steinzeug) schlägt sein Wasser innerhalb des Untersuchungsgebietes westlich der „Nettestraße“ über einen Auslass in den Nettebach ab.

Dem Mischwasserkanal läuft an Schacht 30320010 der Mischwassernebensammler (DN / ID 300 GFK), welcher die Stränge des Trennsystems der nördlich gelegenen bebauten Hänge (Giershager Weg) zusammenführt, zu. Der Mischwasserkanal wird als Kanal DN / ID 600 Steinzeug in der „Nettestraße“ fortgeführt. Der Regenwasserkanal in der „Nettestraße“ schlägt sein Wasser südlich der „Nettestraße“ über einen Auslass in den Nettebach ab.

4.2.2 Zustand des vorhandenen Kanalnetzes

Die Inspektion hat in der Instandhaltung eine zentrale Bedeutung. Ihre Aufgabe ist die Bereitstellung von Daten und Informationen über den Ist-Zustand und den aktuellen Abnutzungsvorrat der jeweiligen Betrachtungseinheit bzw. Schäden und deren Ursachen frühzeitig zu erkennen, um mit möglichst geringem Aufwand für Wartung und Sanierung ein in allen Teilen funktionstüchtiges Bauwerk in der geplanten Nutzungsdauer zu erhalten. In den nachfolgenden Abschnitten wird ein Überblick über die vorhandenen Inspektionsdaten gegeben und anschließend eine Analyse der Schadensgruppen durchgeführt.

Für die Bearbeitung des Projektes wurden die Zustandsdaten für das Untersuchungsgebiet innerhalb des Kanalnetzes der Stadt Altena in digitaler Form zur Verfügung gestellt. Dabei wurden neben den Daten im Software Programm Kanal ++ auch Inspektionsvideos (MPG File) übergeben.

Alle Daten wurden im Zuge der Auswertung auf Plausibilität, d.h. Widerspruchsfreiheit, überprüft. Fehlende bzw. widersprüchliche Daten wurden identifiziert und korrigiert bzw. ergänzt.

4.2.2.1 Kürzelverwendung in der Schadensklassifizierung

Der Zustand eines Bauwerks wird zum Zeitpunkt der Inspektion durch die Zustandsbeschreibung erfasst. Die Zustandsbeschreibung wird unter Berücksichtigung der Zustandsbewertungssysteme gemäß verschiedener Regelwerke erstellt. Dazu gehören:

- Arbeitshilfen Abwasser (ISYBAU) [190]
- ATV-M 143 Teil 2 [191]
- DIN EN 13508 Teil 2 [192]

Das in den Inspektionsdaten genutzte Zustandsbeschreibungsmodell der Stadt Altena basiert auf den Arbeitshilfen Abwasser (ISYBAU) [190]. Es folgt, wie alle Regelwerke, der Kodierung der Schäden mit Hilfe von Buchstaben bzw. Ziffern. Ein Inspektionstext

kann dabei aus mehreren Kürzelstellen bestehen. In der Regel werden für die Kodierung der Schäden vier Kürzelstellen verwendet.

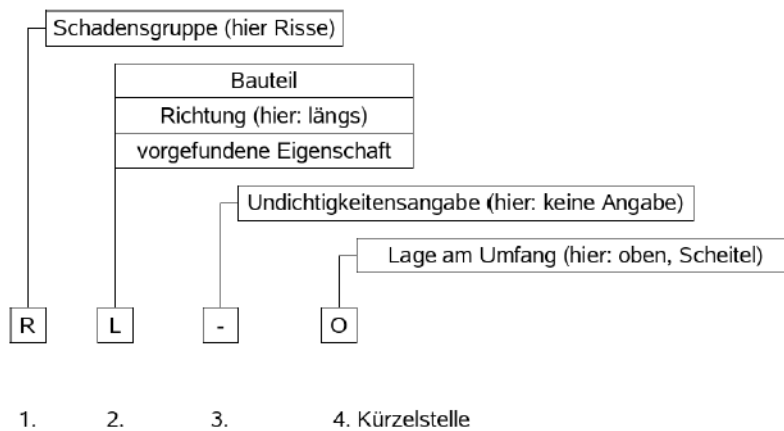


Bild 98 Kürzelverwendung im Zustandsbeschreibungsmodell der Stadt Altena am Beispiel eines Längsrisses im Rohrscheitel (RL-O)

Die 1. Kürzelstelle gibt die Schadensgruppe, die 2. Kürzelstelle die Zustandsausprägung an. An der 3. Kürzelstelle wird in der Regel eine Aussage über die optische Dichtigkeit des Kanalprofils im Schadensbereich gemacht (z.B. Kürzel „F“ für „Feuchtigkeit sichtbar“). Die 4. Kürzelstelle kennzeichnet die Lage des Schadens mit Bezug auf den Rohrumfang (z.B. Kürzel „O“ für Scheitel).

Es müssen nicht alle Stellen belegt sein. Eine freie Stelle wird durch “-“ gekennzeichnet. Als 5. Kürzelstelle kann eine Ziffer zur Bewertung des Zustandes angegeben werden. Die 6. Kürzelstelle spezifiziert einen möglichen Streckenschaden. Hier ist jeweils der Anfang (A) und das Ende (E) eines Streckenschadens anzugeben. An der 7. Stelle ist für Streckenschäden eine lfd. Nummer zu vergeben. Idealerweise werden die Streckenschäden nummeriert (A1, E1, A2, ...), um Überschneidungen deutlich kennzeichnen zu können.

Weiterhin besteht die Möglichkeit mit zwei numerischen Zusätzen Angaben bezüglich des Schadensausmaßes (z. B. Ausbiegung in [cm] oder [% DN]) auszudrücken.

Die Altersverteilung der Kanäle zum Zeitpunkt ihrer Inspektion zeigt Bild 99.

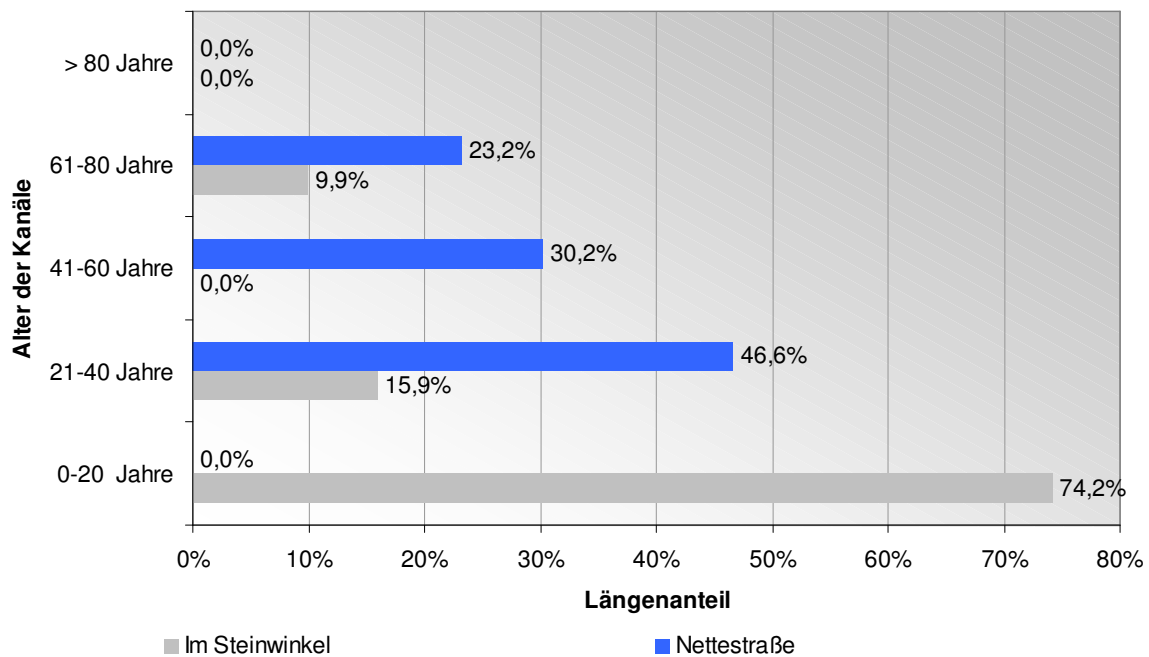


Bild 99 Alter der Kanäle in der „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“ zum Zeitpunkt der Inspektion

Schadensarten und -gruppen

Zur Strukturierung der Datenmenge wurden die Schäden in acht Schadensgruppen gegliedert. In Tabelle 34 sind alle Schadensgruppen und die zugehörigen Schadensarten aufgeführt.

Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass Schäden, die mit Hilfe der optischen Inneninspektion nicht erfasst werden, wie z. B. Außenkorrosion zwangsläufig in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt sind. Im nicht begehbaren Nennweitenbereich ($DN \leq 800$) können zusätzlich nicht sichtbare Undichtigkeiten in Rohrverbindungen und Rohrwandungen vorhanden sein, die mit der indirekten optischen Inneninspektion, d.h. Kanalfernsehen, nicht erfasst werden können.

Tabelle 34 Gruppierung der dokumentierten Schadensarten und zugehörige Schadenskürzel nach Arbeitshilfen
Abwasser

Schadensgruppe	Schadensart	Schadenskürzel (Hauptcode)
Risse	Längsriss	RL
	Querriss	RQ
	Scherbenbildung	RS
	Risse von einem Punkt ausgehend	RX
	Riss im Verbindungsbereich	RC
Korrosion	Innenkorrosion	C-
	Innenkorrosion an der Rohrverbindung	CC
Deformation	Verformung von Rohren	D
Abflusshindernisse	Hindernis, allgemein	H-
	Sedimentation	HD
	einragender Dichtring	HG
	einragendes Hindernis	HE
	verfestigte Ablagerungen	HF
	Inkrustation	HI
	Einragende Scherbe	HS
	Wurzeleinwuchs	HP
Lageabweichung	Ausbiegung	LB
	Axialverschiebung	LL
	horizontaler Versatz	LH
	vertikaler Versatz	LV
Undichtigkeiten	undichte Schacht-/Bauwerksanbindung	UA
	Undichte Rohrverbindung	UC
	Undichte Rohrwandung	UW
Rohrbruch / Rohrausbruch	fehl. Rohrstück im Verbindungsbereich	BC
	Einsturz	BT
	Fehlende Scherbe	BS
	Loch bzw. fehlende Rohrwandungen	BW
Schäden an Seitenzuläufen	Abzweig / Stutzen verstopft	A-D / S-D
	Stutzen einragend	SE
	Stutzen nicht fachgerecht ausgeführt	SN

Schadensgruppe	Schadensart	Schadenskürzel (Hauptcode)
	Stutzen außen vorsitzend	SO
	Riss im Stutzen	SR
	Wurzeleinwuchs durch den Stutzen	SP
	Abzweig / Stutzen verschlossen	AU / SU

Analyse der Schäden

Der Fremdwasseranfall wird neben Hausdränagen und nachträglicher Bachverrohung überwiegend beeinflusst von den auftretenden dichtheitsrelevanten Schäden in den Untersuchungsgebieten. Insbesondere über undichte Rohre oder schadhafte Seitenzuläufe infiltrieren erhöhte Mengen an Grundwasser in den Kanal, die insbesondere die Betriebskosten in der Kläranlage Altena-Pragpaul erhöhen. Daher wurde eine Analyse der Schäden zur Beurteilung der Fremdwasserproblematik im betrachteten Kanalnetz der Stadt Altena vorgenommen.

Einen Überblick über die Häufigkeit bzw. Verteilung der einzelnen Schadensgruppen bei den analysierten Haltungen des Untersuchungsgebietes vermittelt Bild 100. Insgesamt bilden Risse, Schäden an Seitenzuläufen und Undichtigkeiten an der „Nettestraße“ den größten Anteil vorhandener fremdwasserrelevanter Schäden. „Im Steinwinkel“ ist die Schadensanzahl sehr gering. Bei den Aufstellungen im Bild 100 handelt es sich um eine rein numerische Erfassung der Auftretenshäufigkeit.

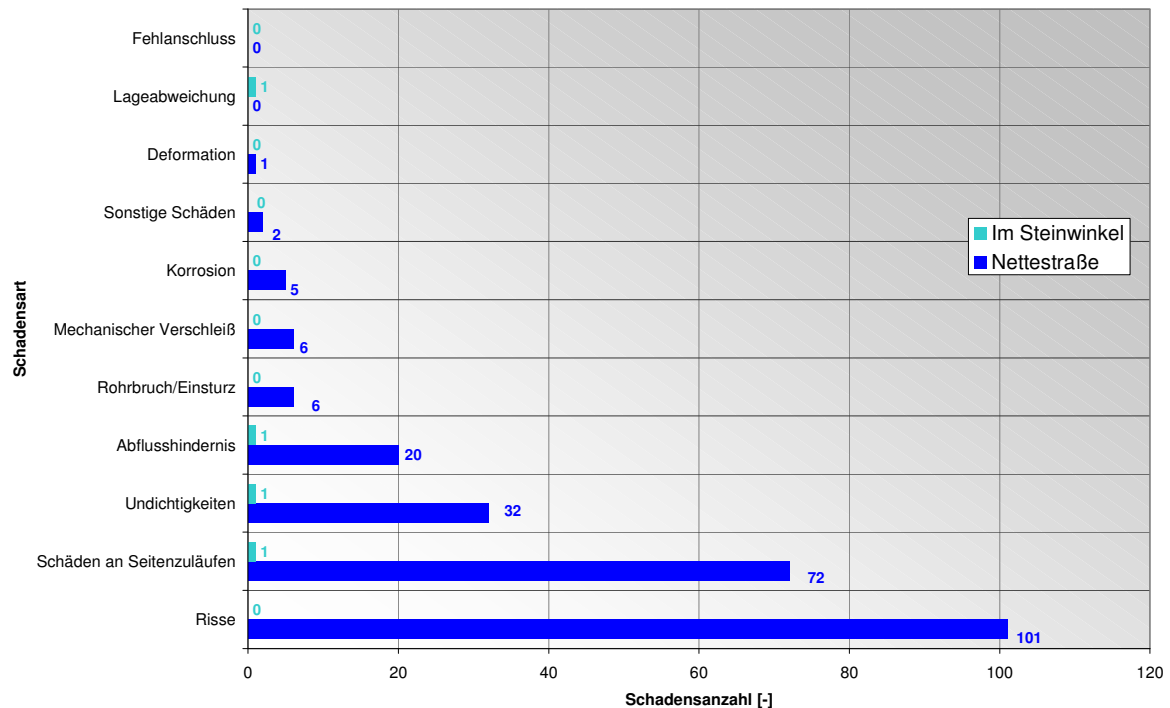


Bild 100 Schadensverteilung bei den analysierten Haltungen der Untersuchungsgebiete „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“ bezogen auf die Schadensanzahl

Nachfolgend werden beispielhaft die in den Untersuchungsgebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“ auftretenden häufigsten fremdwasserrelevanten Schäden wie

- Risse,
- Schäden an Seitenzuläufen und
- Undichtigkeiten

bezüglich ihrer Ursachen und Folgen analysiert.

Risse

Bei der Schadensgruppe "Risse" werden im Altenaer Kürzelsystem Längsrisse (Hauptcode: RL), Querrisse (Hauptcode: RQ), Risse im Verbindungsbereich (Hauptcode: RC), Risse von einem Punkt ausgehend (Hauptcode: RX) und Scherbenbildung (Hauptcode: RS) unterschieden.

Rissbildungen stellen in jedem Fall einen Schaden dar, mit Ausnahme einiger Risstypen bei Beton- und Stahlbetonrohren. So sind beispielsweise nach DIN 4032 [193] kleine Kerben an der Oberfläche oder unregelmäßig verlaufende, spinnennetzartige Schwindrisse für den Gebrauchswert der Betonrohre ohne Belang. In den Merkblättern des Deutschen Beton-Vereins [194] bzw. des DVGW [195] wird die zulässige Rissbreite für Trennrisse mit $w = 0,15 \text{ mm}$ [194] bzw. $w = 0,20 \text{ mm}$ [195] vorgegeben.

Längsrisse

Von den angeführten Hauptrissformen kommen bei biegesteifen Rohren Längsrisse am häufigsten vor (s. Bild 101).



Bild 101 Beispiel für einen Längsriss (Kürzel: RL-1 mm) - Schadensort: „Nettestraße“ (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

In den meisten Fällen treten diese in den Viertelpunkten der Rohre (s. Bild 102) auf. Die Scheitel- und Sohlenrisse öffnen sich auf der Innenseite; die Kämpferrisse auf der Außenseite. Bei anderen Kanalquerschnittsformen können die Längsrisse in Abhängigkeit z.B. von der Lasteintragung, den Bettungsreaktionen oder dem baulichen Zustand des Kanals auch an anderen Stellen auftreten.

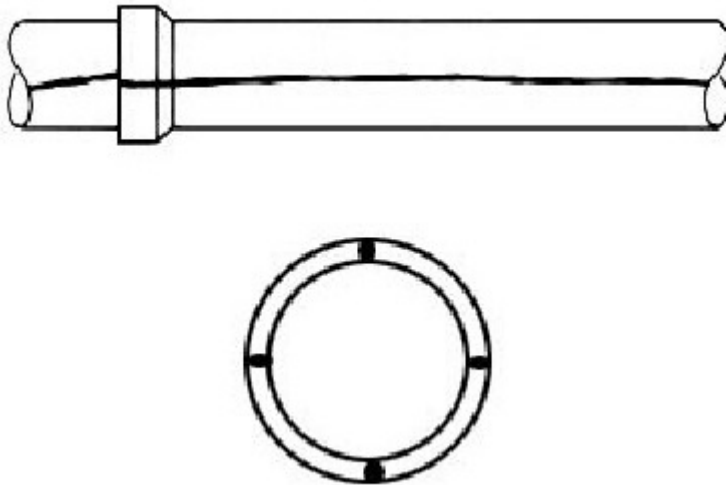


Bild 102 Längsrisse in den Viertelpunkten bei biegesteifen Rohren (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Unabhängig von der Rissart kommen grundsätzlich als Ursachen infrage [3]:

- Nichtbeachtung einschlägiger Normen und Richtlinien bei Planung und Bauausführung (v.a. DIN EN 1610 [71], ATV-A 127 [196], ATV-DVWK-A 139 [197], DIN EN 12889 [198], ATV-A 125 [199], ATV-A 161 [200])
- Beschädigung der Rohre beim Transport, Lagern, Verlegen, Einbetten, Überschütten oder Verdichten
- Änderungen der Belastung im Laufe der Nutzungsdauer (z.B. durch steigende Verkehrslasten, Überbauung etc.)
- Änderungen der Bettungsbedingungen der Rohrleitung während der Nutzungsdauer (hervorgerufen z.B. durch Suffosionen und Erosionen in der Leitungszone, Tiefbauarbeiten in unmittelbarer Nähe des Kanals)
- Falsche Einbindung des Anschlusskanals durch Aufstemmen des Kanals
- Kriegseinwirkungen
- Bergsenkungseinflüsse

Weiterhin entstehen Längsrisse speziell durch:

- Linienlagerung

- Als Folge von Undichtigkeiten, Lageabweichungen, mechanischem Verschleiß, Korrosion oder Verformung.

Bei biegesteifen Rohren treten Längsrisse durch Überschreitung der Ringbiegezugfestigkeit z.B. bei Linienlagerung auf. Zusätzlich können Lageabweichungen infolge Veränderung der Bettung durch Undichtigkeiten oder Bodenbewegungen sowie nicht fachgerecht ausgeführte Rohrverbindungen ursächlich sein. Sie entstehen in der Regel in der Rohrverbindung und können sich entweder auf diesen Bereich beschränken oder aber sich auch über das ganze Rohr erstrecken.

Längsrisse im Bereich der Rohrverbindung können auch unmittelbar nach der Verlegung des Kanals durch eine Kombination aus zu hohen Radialkräften aus Rückstellkräften der Dichtung und Temperatureinwirkungen durch starke Sonneneinstrahlung während der Bauzeit entstehen.

Querrisse

Querrisse verlaufen meist über den gesamten Rohrumfang. Prädestinierte Stellen sind die Rohrmitte, Rohrverbindungen oder Einbindungen in Schächte oder Bauwerke bzw. Übergänge zur Überbauung (s. Bild 103).

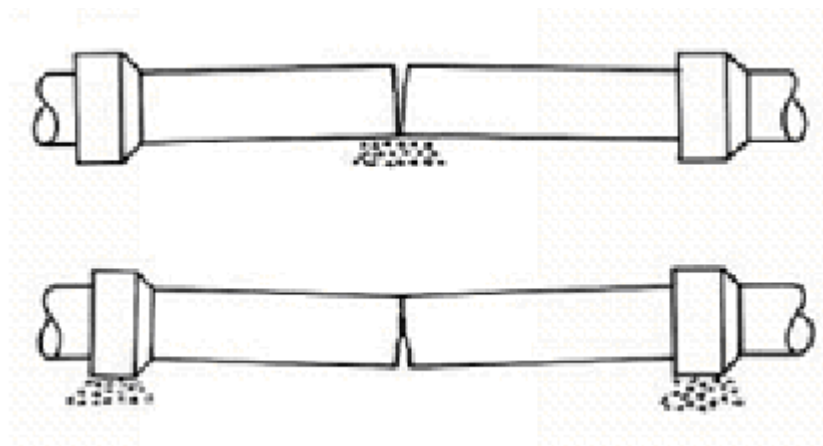


Bild 103 Bildung von Querrissen durch falsche Auflagerung des Rohres (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Je nach Ursache sind die Risse entweder auf einer Rohrseite weiter geöffnet als auf der gegenüberliegenden (Abwinkelung) oder die beiden Rissufer sind gegeneinander verschoben (Versatz). Bild 104 zeigt einen Querriss an einem Kanal in der „Nettestraße“.



Bild 104 Beispiel für einen Querriss am Gesamtumfang (Kürzel: RQ-3 mm) - Schadensort: „Nettestaße“
(Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Querrisse entstehen durch Überschreitung der zulässigen Längsbiegezugfestigkeit, der Zugspannungen in Längsrichtung oder der Scherfestigkeit des Rohres.

Neben den oben aufgeführten Schadensursachen entstehen Querrisse speziell durch [3]:

- Unzulässige Einwirkung von Einzellasten (Punktlagerung, Muffenreiten, Steine in der Leitungszone)
- Nicht gelenkig ausgebildetem Bauwerksanschluss
- Als Folge von Undichtigkeiten, Lageabweichungen, mechanischem Verschleiß, Korrosion oder Verformung
- Temperatureinwirkungen.

Scherbenbildung

Neben den Längs- und Querrissen, die einen relativ eindeutigen Rissverlauf aufweisen, gibt es in Kanälen bzw. Leitungen Risse, die entweder, von einem Punkt ausgehend (RX) strahlenförmig verlaufen (s. Bild 105) oder solche mit einem völlig unregelmäßigen

Verlauf. In beiden Fällen kommt es fast immer zur Scherbenbildung (RS), bei der einzelne Rohrwandungsstücke komplett von Rissen umgeben sind.

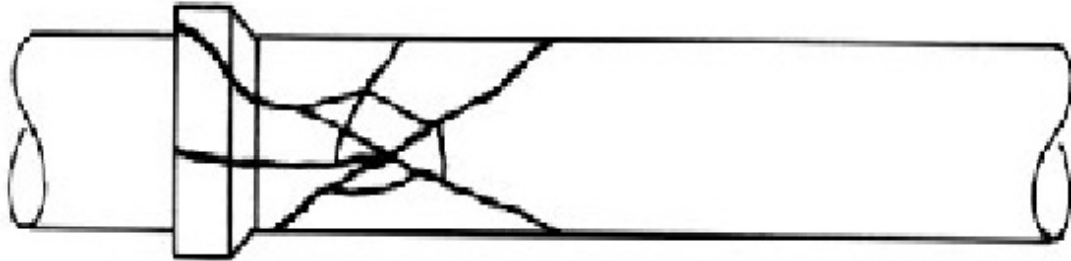


Bild 105 Schadensbild Scherbenbildung: Risse von einem Punkt ausgehend (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Aufgrund ähnlicher Schadenscharakteristika werden Risse im Verbindungsbereich (RC) in diesem Abschnitt mit behandelt. Im Bild 106 ist ein Beispiel für eine Scherbenbildung an der „Nettestraße“ abgebildet.

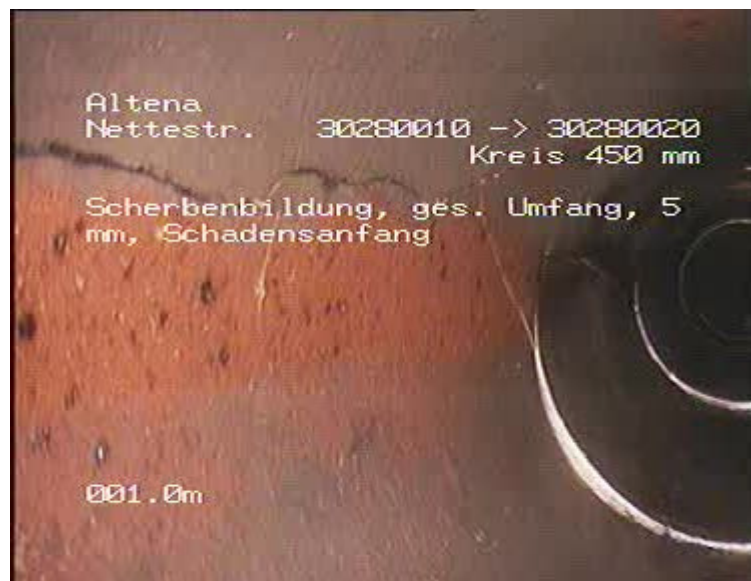


Bild 106 Beispiel für die Schadensart Scherbenbildung (Kürzel: RS- 5 mm) - Schadensort: „Nettestraße“
(Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Die wesentlichsten Ursachen, die zu Rissen im Verbindungsbereich bzw. zur Scherbenbildung führen können, sind neben den oben angeführten noch folgende:

- Unzulässige Einwirkung von Einzellasten (Punktlagerung, Muffenreiten, Steine in der Leitungszone)
- Falsche Einbindung des Anschlusskanals durch Aufstemmen des Kanals

- Extremer Wurzeleinwuchs
- Ausbiegung.

Schäden an Seitenzuläufen

In den Altenaer Inspektionsdaten sind folgende Schäden an Seitenzuläufen differenziert: Abzweig verstopft (A-D), Stutzen verschlossen (SU), Stutzen einragend (SE), Stutzen nicht fachgerecht ausgeführt (SN) und Riss im Stutzen (SR). In der Regel sind diese Schäden auf unsachgemäße Einbindung der Seitenzuläufe (u.a. Hausanschlüsse) durch Aufstemmen des Kanals zurückzuführen. Bild 107 zeigt ein Beispiel für einen Schaden an einem Seitenzulauf (Einragender Stutzen) an der „Nettestraße“.



Bild 107 Beispiel für die Schadensart: Einragender Stutzen (Kürzel: SE) – Schadensort: „Nettestraße“ (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Einragende Stutzen bzw. einragende Anschlusskanäle stellen feste Abflusshindernisse mit den entsprechenden Folgeschäden dar.

Grundsätzlich können Anschlusskanäle sowohl in die Einsteigschächte als auch in den Straßenkanal eingebunden werden. Im letzteren Fall kann der Anschluss erfolgen [3]

- an bereits im Straßenkanal vorhandene oder nachträglich einzubauende Abzweige,
- an nachträglich einzubauende Anschlussstutzen oder Sattelstücke jeweils mit Bohrring,

- durch das direkte Einbinden des Anschlusskanals in den Straßenkanal.

Insbesondere bei der letzten Anschlussvariante kommt es immer wieder vor, dass bei nichtfachgerechter Herstellung der Anschlusskanal mehr oder weniger weit in den Kanal einragt und somit ein Abflusshindernis bildet. Bei dieser Art der Ausführung kann der Anschluss auch zu einem späteren Zeitpunkt in den Kanal hineinrutschen, z.B. durch Einflüsse beim Verfüllen des Leitungsgrabens, dynamische Beanspruchungen infolge von Verkehr und Bodenbewegungen, z.B. in Bergsenkungsgebieten [3]. Darüber hinaus wurden des Öfteren auch verschlossene Stutzen bzw. Abzweige angetroffen, die auch Undichtigkeiten aufwiesen (s. Bild 108).



Bild 108 Beispiel für die Schadensart: Verschlossener Abzweig (Kürzel: SU) – Schadensort: „Nettestraße“
(Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Undichtigkeiten

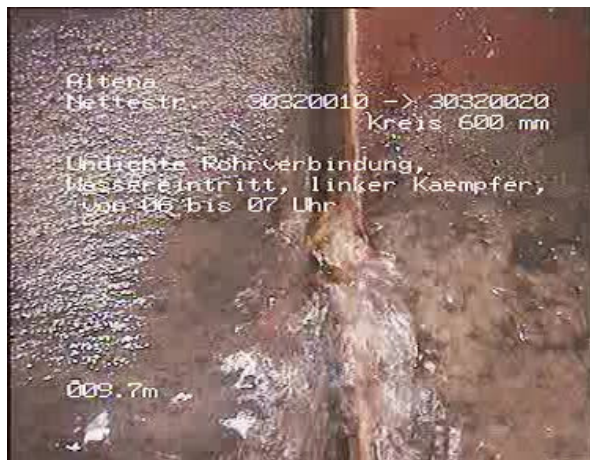
Undichtigkeiten liegen dann vor, wenn entweder Wasser sichtbar ein- oder austritt oder eine Prüfung auf Wasserdichtheit nicht erfüllt wird.

Nach [201] können Undichtigkeiten ohne oder mit erkennbaren sonstigen Schäden auftreten in

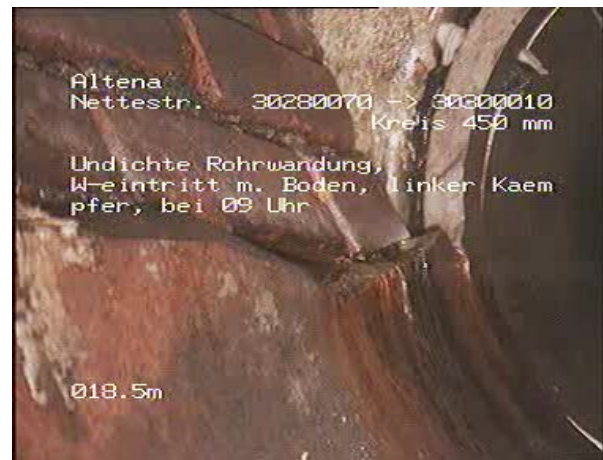
- Rohrverbindungen bzw. Bauteil- oder Bauwerksfugen,
- Rohren oder Rohrwandungen,

- Anschlüssen an Rohre,
- Schächten oder sonstigen Bauwerken der Kanalisation.

Auch andere Schäden, wie z.B. Risse, Scherben, Rohrbruch und Einsturz, stellen a priori Undichtigkeiten dar und können früher oder später in Abhängigkeit vom Schadensumfang sowie der weiteren Entwicklung des Schadens Undichtigkeiten zur Folge haben. Beispiele für Undichtigkeiten an Kanälen in der „Nettestraße“ sind im Bild 109 zu sehen.



a)



b)

Bild 109 a) Beispiel für die Schadensart: Undichte Rohrverbindung mit Wassereintritt im linken Kämpfer (Kürzel: UCFL), Schadensort: „Nettestraße“, b) Beispiel für die Schadensart: Undichte Rohrwandung mit Wasser- und Bodeneintritt im linken Kämpfer (Kürzel: UWFL), Schadensort: „Nettestraße“ (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Für das Auftreten von Undichtigkeiten kommt eine Vielzahl von Ursachen in Betracht, die sich den folgenden Gruppen zuordnen lassen [201]:

- Nichtbeachtung von DIN 1986 [16], ATV-A 161 [200], ATV-A 127 [196], DIN EN 1610 [71], DIN EN 12889 [198], DIN 19550 [202], ATV-DVWK-A 139 [197], ATV-A 125 [199], Werkstoffnormen oder Regelwerken und Richtlinien bei Planung, Werkstoff- und Bauteilauswahl, Bauausführung, Betrieb
- Werkstoffalterung
- als Folge anderer Schäden.

Die primären und sekundären Folgen, die aufgrund von Undichtigkeiten bei Kanälen

sowie bei Bauwerken der Kanalisation auftreten, sind [3]

- der Austritt von Abwasser (Exfiltration) und der damit verbundenen Folgeschäden:
 - Schadstoffeintrag in Grundwasser und Boden
 - Schädigende Auswirkungen auf Leitungen, Bauwerke oder Straßenoberbau
 - Änderung der Bettungsbedingungen mit Folgeschäden, wie Lageabweichungen, Verformung, Risse, Rohrbruch oder Einsturz
 - sowie das Eindringen von Grundwasser (Infiltration) bzw. Boden und der Schadensfolgen (s. Abschn. 2.1.4)

Die Gesamtauswertung der TV-Untersuchungen ergab, dass die Schäden „Risse“, „schadhafte Seitenzuläufe“ und „Undichtigkeiten“ insbesondere an der „Nettestraße“ als eine der Fremdwasserquellen identifiziert werden konnte. Darüber hinaus wurden an diversen Hausanschlüssen Dränleitungen festgestellt, die auch einen Beitrag zu einem erhöhten Fremdwasseranfall leisteten.

4.2.3 Fremdwasseranalyse

4.2.3.1 Ermittlung der Fremdwassermengen in der Kläranlage Altena - Pragpaul

Die Einwohner Altenaers produzieren durchschnittlich im Jahr ca. 1, 3 Mio. m³ Schmutzwasser. An der Kläranlage kommt jedoch über das Kanalnetz mehr als das 3-fache an, knapp 4,3 Millionen Kubikmeter bei Trockenwetter. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die Kläranlagendaten für die Jahre 1998 bis 2006 analysiert und ausgewertet. Für diesen Zeitraum wurde ein mittlerer Fremdwasseranteil von ca. 70% bzw. ein Fremdwasserzuschlag von ca. 256% ermittelt (s. Bild 105). So ergibt sich in den vergangenen 9 Jahren im Zeitraum der Jahre 1998 bis 2006 eine Fremdwassermenge von ca. 30,0 Mio. m³. Dabei beträgt die durchschnittliche Fremdwassermenge ca. 3,4 Mio. m³ pro Jahr.

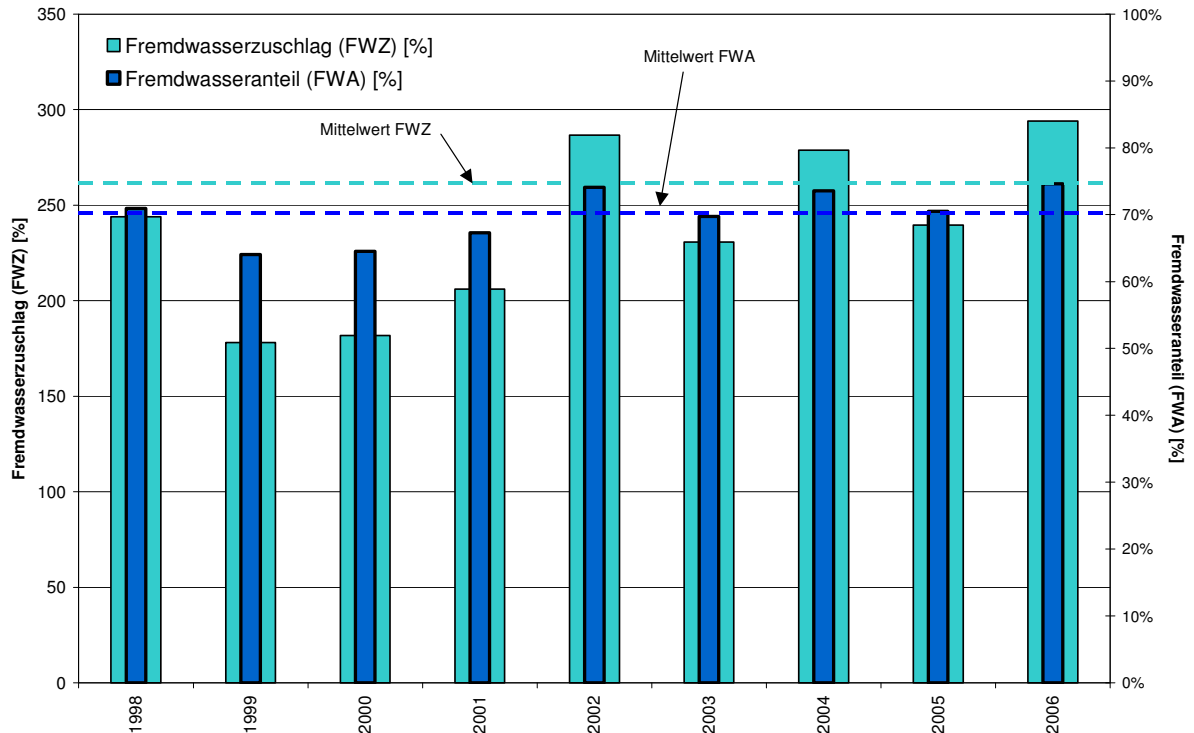


Bild 110 Fremdwasseranteil bzw. Fremdwasserzuschlag an der Kläranlage Altena-Pragpaul

Ein Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Verfahren zur Ermittlung des Fremdwasseranfalls überlagert mit den Jahresniederschlagshöhen ist im Bild 111 dargestellt.

Die Jahresschmutzwassermethode (JSM) ergibt die höchsten Fremdwasserzuflüsse, gefolgt von der Methode des gleitenden Minimums. Aussagen über einen möglichen Zusammenhang zwischen Fremdwasser und Jahresniederschlagshöhe können bei der Jahresschmutzwassermethode (JSM) in den Jahren 1998 - 2004 gemacht werden. Im Jahre 2005 reduziert sich das Fremdwasser bei ansteigender Jahresniederschlagsmenge, wohingegen sich das Fremdwasser im Jahre 2006 bei fallender Jahresniederschlagsmenge erhöht. Die Gründe für diese Zusammenhänge sind vermutlich auf die Ungenauigkeit des Verfahrens bei der Berücksichtigung des Regenwetteranteils zurückzuführen. Bei der Methode des gleitenden Minimums wird hingegen der Zusammenhang zwischen Fremdwasser und Niederschlagshöhe besser widerspiegelt (s. Bild 111).

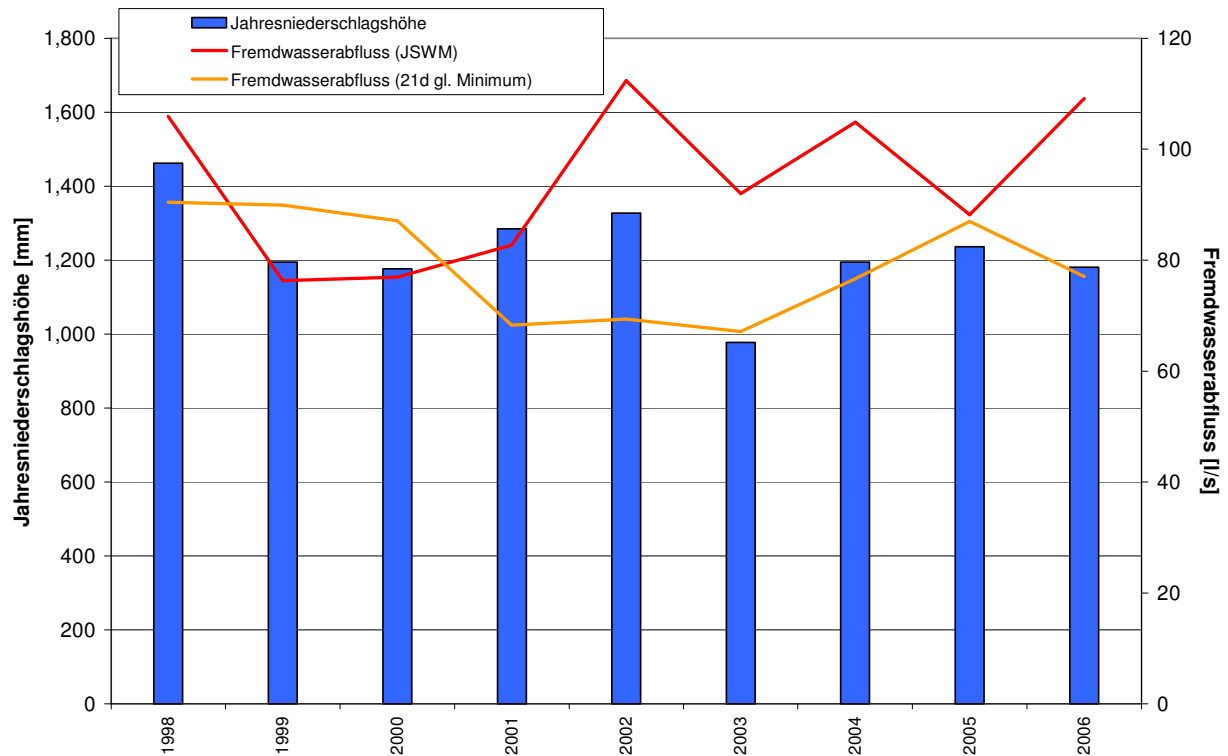


Bild 111 Gegenüberstellung der Ergebnisse verschiedener Methoden zur Berechnung der Fremdwassermengen anhand von Datensätzen aus den Jahren 1998-2006 für die Kläranlage Altena-Pragpaul

Die o.g. unerwünscht hohen Fremdwasserzuflüsse in das Kanalnetz verursachen für die Stadtwerke Altena erhebliche technische Probleme, insbesondere eine verminderte Reinigungsleistung bei der Behandlung von Fremdwasser aus dem Mischwasserkanal sowie eine verminderte Reinigungsleistung der Kläranlage Altena - Pragpaul durch Verdünnung und Abkühlung des Abwassers. Demzufolge sollte bei der Planung der Sanierungsmaßnahmen versucht werden, das Bach-, Drän- und das nicht klärpflichtige Regenwasser von der Kläranlage Altena - Pragpaul fernzuhalten und im Sinne einer nachhaltigen Wasserwirtschaft einem nahe gelegenen Vorfluter zuzuführen.

In Tabelle 35 sind die maßgebenden hydraulischen Abflusskenngrößen für das Einzugsgebiet der Kläranlage Altena - Pragpaul zusammengestellt.

Tabelle 35 Zusammenstellung der maßgebenden Abflusskenngrößen für das Einzugsgebiet der Kläranlage Altena – Pragpaul

Zusammenstellung der hydraulischen Abflusskenngrößen für das Einzugsgebiet der Kläranlage Altena-Pragpaul												
Jahr	Einheiten		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Mittelwerte
Jahresniederschlagshöhe	h _{Na}	in mm/a	1.462	1.195	1.176	1.285	1.327	977	1.195	1.236	1.181	1.226
JSWM		in m³/a	4.710.319	3.758.368	3.760.565	3.875.946	4.781.086	4.160.430	4.495.034	3.944.855	4.613.389	4.233.333
MW-Abfluss zur KA	Q _M	in l/s	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Kanalisierte Fläche	A _{E,K}	in ha	965	965	965	965	965	965	965	965	965	965
Befestigte Fläche	A _{E,b}	in ha	263	263	263	281	281	281	281	281	281	275
TWA	Q _{T,aM}	in l/s	149,4	119,2	119,2	122,9	151,6	131,9	142,5	125,1	146,3	134
Einwohner	E	in E	24.573	24.520	24.467	23.932	23.768	24.229	22.762	22.450	22.238	23.660
Spez. Trinkwasserverb.	w _{d,aM}	in l/(E * d)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Häuslicher SW-Abfluss	Q _{H,aM}	in l/s	35,6	35,5	35,4	34,6	34,4	35,1	32,9	32,5	32,2	34
Betrieblicher SW-Abfluss	Q _{G,aM}	in l/s	7,9	7,4	6,9	5,5	4,8	4,8	4,7	4,4	5,0	6
Schmutzwasserabfluss	Q _{S,aM}	in l/s	43,4	42,9	42,3	40,2	39,2	39,9	37,6	36,8	37,1	40
Einwohnerspez. Abwasseranfall	q _T	in l/(E * d)	525	420	421	444	551	470	541	481	568	491
Fremdwasserabfluss (JSWM)	Q _{F,aM}	in l/s	105,9	76,3	76,9	82,8	112,4	92,0	104,9	88,2	109,2	94
Fremdwasserabfluss (21d gl. Minimum)	Q _{F,aM}	in l/s	90,4	90,0	87,1	68,3	69,4	67,2	76,7	87,0	77,1	79
Fremdwasserabfluss (Nachtminimum)	Q _{F,aM}	in l/s	-	-	-	97,1	127,7	104,8	116,3	97,0	118,5	110
Fremdwasserabflussspende	q _F	in l/(s * ha _{red})	0,40	0,29	0,29	0,29	0,40	0,33	0,37	0,31	0,39	0,34
Fremdwasserzuschlag (FWZ) [%]	FWZ	in %	244	178	182	206	287	231	279	239	294	256
Fremdwasseranteil (FWA) [%]	FWA	in %	0.71	0.64	0.65	0.67	0.74	0.70	0.74	0.71	0.75	0.70

4.2.3.2 Quantitative Ermittlung der Fremdwassermengen durch Nachtmessungen in den Untersuchungsgebieten „Im Steinwinkel“ und „Nettestraße“

In den meisten Fällen wird ein zu hoher Fremdwasseranteil zunächst an der Kläranlage auffällig, wenn – wie auch in der Stadt Altena - die in der wasserrechtlichen Erlaubnis angesetzten Werte erheblich überschritten werden. Ausgehend von der Kläranlage muss der Weg des Fremdwassers zurückverfolgt werden. Hierzu sind zunächst Messungen an den Hauptknotenpunkten des Untersuchungsgebietes erforderlich, um die Fremdwasserschwerpunkte zu identifizieren.

Nach der Auswertung der Bestandspläne wurden in der Stadt Altena insgesamt 16 Fremdwassermessstellen ausgewählt, die im Bild 112 und Bild 113 dargestellt sind.

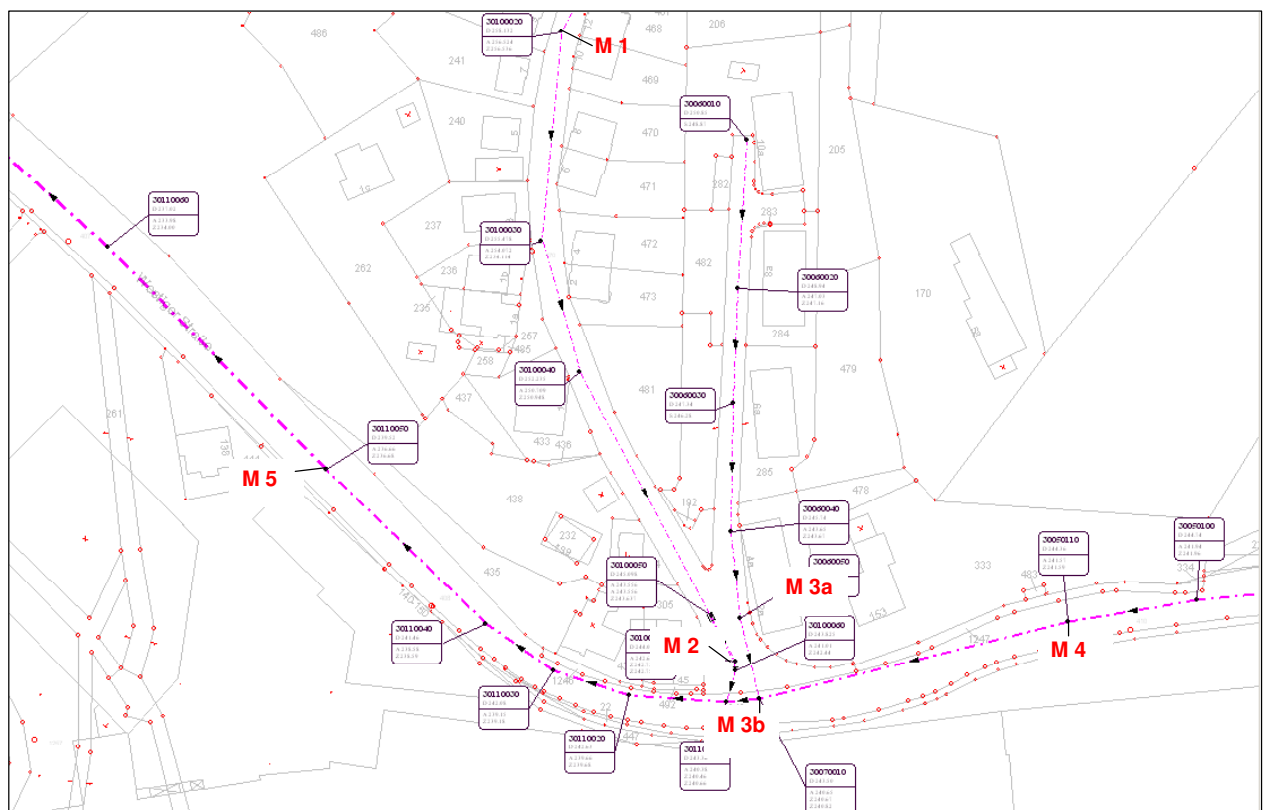


Bild 112 Übersichtslageplan der festgelegten Messstellen im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“

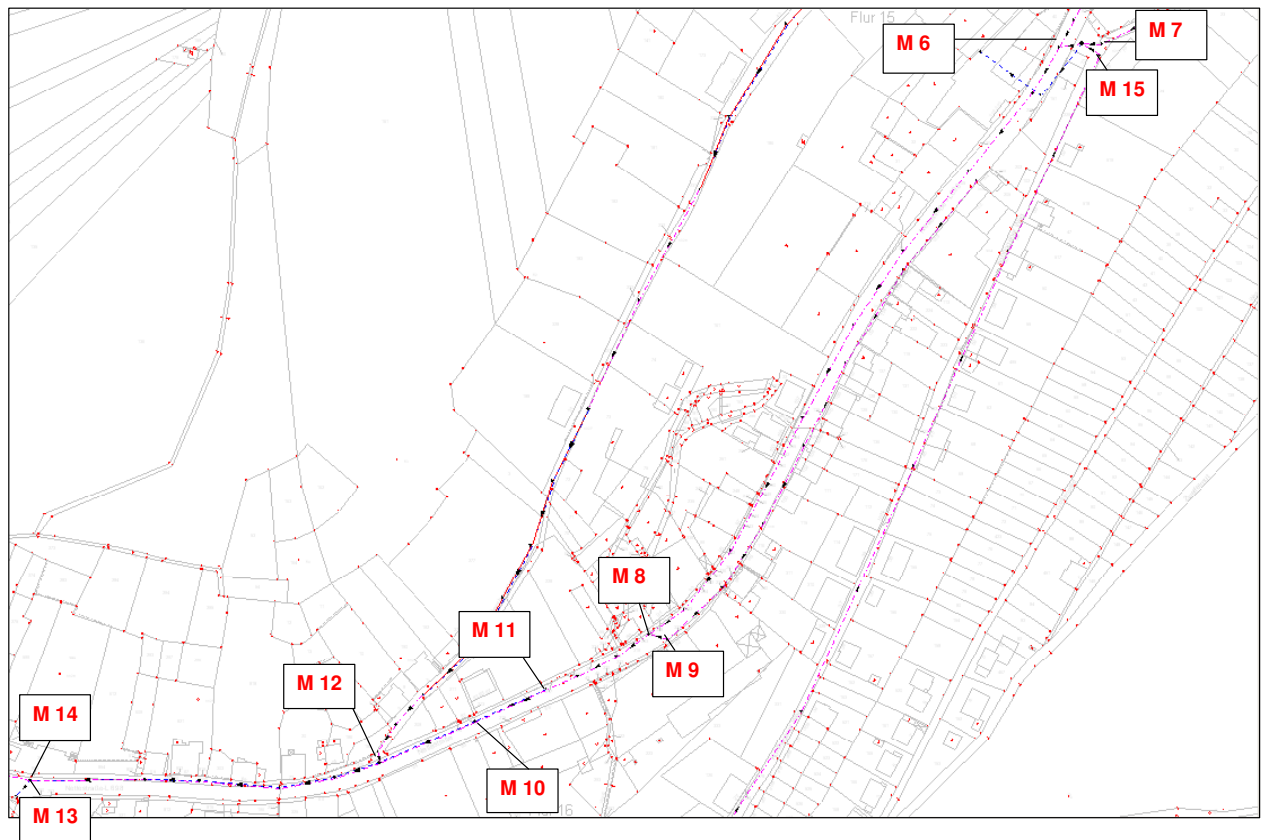


Bild 113 Übersichtslageplan der festgelegten Messstellen im Untersuchungsgebiet an der „Nettestraße“

Bei den Durchflussmessungen zur Ermittlung des Fremdwasserabflusses sind bestimmte Randbedingungen bzgl. Grundwasserstand, Niederschlagssituation und des Zeitfensters für die Untersuchungen einzuhalten.

Festlegung der notwendigen Randbedingungen für die Durchflussmessungen

Grundwasser

Ein erheblicher Anteil des Fremdwasseraufkommens gelangt in Form von Grundwasser durch undichte Leitungen und Kanäle oder über Hausdränagen in die Kanalisation und anschließend zur Kläranlage. Daher sollten, um Aussagen über einen möglichen Zusammenhang zwischen der Fremdwassermenge und dem anstehenden Grundwasser treffen zu können, die Durchflussmessungen möglichst zu Zeitpunkten mit Grundwasserhöchstständen stattfinden. Erfahrungsgemäß liegen diese in den niederschlagsreichsten Monaten Januar bis April (s. Bild 114).

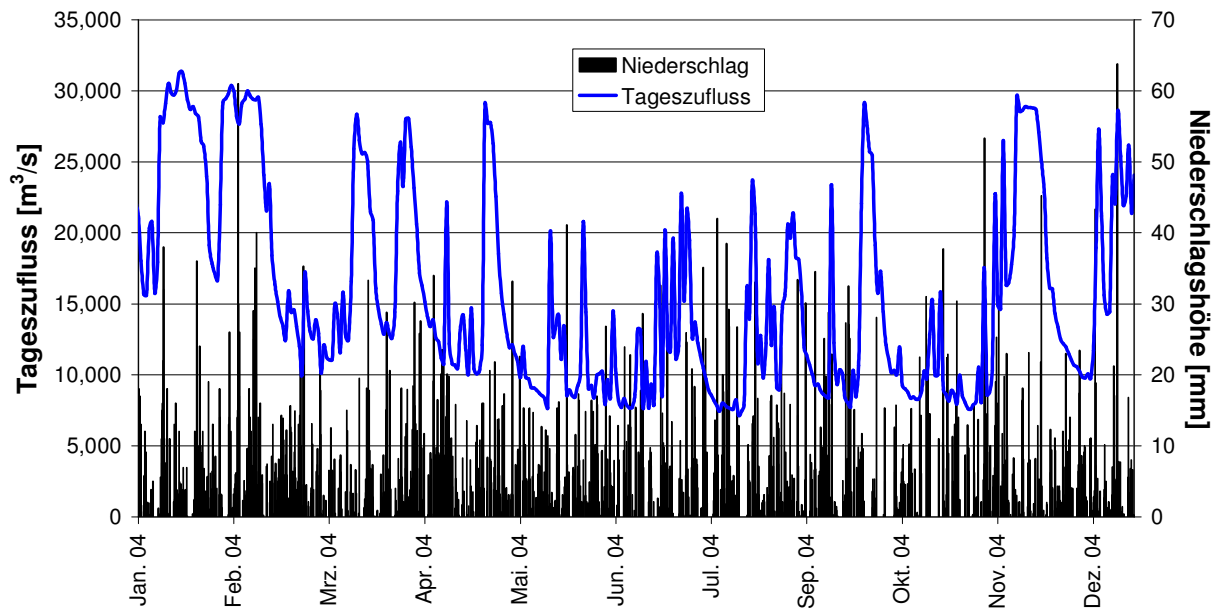


Bild 114 Ganglinien (Tageszufluss und Niederschlag) der Kläranlage Altena-Pragpaul aus dem Jahre 2004
(Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Die Jahresganglinie der Kläranlage Altena-Pragpaul im Bild 114 zeigt, dass im Jahr 2004 in Altena ebenfalls die höchsten Kläranlagenzuläufe in den Monaten Januar bis April zu verzeichnen waren. Im vorliegenden Anwendungsfall konnte dagegen aus zeitlichen Gründen im Monat Dezember mit den Durchflussmessungen begonnen werden. Da aber in dem festgelegten Untersuchungszeitraum Dezember aufgrund der Wettersituation vergleichbar hohe Niederschlagsmengen wie in den Monaten Januar bis April 2004 anfielen und somit auch mit hohen Grundwasserständen zu rechnen war, können die Ergebnisse der Durchflussmessungen dennoch als aussagekräftig gewertet werden.

Niederschlagssituation

Die Stadt Altena betreibt sowohl ein Misch- als auch ein Trennsystem (s. Abschn. 4.2.1). Bei einem Mischsystem gehören Niederschlagswasser und auch Schmutzwasser zum zulässigen Abfluss in der Kanalisation. Bei der Bestimmung des Fremdwasseranteils ist es aber zwingend notwendig, dass nur Schmutzwasser im Kanal vorhanden ist. Aus diesen Gründen können die Fremdwassermessungen nur in niederschlagsfreien Nächten, d.h. bei Trockenwetter, durchgeführt werden. Zudem sollten die Niederschläge während der Messperiode mindestens dem langjährigen Mittel entsprechen.

Zeitfenster

Bei der Festlegung des Zeitfensters für die Durchflussmessungen ist darauf zu achten, dass die Messungen im Durchflussminimum der Kläranlage Altena – Praggpaul durchgeführt werden. Die Auswertung von Tagesganglinien der Kläranlage zeigt, dass das Durchflussminimum nachts zwischen 00:00 und 8:00 Uhr liegt (s. Bild 115). Im vorliegenden Anwendungsfall wurden die Durchflussmessungen zwischen 00:00 und 5:00 durchgeführt. Zudem wurde darauf geachtet, dass die Messungen an den Wochentagen Sonntag bis Donnerstag stattfanden, da an diesen Tagen die besten Untersuchungsergebnisse erzielt werden könnten. Gegen Ende der Woche ist immer mit erhöhten nächtlichen Aktivitäten der Einwohner in diesen Zeiträumen zu rechnen und damit steigt der Schmutzwasseranfall.

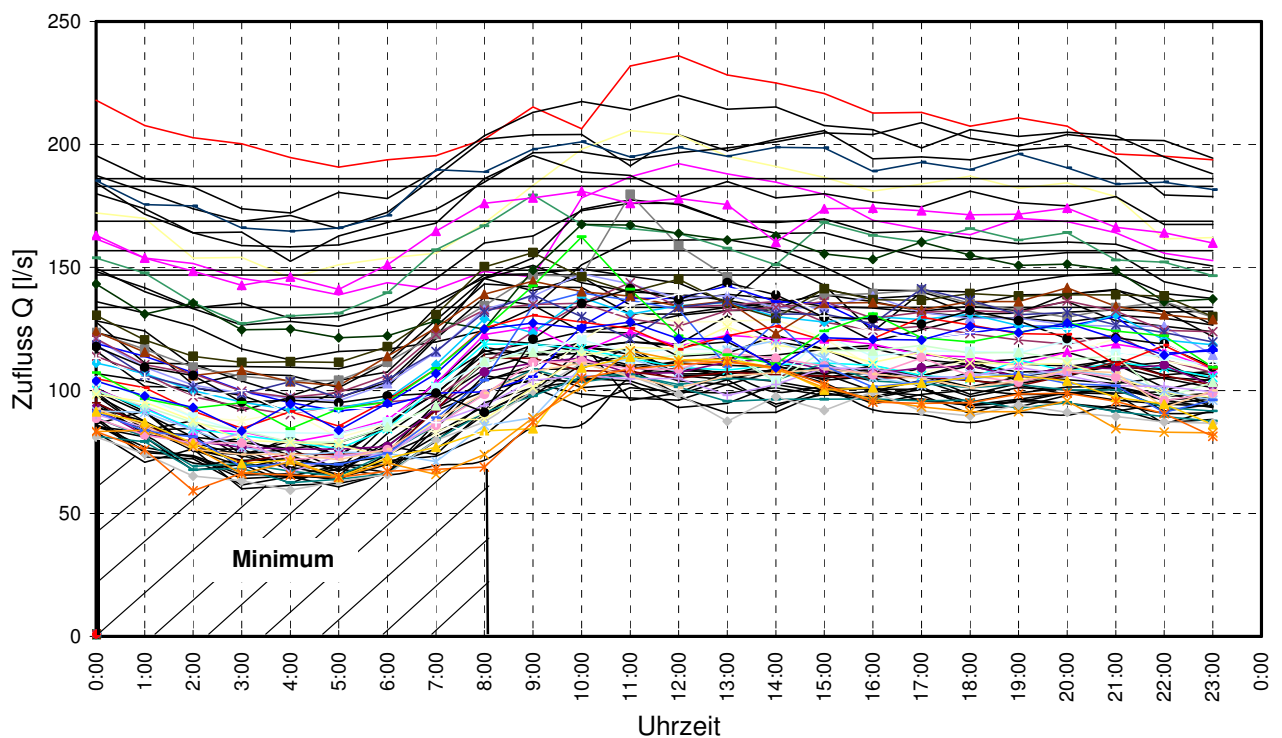


Bild 115 Tagesganglinien der Kläranlage Altena-Praggpaul aus dem Jahre 2004 (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Die o.a. Tagesganglinien wurden über einen Zeitraum von 12 Monaten ermittelt. Als Anhaltswert für den täglichen Zufluss zur Kläranlage Altena - Praggpaul kann der Mittelwert mit ca. 182 l/s angegeben werden.

Durchführung der Messungen

Zur Eingrenzung der Fremdwasserquellen sind i.A. keine kostenintensiven und aufwendigen Messverfahren, wie z.B. der Einsatz von MID-Geräten (magnetisch-induktives Messprinzip) erforderlich. Einfache und kostengünstige Verfahren reichen aus, um Schätzwerte über den Fremdwasseranfall anzugeben. Hierzu wurde mit einem Zollstock die Fließtiefe an den ausgewählten Knotenpunkten gemessen. Anschließend wurde mit Hilfe der Nomogramme nach Prandtl-Colebrook gemäß ATV-DVWK-A 110 [203] die Abflussmenge Q im Kanal berechnet.

Insgesamt wurden jeweils 2 Messungen an den o.g. 16 Messpunkten zwischen 00:00 Uhr und 05:00 Uhr durchgeführt.

Ergebnisse der diskontinuierlichen Durchflussmessungen

Während der bereits durchgeführten nächtlichen Durchflussmessungen war bereits vor den jeweiligen Messungen aufgrund des zum größten Teil sehr klaren Abflusses deutlich zu erkennen, dass in einigen Messpunkten Fremdwasser vorhanden war. Die gemessenen Abflusstiefen bewegten sich in Abhängigkeit von der Nennweite zwischen 0 mm und 115 mm und die hydraulischen Auslastungen des Abflussquerschnittes somit zwischen 0% und 23%. In Tabelle 36 und Tabelle 37 sind die nach Prandtl-Colebrook aus den Abflusstiefen berechneten Durchflussmengen der 16 Messpunkte für die Nachtmessungen am 18.12.2007 und am 13.03.2008 detailliert zusammengestellt.

Tabelle 36 Auswertung der Durchflussmengen vom 18.12.2007

Messstelle-Nr.	Straße	Uhrzeit	Schacht-Nr.	Profil	Netzlänge	Fläche A _{EK}	Gefälle	DN bzw. B	Abflusstiefe	Material	k	Q
				[]	[m]	[ha]	[‰]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[l/s]
M 1 (MK)	Steinwinkel	01:04	30100020	Kreis	305,08	0,70	22,69	300	10	PP	1,5	0,28
M 2 (MK)	Steinwinkel	01:21	30110010	Kreis	171,24	0,34	47,59	300	20	Steinzeug	1,5	1,86
M 3a (MK)	Steinwinkel	01:32	30070010	Kreis	124,73	0,20	113,32	250	15	Steinzeug	1,5	1,39
M 3b	Steinwinkel	01:44	30070010	Kreis	124,73	0,20	113,32	250	40	Steinzeug	1,5	11,29
M 4 (MK)	Westiger Straße	01:52	30050110	Kreis	1563,87	3,41	12,09	600	60	PEHD	1,5	14,31
M 5 (MK)	Westiger Straße	02:05	30110050	Kreis	114,36	1,75	38,49	600	65	PEHD	1,5	30,31
M 6 (MK)	Nettestrasse	02:24	30200210	Kreis	2947,16	8,25	25,69	450	80	Steinzeug	1,5	32,06
M 7 (MK)	Schreck	02:47	30210040	Kreis	199,16	0,22	143,15	193	0	GFK	1,5	0,00
M 8 (MK)	Nettestrasse	03:02	30080070	Kreis	302,50	1,34	25,69	450	90	Steinzeug	1,5	40,73
M 9 (MK)	Nettestrasse	03:18	30290070	Ei	256,93	0,60	19,24	400	15	Stahlbeton	1,5	0,50
M 10 (MK)	Nettestrasse	03 21	30300050	Kreis	133,58	1,01	18,15	450	90	Steinzeug	1,5	34,21
M 11 (RK)	Nettestrasse	03:32	30300052	Kreis	81,77	0,20	16,19	250	0	Steinzeug	1,5	0,00
M 12 (MK)	Giershagener Weg	03:44	30310170	Kreis	753,20	0,60	176,61	300	25	GFK	1,5	5,81
M 13 (MK)	Nettestrasse	03:55	30320060	Kreis	217,48	0,78	26,71	600	100	Steinzeug	1,5	61,62
M 14 (RK)	Nettestrasse	04:05	30320062	Kreis	910,66	0,91	36,86	250	0	Steinzeug	1,5	0,00
M 15 (RK)	Kohlhagener Weg	02:57	30250060	Kreis	527,82	3,96	99,04	292	0	GFK	1,5	0,00

Tabelle 37 Auswertung der Durchflussmengen vom 13.03.2008

Messstelle-Nr.	Straße	Uhrzeit	Schacht-Nr.	Profil	Netzlänge	Fläche A _{EK}	Gefälle	DN bzw. B	Abflus- tiefe 1	Material	k	Q
				[]	[m]	[ha]	[‰]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[l/s]
M 1 (MK)	Steinwinkel	01:04	30100020	Kreis	305,08	0,70	22,69	300	15	PP	1,5	0,68
M 2 (MK)	Steinwinkel	01:21	30110010	Kreis	171,24	0,34	47,59	300	25	Steinzeug	1,5	3,01
M 3a (MK)	Steinwinkel	01:32	30070010	Kreis	124,73	0,20	113,32	250	15	Steinzeug	1,5	1,39
M 3b	Steinwinkel	01:44	30070010	Kreis	124,73	0,20	113,32	250	50	Steinzeug	1,5	17,86
M 4 (MK)	Westiger Straße	01:52	30050110	Kreis	1563,87	3,41	12,09	600	70	PEHD	1,5	19,78
M 5 (MK)	Westiger Straße	02:05	30110050	Kreis	114,36	1,75	38,49	600	80	PEHD	1,5	46,75
M 6 (MK)	Nettestrasse	02:24	30200210	Kreis	2947,16	8,25	25,69	450	90	Steinzeug	1,5	40,73
M 7 (MK)	Schreck	02:47	30210040	Kreis	199,16	0,22	143,15	193	0	GFK	1,5	0,00
M 8 (MK)	Nettestrasse	03:02	30080070	Kreis	302,50	1,34	25,69	450	95	Steinzeug	1,5	45,42
M 9 (MK)	Nettestrasse	03:18	30290070	Ei	256,93	0,60	19,24	400	10	Stahlbeton	1,5	0,21
M 10 (MK)	Nettestrasse	03 21	30300050	Kreis	133,58	1,01	18,15	450	100	Steinzeug	1,5	42,28
M 11 (RK)	Nettestrasse	03:32	30300052	Kreis	81,77	0,20	16,19	250	0	Steinzeug	1,5	0,00
M 12 (MK)	Giershagener Weg	03:44	30310170	Kreis	753,20	0,60	176,61	300	35	GFK	1,5	11,89
M 13 (MK)	Nettestrasse	03:55	30320060	Kreis	217,48	0,78	26,71	600	115	Steinzeug	1,5	81,88
M 14 (RK)	Nettestrasse	04:05	30320062	Kreis	910,66	0,91	36,86	250	0	Steinzeug	1,5	0,00
M 15 (RK)	Kohlhagener Weg	02:57	30250060	Kreis	527,82	3,96	99,04	292	0	GFK	1,5	0,00

Am 18.12.2007 waren an den Messstellen 8 und 13 die höchsten Fremdwasserabflüsse zu verzeichnen. Auch am 13.03.2008 war der Fremdwasserabfluss an Messstelle 13 am höchsten.



Gemessener Fremdwasseranfall an Messstelle 13
(M 13) mit Q = 81,88 l/s



Gemessener Fremdwasseranfall an Messstelle 1
(M 1) mit Q = 0,68 l/s



Gemessener Fremdwasseranfall an Messstelle 5
(M 5) mit $Q = 46,75 \text{ l/s}$



Gemessener Fremdwasseranfall an Messstelle 2
(M 2) mit $Q = 3,01 \text{ l/s}$

Bild 116 Ausgewählte Messpunkte und gemessene Fremdwasserabflüsse am 13.03.2008 (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

4.2.4 Sanierungskonzept für vorhandene Abwasserkanäle

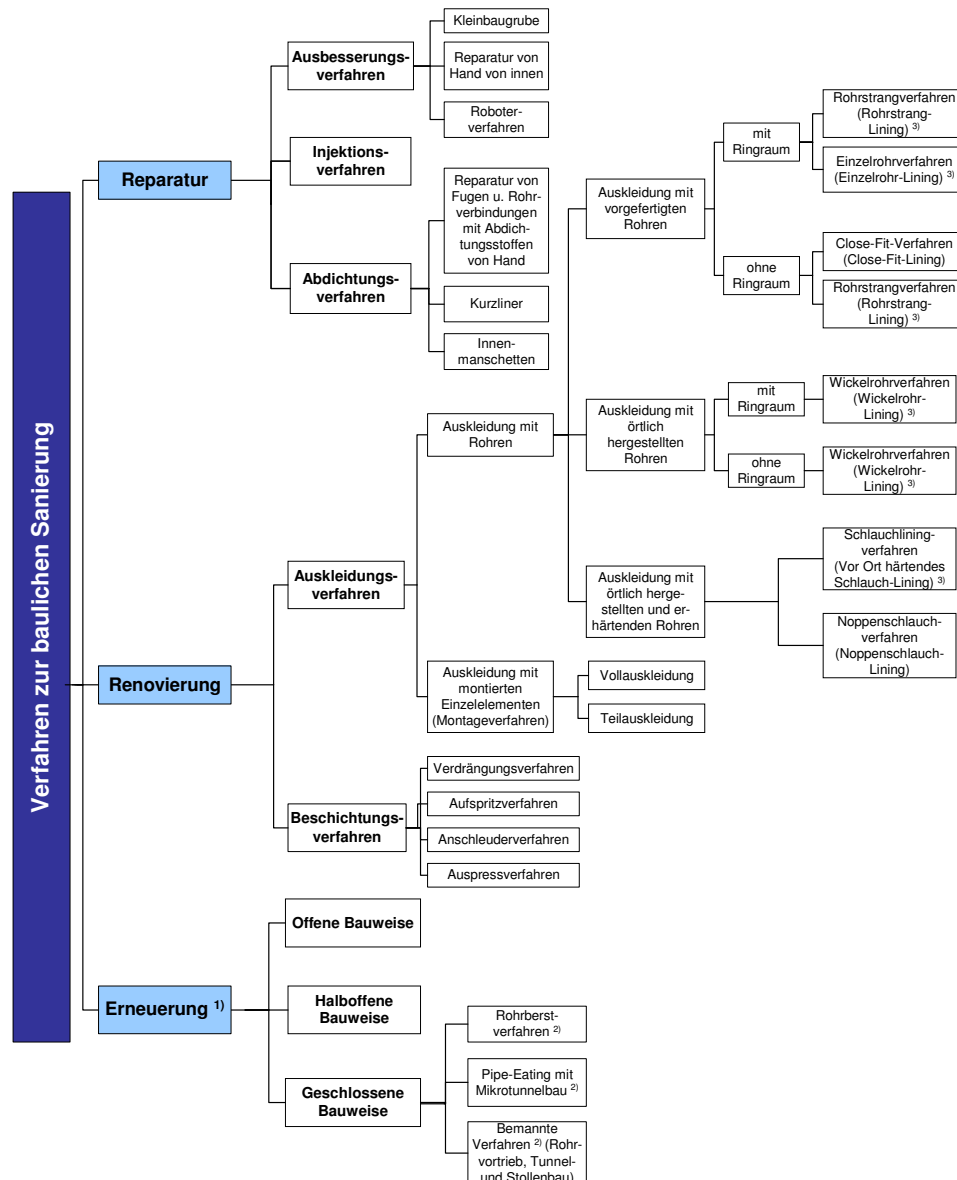
4.2.4.1 Allgemeines

Nach DIN EN 752-1 [1] versteht man unter Sanierung alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen. Nachfolgend werden die Verfahren zur baulichen Sanierung der Kanalsubstanz betrachtet.

Grundsätzlich wird nach DIN EN 752-5 [70] unterschieden zwischen

- **Reparatur:** Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden,
- **Renovierung:** Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz,
- **Erneuerung:** Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen.

In jeder dieser Verfahrensgruppen gibt es eine Vielzahl von Verfahren, aus denen im Einzelfall eine Auswahl abhängig von den örtlichen und leitungsspezifischen Randbedingungen getroffen werden muss. Bei dem Entscheidungsprozess sind neben Erscheinungsbild, Ausmaß und Ursache der Schäden, technische, wirtschaftliche und ökologische Kriterien zu beachten. Aus Bild 117 sind die wesentlichen Sanierungsverfahren ersichtlich.



¹⁾ Erneuerung in der bisherigen Linienführung. Erneuerung in anderer Linienführung entspricht dem Neubau und wird daher hier nicht behandelt.

²⁾ Begriffe nach DIN EN 12889 "Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen" (Ausgabe 03.2000).

³⁾ Begriffe in Klammern entsprechen denen nach DIN EN 13566-1 "Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) - Teil 1: Allgemeines" (Ausgabe 04.2003).

Bild 117 Übersicht über Verfahren zur baulichen Sanierung von Entwässerungssystemen nach ATV-DVWK-A 143-1 [201]

Maßgeblich für die Verfahrensauswahl sind die vorgefundenen Schäden – wobei unterschieden werden muss nach Schadensart, Schadensverteilung und Schadensausmaß sowie Zugänglichkeit der Kanäle. Dabei ist aus der Vielzahl von Sanierungsverfahren das technisch geeignetste und wirtschaftlich günstigste auszuwählen, wobei sich die Einsatzbereiche der verschiedenen Sanierungsverfahren überschneiden können.

Folgende Aspekte sollten berücksichtigt werden:

- Grundwasserstand,
- Bodenart,
- Kanalalter,
- Nennweite und Werkstoff der Kanäle,
- Leitungsverlauf,
- Zugänglichkeit,
- Schadensart und –umfang.

4.2.4.2 Sanierung der Hauptkanäle

Das Sanierungskonzept des Abwasserwerks der Stadt Altena sieht vor, die bestehenden Misch- und Trennsysteme als solche auch nach der Sanierung zu betreiben.

Die vorhandenen Schäden in den Untersuchungsgebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“ sind bereits im Abschnitt 4.2.2 erläutert worden.

An der „Nettestraße“ sollte der Kanal aufgrund der hohen Anzahl und der Schwere der Schäden erneuert werden. Die Erneuerung wurde bereits im Abschnitt 4.1 erläutert.

Im Steinwinkel ist bereits der überwiegende Teil der Abwasserkanäle im Jahre 2005 (westlicher Teil) bzw. 2006 (östlicher Teil) saniert worden. Die restlichen und geringfügigen Schäden der Haltungen (s. Tabelle 38) können durch Roboterverfahren

behooben werden.

Tabelle 38 Schäden im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“

Haltungsnummer	Anfangsschacht	Endschacht	Schadensstelle	Schäden	Sanierungsverfahren
30100060	30100060	30110010	6,20 m	LB-O05 (Ausbiegung)	Regelmäßige Reinigung bzw. Erneuerung
30060020	30060020	30060030	18,17 m	SN-O (Stutzen nicht fachgerecht ausgeführt)	Roboterverfahren
30060030	30060030	30060040	26,30 m	HF-U05 (Verfestigte Ablagerungen)	Roboterverfahren
30060030	30060030	30060040	28,70 m	UA-U05 (Undichtigkeit im Anschluss an Rohr)	Roboterverfahren

Bei der Sanierung mittels **Roboterverfahren** wird die Schadensstelle zunächst so weit aufgefräst, dass Reparaturmaterial in ausreichendem Maße aufgebracht werden kann (s. Bild 118). Zur Abdichtung eines Anschlusses wird beispielsweise der einragende Stutzen abgefräst und anschließend eine Nut in die Rohrwandung gefräst. In einem zweiten Arbeitsschritt wird die Arbeitsstelle mit einer Schalung abgedeckt und der entstehende Hohlraum i.d.R. mit Epoxidharzmörtel verpresst.

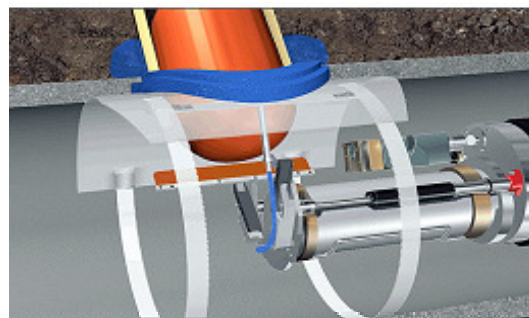
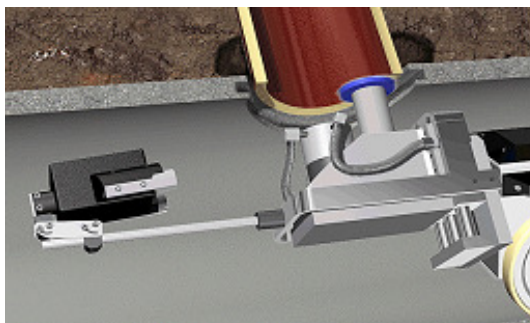


Bild 118 Roboterverfahren

Dieses Verfahren ist geeignet bei Längs-/ Querrissen, Undichtigkeit, Wurzeleinwuchs, Abzweigen und Stutzen.

4.2.4.3 Sanierung der Hausanschlussleitungen

Örtlich begrenzte Einzelschäden bei Hausanschlussleitungen sollten mit den o.a.

Reparaturverfahren (s. Abschn. 4.2.4.2 und Bild 117) behoben werden. Umfangreiche Schäden, bei denen eine Reparatur aus technischen Gründen nicht mehr möglich ist, sollten aufgrund der örtlichen Lage wie z.B. der Verkehrssituation, möglichst durch einen Schlauch-Liner renoviert werden.

DWA-M 143-3 [204] definiert das Schlauch-Lining wie folgt: *„Ein Schlauch aus Trägermaterial, der mit Folien beschichtet sein kann, wird mit Reaktionsharz getränkt und über einen Schacht mit Wasser- oder Luftdruck in den Kanal umgestülpt oder mit Hilfe einer Winde in den Kanal eingezogen. Die Aushärtung erfolgt bei Normaltemperatur, durch Wärmezufuhr oder UV-Licht unter Innendruck. Es entsteht ein muffenloser Liner, der am bestehenden Kanal formschlüssig anliegen muss und mit diesem verbunden sein kann.“*

Beim Schlauch-Lining werden Harze, Träger- und Verstärkungsmaterialien sowie Zusatzstoffe verwendet. Als Trägermaterial eignen sich Glas- und Polymer-Werkstoffe, die gefilzt, gewebt, gewirkt oder gestrickt sind und die mit Folien sowohl innen als auch außen beschichtet sein können. Die Anzahl der zur Zeit auf dem Markt befindlichen Verfahren ist sehr groß. In Abhängigkeit insbesondere von der Art der Einbringung des Liners in die zu sanierende Haltung unterscheidet man zwischen:

- Einbringen durch Inversion (Umstülpen)
- Einbringen durch Einziehen.

Eine exakte Kalibrierung der zu sanierenden Haltungen ist auch vor der Schlauchkonfektionierung zwingend erforderlich.

Je nach Verfahren wird der harzgetränkte Liner über den geöffneten Einsteigschacht oder Inversionstrommel im Keller in die zu sanierende und außer Betrieb gesetzte Kanalhaltung invertiert. Anschließend wird der Liner mittels Wasserdruck aufgeweitet und formschlüssig an die Kanalinnenwand gepresst. Die Aushärtung des Harzes erfolgt unter Aufrechterhaltung des Druckes durch Erwärmung (Warmhärtung). Abschließend erfolgt die Schachtanbindung, die Anpassung des Liners an das Schachtgerinne sowie die Wiederherstellung der Stutzeinbindungen über Hutmanschetten oder Handlamine (s. Bild 119).

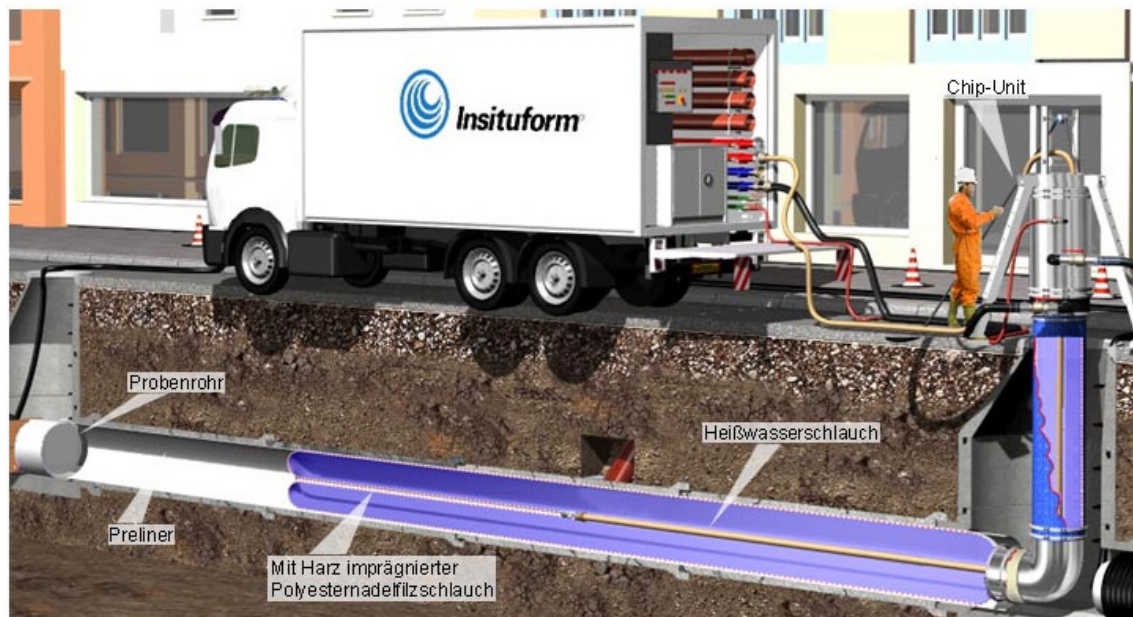


Bild 119 Einbringen des Liners durch Inversion (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Qualität und Funktion sanierter Entwässerungssysteme werden bestimmt durch fachgerechte Planung, Bauausführung und Prüfung.

5 Festlegung von Lösungsansätzen und Konkretisierung der geplanten In-situ – Umsetzung in den Gebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“

5.1 Allgemeines

In diesem Arbeitsschritt werden die im 3. Arbeitsschritt (s. Abschn. 3) konzeptionell entwickelten Möglichkeiten zur Verhinderung des Anstiegs des Grundwasserspiegels, Schaffung von Ableitungssystemen für Grund-, Schichten- und Grundwasser und Möglichkeiten zur Vermeidung von Grundwasserableitungen unter Berücksichtigung aller relevanten Randbedingungen (s. Abschn. 4) kritisch für die Eignung in den vorliegenden Anwendungsfällen überprüft und beurteilt. Dies erfolgt insbesondere unter dem Aspekt der möglichst universellen Nutzung unter wechselnden geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen (z.B. konstant hohe oder stark schwankende Grundwasserspiegel) bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit. Hierzu zählt auch die

Entwicklung und Darstellung einer aussagekräftigen Bewertungsmatrix, in der die einzelnen Maßnahmen bezüglich

- Machbarkeit
- Wirkungsgrad
- Umweltverträglichkeit
- Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten
- Wartungsintensität
- Kosten und Wirtschaftlichkeit usw.

kritisch bewertet werden.

Im Anschluss an diesen Bewertungsprozess werden positiv bewertete Maßnahmen für die folgende Erprobung in den Untersuchungsgebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“ unter Berücksichtigung der vorhandenen Entwässerungssysteme ausgewählt und hinsichtlich ihrer Kombinierbarkeit beurteilt.

Wie oben erläutert, ist die Auswahl der im Abschnitt 3 erläuterten Maßnahmen nicht alleine von technischen Faktoren, sondern auch von ökologischen, ökonomischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Gesichtspunkten abhängig. Um die vielfältigen Einflüsse auf den Auswahlprozess bewerten zu können, ist eine entsprechende Methode erforderlich. Zu einer ganzheitlichen Analyse unter Berücksichtigung auch nicht-monetärer Größen bietet sich insbesondere die Nutzwertanalyse (NWA) dar. Sie stellt eine Bewertungstechnik dar, bei der alle Maßnahmen mit ihren Vor- und Nachteile einheitlich als Nutzungsgrößen in Form einer Bewertungsmatrix dargestellt werden. Nach Zangemeister [205] dient die Nutzwertanalyse zur systematischen Entscheidungsvorbereitung bei Auswahlproblemen.

5.2 Bewertungsmatrix auf Grundlage der Nutzwertanalyse

5.2.1 Methodische Vorgehensweise

Die Nutzwertanalyse ist ein multikriterielles Bewertungsverfahren, welches in der Lage ist, verschiedene Kriterien mit unterschiedlichen Dimensionen vergleichbar zu machen. Multikriterielle Bewertungsverfahren erlangen dann Bedeutung, wenn der Entscheidungsträger verschiedene Ziele bei seiner Entscheidung zu berücksichtigen hat. Bei der Nutzwertanalyse werden alle Wirkungen, soweit dies methodisch möglich ist, in einem dimensionslosen Ordnungsindex, dem sog. Nutzwert, zusammengefasst. Sofern mehrere Möglichkeiten existieren, ist die Alternative mit dem größten Nutzwert zu wählen. Wegen ihres strengen Formalismus und der einfachen Nachvollziehbarkeit findet die Nutzwertanalyse der 1. Generation (Zangemeister – Version [205]) in der Praxis häufig Anwendung. Der Vergleich verschiedener Alternativen liefert eine eindeutige Rangfolge der Präferenz, die über den dimensionslosen Gesamtnutzwert ausgedrückt wird.

Die Nutzwertanalyse erfolgt im Allgemeinen nach [29] in vier Schritten:

- **Konzeptionsphase:** Aufstellung eines Zielsystems, in dem Maßnahmen festgelegt und Bewertungskriterien definiert werden.
- **Bewertungsphase:** Die Bewertungskriterien werden gewichtet. Es erfolgt eine Ermittlung der Teilnutzwerte der einzelnen Varianten in Bezug auf die jeweiligen Bewertungskriterien durch Multiplikation der Punkte und Gewichtung.
- **Ergebnisphase:** Die Nutzwerte werden aus den Teilnutzwerten berechnet. Durch Sortierung nach ihrer Größe ergibt sich eine Rangfolge als Vergleichsmaßstab zur Bewertung der Alternativen untereinander. Je höher der Nutzwert einer Maßnahme ist, desto eher ist die Maßnahme einzusetzen.
- **Sensitivitätsanalyse¹⁰:** Die Wahl der Bewertungskriterien und insbesondere die

¹⁰ hier nicht durchgeführt

Gewichtung können die Ergebnisse beeinflussen. Durch eine Veränderung der Gewichtung kann der Einfluss auf die Rangfolge aufgezeigt werden. Je stabiler eine Rangfolge ist, desto mehr Anspruch auf Objektivität ist an das Ergebnis zu stellen.

Auf Basis der in Abschnitten 2, 3 und 4 gewonnenen Erkenntnisse wird eine ganzheitliche Betrachtung der Bewertung der o.g. Maßnahmen in Form einer Nutzwertanalyse durchgeführt.

5.2.2 Anwendung unter Berücksichtigung der örtlichen Situation

Für die Findung von sinnvollen Maßnahmen werden folgende Anforderungen bzw. Ziele gestellt:

- Wirtschaftliche und leicht umsetzbare Maßnahmen zur Verhinderung des Anstiegs des Grundwasserspiegels, Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser sowie Vermeidung von Grundwasserableitungen,
- Hoher Wirkungsgrad der Maßnahmen bei überschaubarem Aufwand und Sicherstellung der Funktions- und Betriebssicherheit über die Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten der Maßnahmen,
- Geringe Wartungsintensität und Verbesserung der Netzhydraulik,
- Durchsetzbarkeit der Maßnahmen aus rechtlicher Sicht bei geringem Genehmigungsaufwand und
- Verminderungen von schädlichen Umweltauswirkungen, bspw. durch einen Grundwasseranstieg oder eine Mobilisierung von Altlasten.

Die vorgenannten Aspekte werden als Bewertungskriterien definiert. Dabei gilt es, dass die o.g. Zielstellungen mit einem möglichst hohen Nutzen erreicht werden sollen. Entsprechend werden die Bewertungskriterien in Bewertungsmatrizen in Anlehnung an [29] mit einer fünfstufigen Skala von „sehr positiv“ bis „sehr negativ“ bewertet. Da nicht alle Bewertungskriterien als gleichrangig anzusehen sind, werden diese entsprechend ihrer Entscheidungsrelevanz zusätzlich in drei Stufen von „mäßig wichtig“ über „wichtig“ bis „sehr wichtig“ gewichtet. In Tabelle 39 bis 41 sind die Nutzwertanalysen in Form

einer qualitativen Bewertungsmatrix für die Maßnahmen zur

- Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs (s. Tabelle 39),
- Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser (s. Tabelle 40) und
- Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden (s. Tabelle 41) separat dargestellt.

Tabelle 39 Bewertung von Maßnahmen zur Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs

Maßnahmen zur Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs		Gewichtung	Bauliche Maßnahmen							
			Dränierung des Grundwassers in der Umgehung der Liegenschaften				Brunnen			
			Grundwasserabsenkung mit Ableitung (GmA)		Grundwasserabsenkung mit Versickerung (GmV)		Horizontalfilterbrunnen (HFB)		Vertikale Tiefbrunnen (VTB)	
			P	TN	P	TN	P	TN	P	TN
Bewertungskriterien	Machbarkeit	3	+	3+	-	3-	0	0	0	0
	Hoher Wirkungsgrad	3	++	6+	-	3-	0	0	0	0
	Hohe Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten	3	-	3-	-	3-	+	3+	+	3+
	Geringe Wartungsintensität	1	-	1-	-	1-	-	1-	-	1-
	Geringe Genehmigungsschwierigkeiten	2	+	2+	0	0	+	2+	+	2+
	Geringe Kosten	3	-	3-	-	3-	--	6-	-	3-
	Auswirkung auf Grund- und Oberflächengewässer (Umweltbeitrag)	3	+	3+	-	3-	0	0	0	0
	Verbesserung der Netzhydraulik	2	+	2+	+	2+	0	0	0	0
	Offene Bauweise bei hoher Verkehrsbelastung möglich	3	+	3+	+	3+	0	0	0	0
	Aufwand für Hausanschlüsse	3	-	3-	-	3-	-	3-	-	3-
	Finanzierung über allgemeine Abwassergebühren	2	+	2+	+	2+	0	0	0	0
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)				11+		12-		5-		2-
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS/TS)			1		4		3		2	
Gewichtung: 1-mäßig wichtig; 2-wichtig; 3-sehr wichtig; Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Die Teilnutzwerte (TN) ergeben sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)										

Tabelle 40 Bewertung von Maßnahmen zur Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser

Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser		Gewichtung	Bauliche Maßnahmen													
			Kanäle mit im Leitungsgraben verlegten Dränkanal				Rohr-in-Rohr-Lösungen		Modifiziertes Trenn- und Mischsystem unter Nutzung eines Altkanals							
			(...Dränkanal mit Zuführung des Dränwassers zu einer geeigneten Versickerungsstelle (DVS))		(...Dränkanal mit Zuführung des Dränwassers zu einem nahe gelegenen Vorfluter (DVF))		(...Rohr-in-Rohr-Lösungen im Misch- und Trennsystem)		(...Umstellung auf modifiziertes Trennsystem: Alter Schmutzwasserkanal = Dränkanal (T 1))		(...Umstellung auf modifiziertes Trennsystem: Alter Regenwasserkanal = Dränkanal (T 2))		(...Hydraulische Sanierung des Regenwasser- und Dränkanals (T 3))		(...Nutzung des Mischwasserkanals als Regenwasser- und Dränkanals sowie Bau eines separaten Schmutzwasserkanals (M))	
			P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN
Bewertungskriterien	Machbarkeit	3	-	3-	+	3+	0	0	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+
	Hoher Wirkungsgrad	3	-	3-	++	6+	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+
	Hohe Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten	3	-	3-	-	3-	-	3-	--	6-	--	6-	--	6-	--	6-
	Geringe Wartungsintensität	1	-	1-	-	1-	--	2-	--	2-	--	2-	-	1-	-	1-
	Geringe Genehmigungsschwierigkeiten	2	0	0	+	2+	0	0	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+
	Geringe Kosten	3	-	3-	-	3-	-	3-	--	6-	--	6-	-	3-	-	3-
	Auswirkung auf Grund- und Oberflächengewässer (Umweltbeitrag)	3	-	3-	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+
	Verbesserung der Netzhydraulik	2	+	2+	+	2+	0	0	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+
	Offene Bauweise bei hoher Verkehrsbelastung möglich	3	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+
	Aufwand für Hausanschlüsse	3	-	3-	-	3-	--	6-	--	6-	--	6-	--	6-	--	6-
	Finanzierung über allgemeine Abwassergebühren	2	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)			12-		11+		3-		2-		2-		2+		2+	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS)		4		1		3								2		
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (TS)		5		1		4		3		3		2				
Gewichtung: 1-mäßig wichtig; 2-wichtig; 3-sehr wichtig; Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Die Teilnutzwerte (TN) ergeben sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)																

Tabelle 41 Bewertung von Maßnahmen zur Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden

Maßnahmen zur Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden		Gewichtung	Bauliche Maßnahmen								
			Mineralische Kapselung				Dichtriegel (Querschott)				
			(....auf ganzer Haltungsebene (MKG))		(...in gewissen Abständen bzw. an neuralgischen Punkten (MKP))		(....wasserdichte Injektionskörper aus z.B. Zementsuspension auf ganzer Haltungsebene (DRG))		(...gezielte Schlitzte mit wasserundurchlässigem Boden z.B. verdichtetem Ton, Bentonit (DRP))		
P		TN		P		TN		P		TN	
Bewertungskriterien	Machbarkeit	3	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	
	Hoher Wirkungsgrad	3	-	3-	-	3-	-	3-	-	3-	
	Hohe Nutzungsdauer bzw. Langzeitverhalten	3	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	
	Geringe Wartungsintensität	1	--	2-	-	1-	+	1+	-	1-	
	Geringe Genehmigungsschwierigkeiten	2	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+	
	Geringe Kosten	3	--	6-	-	3-	--	6-	-	3-	
	Auswirkung auf Grund- und Oberflächengewässer (Umweltbeitrag)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Verbesserung der Netzhydraulik	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Offene Bauweise bei hoher Verkehrsbelastung möglich	3	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	
	Aufwand für Hausanschlüsse	3	-	3-	-	3-	-	3-	-	3-	
	Finanzierung über allgemeine Abwassergebühren	2	--	6-	--	6-	--	6-	--	6-	
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)				9-		5-		6-		5-	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS/TS)			3		1		2		1		
Gewichtung: 1-mäßig wichtig; 2-wichtig; 3- sehr wichtig; Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Die Teilnutzwerte (TN) ergeben sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)											

Die Grundlage für die vorgenommene Bewertung bilden die Aspekte der einzelnen Maßnahmen, die bereits in Abschnitten 2, 3 und 4 genannt sind, so dass an dieser Stelle auf eine Erläuterung der Bewertung im Einzelnen verzichtet wird.

5.2.3 Bewertungsergebnisse

Folgende Bewertungsergebnisse können aus der Nutzwertanalyse abgeleitet werden:

Für die Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs hat sich die Maßnahme „Dränierung des Grundwassers in der Umgehung der Liegenschaften“ durchgesetzt (s. Tabelle 39). Bei dieser Variante wird das anfallende Sicker-, Schichten- und Grundwasser von am Hang liegenden Grundstücken zur Einstellung von Grundwasserflurabständen oberhalb der Gebäude gesammelt, abgeleitet und in den „Nettebach“ eingeleitet. In den unterkellerten Gebäuden sollten unter den gegebenen geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen Dränleitungen für die Bodenentwässerung eingebaut werden. Ansonsten kann das angestaute Sicker-, Schichten- und Grundwasser nicht abgeführt werden. Gleichzeitig können im Zuge der Erneuerungsmaßnahme der Hausanschlüsse auch fehlende Dränleitungen durch Freilegen der Gebäudeaußenflächen verlegt werden. Bei dieser Variante ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen der Erneuerungsmaßnahme auch die Schmutzwasserleitungen im Bereich der Kellerdecke abgehängt (s. Abschn. 3.1.3) und über neue Grundleitungen und Anschlusskanäle an den Misch- bzw. Schmutzwasserkanal angeschlossen werden können. Wenn eine Kellerentwässerung erforderlich wird, kann diese über eine Abwasserhebeanlage in die Grundleitungen erfolgen.

Für die Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser empfiehlt es sich sowohl im Misch- als auch im Trennsystem die Maßnahme „Kanäle mit im Leitungsgraben verlegten Dränkanal“ (s. Tabelle 40). Das seitlich zufließende Sicker-, Schichten- und Grundwasser von Dränleitungen wird durch den Dränkanal aufgenommen. Vorhandene oder zukünftig herzustellende Dränleitungen werden ebenfalls an den Dränkanal angeschlossen. Die Baukosten für das Dränagesystem können nach § 53c LWG [206] wie beim Bau eines Trennsystems auf die Abwassergebühren umgelegt werden. Der dazu notwendige Neubau von einem

Dränkanal ermöglicht es, dass Hauseigentümer ihr Dränwasser auf kurzem Wege in einen Vorfluter ableiten können. Um eine Fremdwasserreduzierung zu erreichen, müssen Hauseigentümer die gesamte Grundstücksentwässerungsanlage abdichten und vorhandene Dränleitungen von der Mischwasserkanalisationen abklemmen und an den neu geplanten Dränkanal anschließen. Das Dränagesystem bietet hier weiterhin den Vorteil, dass es nicht zwingend flächendeckend anzulegen ist, sondern vergleichsweise flexibel an den Bedarf angepasst werden kann. Ein weiterer Vorteil der Lösung gegenüber der Systemumstellung auf ein Trennsystem sind die geringeren Herstellungskosten im öffentlichen Bereich.

Für die Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden hat sich die Maßnahme „Mineralische Kapselung“ und die Maßnahme „Dichtriegel (Querriegel)“ innerhalb der zur Erneuerung der Anschlusskanäle / Grundleitungen vorgesehenen bzw. der vorhandenen Leitungsgräben als optimal erwiesen (s. Tabelle 41). Bei diesen Varianten werden gezielt nur an neuralgischen Punkten entlang der Leitungen entsprechende spezielle Mineralgemische bzw. wasserundurchlässige Böden eingebracht. Diese Maßnahmen sind allerdings für die betrachteten Untersuchungsgebiete nicht sinnvoll, da mit einem entsprechenden Wiederanstieg des Grundwassers zu rechnen ist. Dabei besteht die Gefahr, dass diese kostenaufwändigen Verfahren keine Wirkung im Hinblick auf die Vermeidung von Grundwasserableitungen durch die Leitungsgräben der Anschlusskanäle / Grundleitungen zu den Gebäuden erzielen. Darüber hinaus wird mit diesen Maßnahmen der Fremdwasseranfall nur indirekt bzw. gar nicht reduziert, indem der Grundwasserzufluss möglicherweise in die Zonen eines undichten Kanal- bzw. Leitungsnetzes umgelenkt wird. Durch das favorisierte Dränagesystem wird auch schon vorher das Grundwasser abgesenkt und transportiert, so dass diese Maßnahmen nicht erforderlich werden. Angesichts der o.g. Nachteile sowie der wirtschaftlichen Randbedingungen dieser Verfahren sollte im vorliegenden Anwendungsfall darauf verzichtet werden.

Im Gesamtblick bieten die Maßnahmen „Dränierung des Grundwassers in der Umgehung der Liegenschaften“ und „Kanäle mit im Leitungsgraben verlegtem Dränkanal“ als Transport- und GW-Absenkfunktion technisch und rechtlich zuverlässige Lösungen.

5.2.4 Fremdwassersanierungskonzept

Nachfolgend ist das ausgewählte Fremdwassersanierungskonzept „Im Steinwinkel“ in den Bildern 120 bis 122 dargestellt. Während der ehemalige Mischwasserkanal nun in diesem Untersuchungsgebiet als reiner Schmutzwasserkanal fungiert und nur Schmutzwasser ableitet, erfolgt die Ableitung des Regenwassers von Straßen- und Dachflächen über die Dränkanäle. Da in diesem Untersuchungsgebiet von einer befestigten Fläche mit schwachem Kfz- Verkehr (fließend oder ruhend), z.B. Wohnstraßen (s. Anhang 4) mit Park- und Stellplätzen, Zufahrten zu Sammelgaragen, sonstige Parkplätze, ausgegangen werden kann, ist in Anlehnung an den Runderlass des MUNLV NRW 207] keine Regenwasserbehandlung erforderlich. Hierbei handelt es sich um ein schwach belastetes (= gering verschmutztes) Niederschlagwasser (Kategorie II). Die Kläranlage Altena – Pragpaul wird sowohl von Dränwasser als auch von Regenwasser entlastet. Damit werden Fremd- und Regenwasser reduziert, ein hoher Umweltbeitrag zur Gewässerreinigung gewährleistet und gleichzeitig Behandlungskosten eingespart.

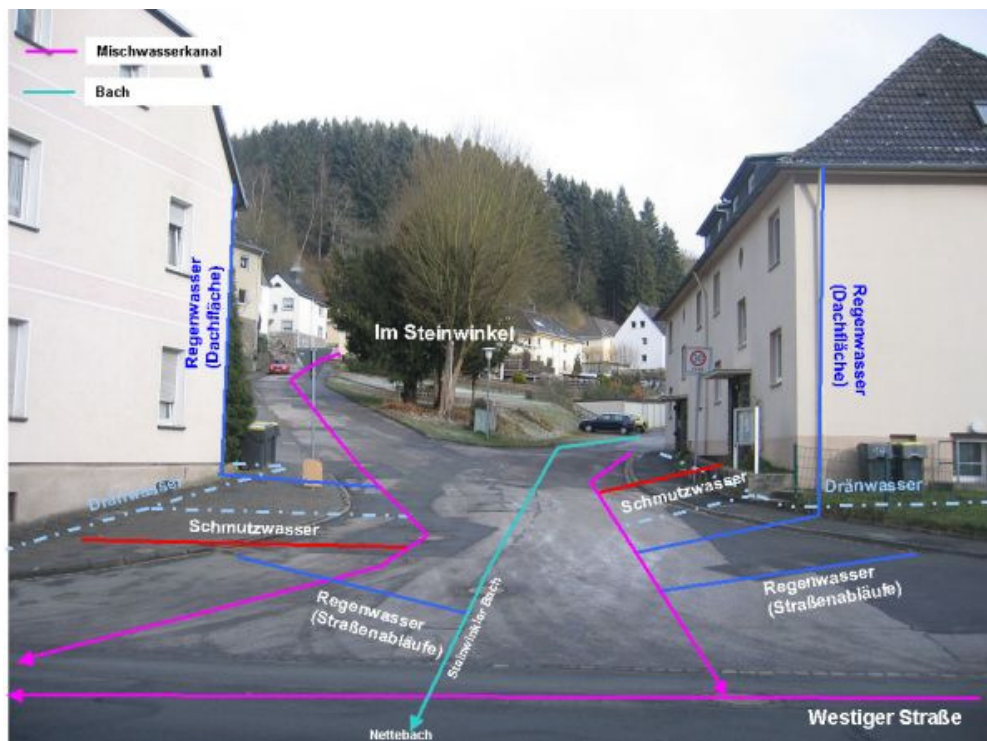


Bild 120 Bestehende Entwässerungssituation für das Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“

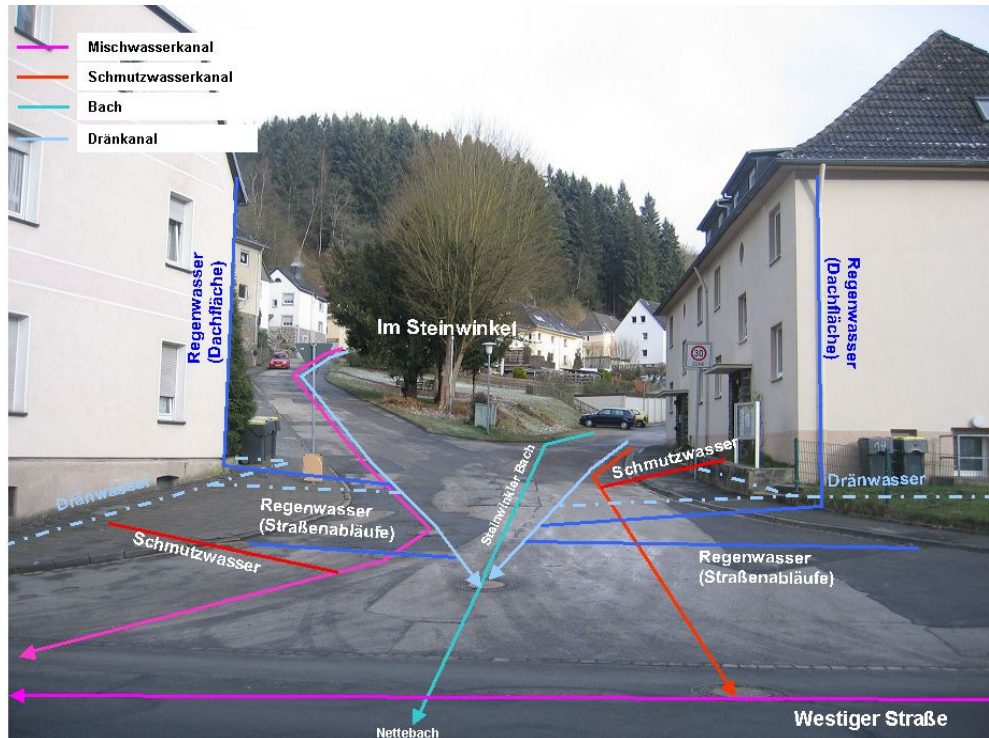


Bild 121 Fremdwassersanierungskonzept für das Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“

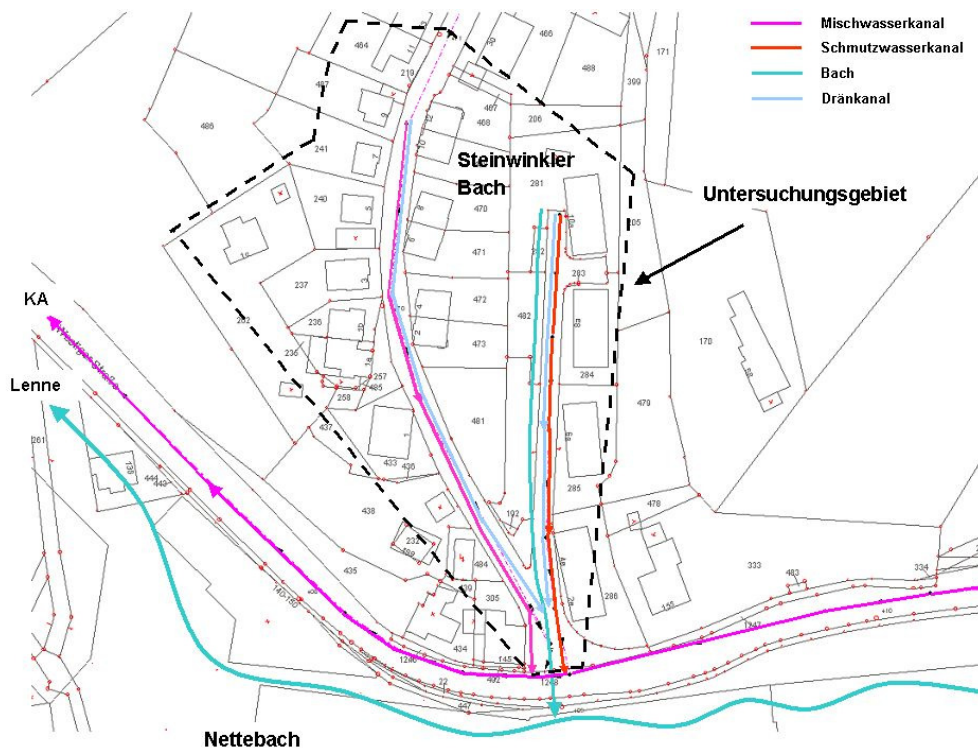


Bild 122 Lageplan des Fremdwassersanierungskonzeptes für das Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“

In den Bildern 123 bis 125 ist das Fremdwassersanierungskonzept an der „Nettestraße“ dargestellt. Im Gegensatz zum Fremdwassersanierungskonzept „Im Steinwinkel“ erfolgt bei der „Nettestraße“ weiterhin die Sammlung und Ableitung des Schmutz- und

Regenwassers im Mischwasserkanal, da sich hier eine Vielzahl von Drahtwerken (Produktionsbetriebe) befinden. Die „Nettestraße“ ist charakterisiert durch eine Landstraße mit starkem Kfz-Verkehr (fließend und ruhend) sowie Großparkplätze als Dauerparkplätze mit häufiger Frequentierung (s. Anhang 4), so dass diese Straße in Anlehnung an den Runderlass des MUNLV NRW [207] um stark belastetes (= verschmutztes) Niederschlagwasser (Kategorie III) eine Regenwasserbehandlung erforderlich wird. Das Drän- und Grundwasser wird hierbei über einen separaten Dänkanal in den Nettebach abgeführt.

Der vorhandene Regenwasserkanal, welcher stückweise von Schachtnr. 30300042 zu Schachtnr. 30320062 verlegt ist, kann demnach auch nicht weiter benutzt werden, da das Regenwasser aufgrund der o.g. Randbedingungen vor der Einleitung in den Nettebach durch entsprechende Regenwasserbehandlungsanlagen geklärt werden muss. In den Bildern 123 bis 125 ist festzustellen, dass der Bau einer Regenwasserbehandlungsanlage an dieser Straße wegen der stark besiedelten bzw. bebauten Fläche nicht realisiert werden kann, so dass weiterhin das klärpflichtige Regenwasser über den Mischwasserkanal in die Kläranlage Altena –Pragpaul abgeleitet werden muss. Dennoch wird insgesamt diese Kläranlage von Dränwasser entlastet. Damit wird ebenfalls Fremdwasser reduziert, ein hoher Umweltbeitrag zur Gewässerreinigung gewährleistet und gleichzeitig werden Behandlungskosten eingespart.

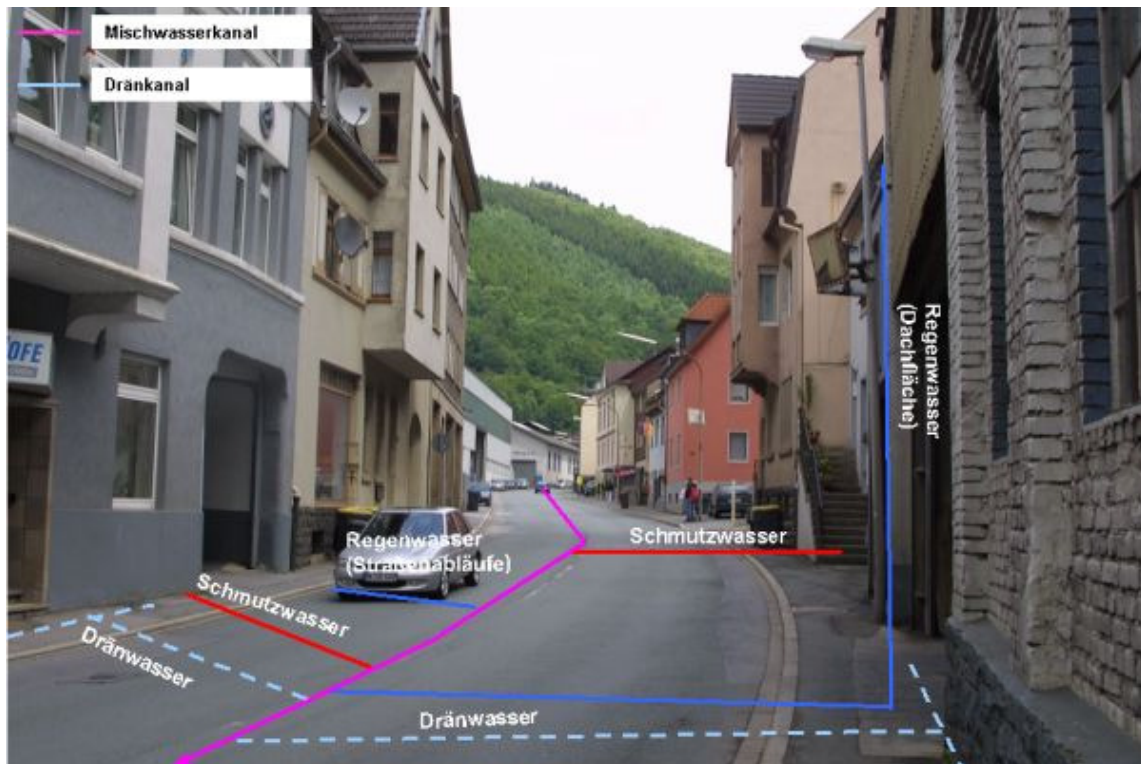


Bild 123 Bestehende Entwässerungssituation an der „Nettestraße“

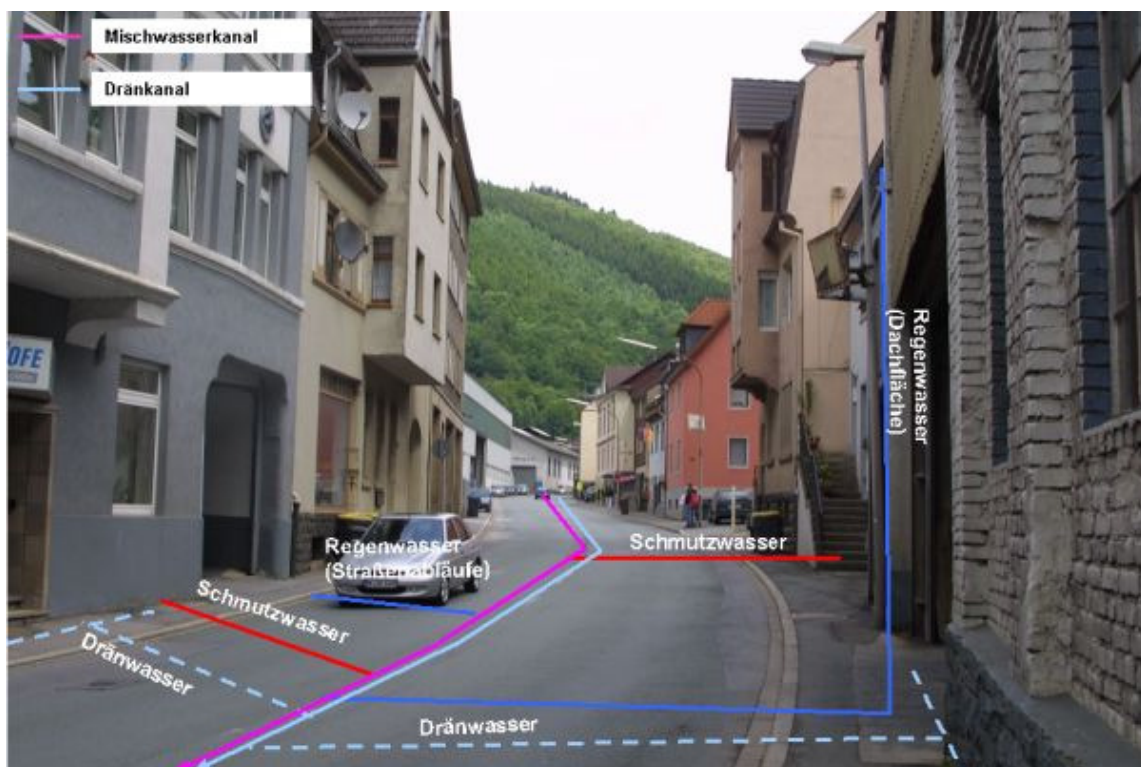


Bild 124 Fremdwassersanierungskonzept für das Untersuchungsgebiet an der „Nettestraße“

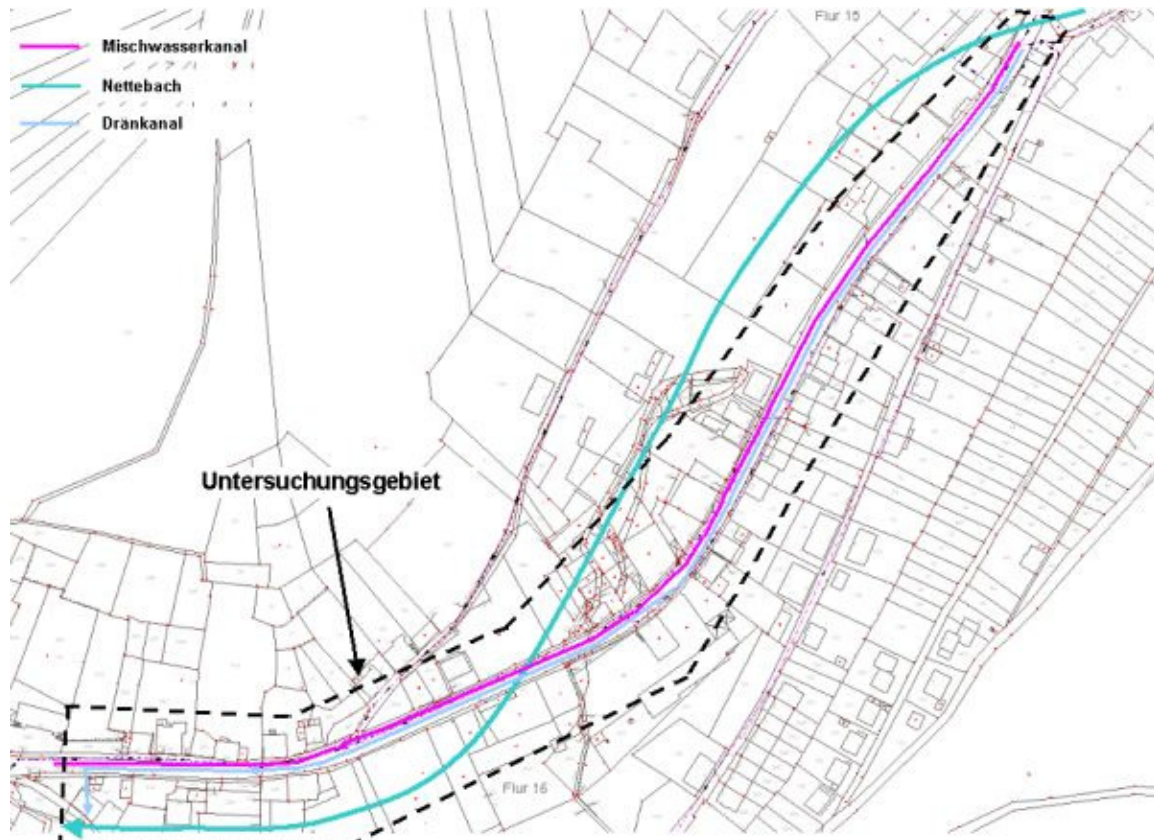


Bild 125 Lageplan des Fremdwassersanierungskonzeptes für das Untersuchungsgebiet an der „Nettestraße“

Die Wirkung von Sanierungsmaßnahmen an öffentlichen Abwasserkanälen bzgl. der Fremdwasserreduzierung bleibt beschränkt, solange die Sanierung der privaten Leitungen nicht durchgeführt wird. Aus diesem Grund erscheint es erforderlich, eine ganzheitliche Sanierung von öffentlichen und privaten Leitungen durchzuführen.

Eine Möglichkeit besteht im Falle der Erneuerung darin, die alte Leitung unter der Bodenplatte stillzulegen und durch ein neues, unter der Kellerdecke abgehängtes Leitungssystem mit Revisionsöffnung zu ersetzen (s. Abschn. 3.1.3.1). Sowohl an der „Nettestraße“ (s. Bild 127) als auch „Im Steinwinkel“ (s. Bild 126) kann dieses Konzept angewendet werden. Aufgrund der vorliegenden großen Grundstücksflächen bei den Anliegern „Im Steinwinkel“ bietet sich im Vergleich zum Untersuchungsgebiet an der „Nettestraße“ zusätzlich der Bau von Revisionsschächten an, welche auch in der neuen § 61a LWG NRW [206] gefordert werden. Der Abstand der Revisionsschächte (Schachtmittelpunkt) sollte vom Straßenrand einschließlich Bürgersteig (Grundstücksgrenze) vorzugsweise einen Abstand von ca. 1,5 m aufweisen.

S = Schmutzwasserkanal
D = Dränkanal

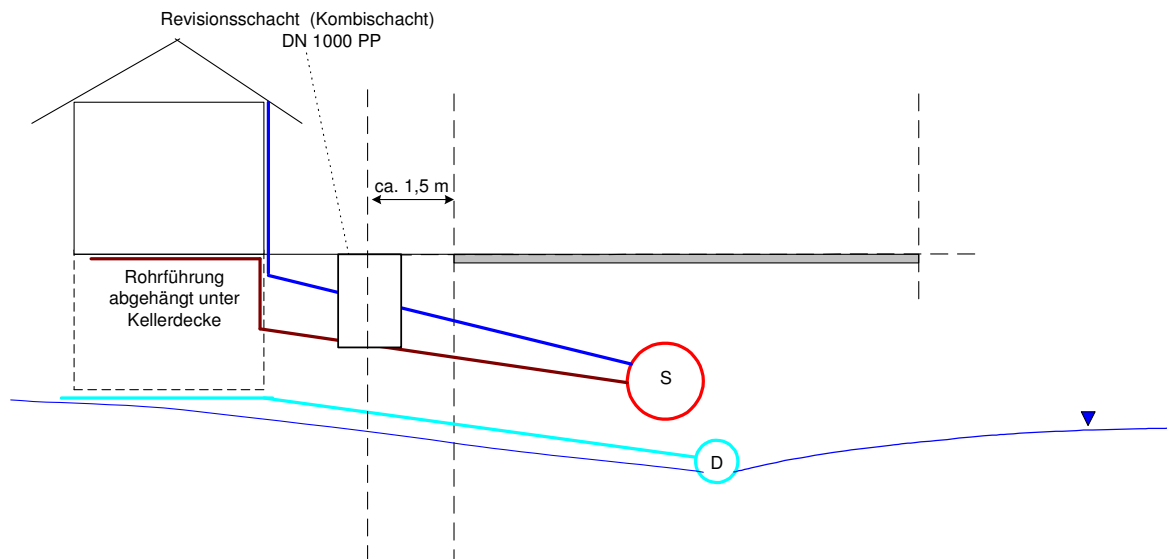


Bild 126 Konzept der Hausanschlussleitungen im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“

S = Mischwasserkanal
D = Dränkanal

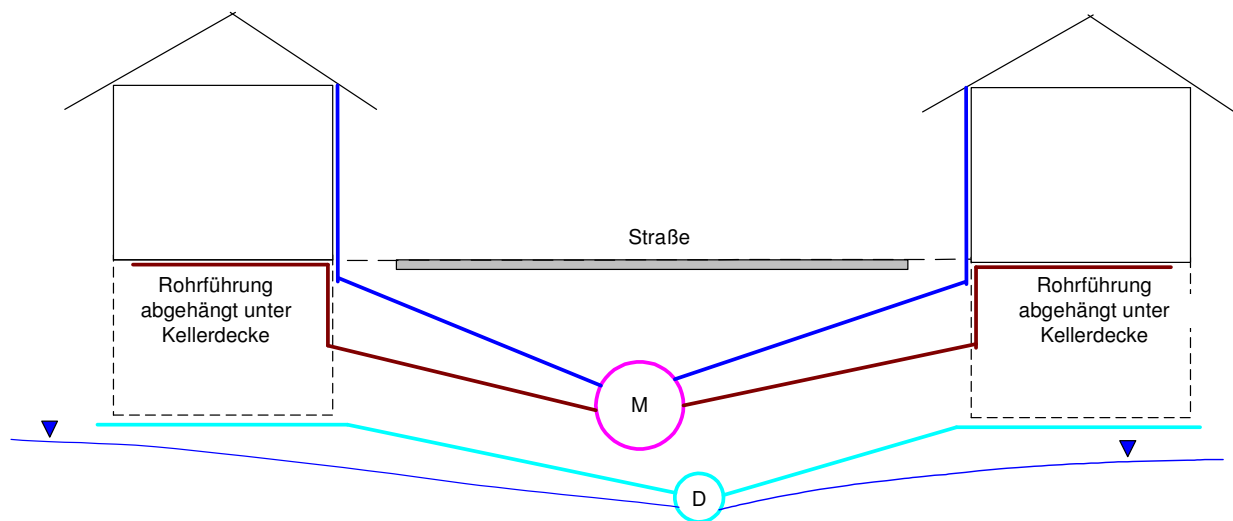


Bild 127 Konzept der Hausanschlussleitungen im Untersuchungsgebiet an der „Nettestraße“

Da zur Zeit keine Informationen bzw. Daten über den baulichen Zustand der Hausanschlussleitungen vorliegen, werden im Rahmen des Forschungsvorhabens nur die Inspektionsarbeiten ausgeschrieben. Die Inspektion der Hausanschlussleitungen kann dabei mittels TV-Satelittenkameras durchgeführt werden.

5.3 Vorbereitung geeigneter Beweissicherungsmaßnahmen

Beweissicherungsmaßnahmen (auch Bauzustandsdokumentationen genannt) werden im Zuge von Bauvorhaben durchgeführt, bei denen eine Gefährdung der angrenzenden Bebauung nicht auszuschließen ist. Hiermit wird eine Beurteilungsgrundlage für eventuelle Schadenersatzforderungen geschaffen; gleichzeitig beugt das Beweissicherungsverfahren ungerechtfertigten Schadenersatzansprüchen vor.

Deshalb ist die Durchführung von Beweissicherungsverfahren bei Kanalbaumaßnahmen innerhalb dichter Bebauung üblich geworden. Sie wird vom Deutschen Städtetag, dem Kommunalen Versicherungsverband sowie namhaften Haftpflicht-Versicherern auch allgemein für Kanal- und Straßenbauarbeiten empfohlen.

Voraussetzung ist, dass zuverlässige Zustandsfeststellungen der angrenzenden Objekte sowohl in textlicher als auch in fotodokumentarischer Form getroffen werden. Da im Zuge der Baumaßnahmen mit Veränderungen des Schadensbildes zu rechnen ist, in Rechtsstreitigkeiten die Beweislage jedoch eine entscheidende Bedeutung gewinnt, ist der Beweissicherung eine wichtige Rolle zuzuschreiben. Die Dokumentation zum baulichen Zustand des Bestandes erfolgt auf Grundlage der Empfehlungen der DIN-Vorschrift 4123, Pkt. 5.5 [208, 209] bzw. im gerichtlichen Beweisverfahren nach §§ 485 - 494 ZPO.

Beweissicherungsmaßnahmen werden in der Regel vor Beginn der Baumaßnahme und nach deren Beendigung durchgeführt. Fallweise sind Zwischenbegehungen zur Abgrenzung von Haftungsrisiken verschiedener Unternehmer (z.B. nach Herstellung des Baugrubenverbaus usw.), bei auftretenden Schäden während der Baudurchführung, vor Ablauf der Gewährleistungsfrist zweckmäßig bzw. erforderlich.

In erster Linie werden bei der Durchführung von Kanalbauarbeiten, d.h. dort, wo beispielsweise mit Vernässungsschäden gerechnet werden muss bzw. diese nicht auszuschließen sind, von den zuständigen Behörden, planenden Architekten oder bauausführenden Firmen zunehmend vor Baubeginn Sachverständige beauftragt, entsprechende Beweissicherungsgutachten zu erstellen.

In der „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“, in denen undichte Abwasserleitungen und

-kanäle als Dränleitungen wirken und den Grundwasserspiegel z.T. großflächig – gerade auch über einen längeren Zeitraum - abgesenkt haben, ist nach einer Kanalsanierung mit einem entsprechend großflächigen, beträchtlichen Wiederanstieg des Grundwasserspiegels zu rechnen (s. Abschn. 1.1).

Um sich in dieser Hinsicht vor einer ungerechtfertigten Inanspruchnahme durch den Verursacher zu schützen, sollte eine erste Beweissicherung durch Grundwassermessungen unmittelbar vor der Kanalsanierung und eine weitere nach der Kanalsanierung durchgeführt werden. Im vorliegenden Anwendungsfall sollten an den benachbarten Gebäuden bzw. Kanälen die jeweiligen Grundwasserstände eingemessen werden, um den Grundwasseranstieg (vorher/nachher) zu beweisen. Dies entspricht der Regelung in § 3 Nr. 4 VOB/B und ist schon deshalb erforderlich, weil eine präzise zeitliche Eingrenzung des Schadenseintritts notwendig wird.

6 Planung der Erneuerungsmaßnahmen in den Gebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“

6.1 Allgemeines

Für die bauliche Umsetzung des Fremdwasserkonzeptes wird die Erneuerung in offener Bauweise vorgeschlagen. Hierbei sind die Arbeitsschritte Grabenaushub, Grabenverbau bzw. -sicherung, Auflagerausbildung, lage- und höhenrichtige Rohrverlegung, Einbettung und Überschüttung auszuführen. Diese Arbeitsabläufe erfordern einerseits die Herstellung eines breiten Leitungsgrabens und sind andererseits trotz des Einsatzes von Spezialbaumaschinen nach wie vor durch einen hohen Anteil manueller Arbeiten gekennzeichnet, was zu einem hohen Lohnkostenanteil führt und – wie verschiedene Untersuchungen eindeutig ergaben – die wesentliche Ursache für einen hohen Anteil der bundesweit an Kanälen festgestellten Schäden darstellt.

Nachfolgend werden wichtige Planungsdetails näher erläutert.

6.2 Auflagerung und Bettung der Rohrleitungen

Die Qualität des Rohraufagers beeinflusst bei der Rohrverlegung in offener Bauweise wesentlich die Tragfähigkeit, Gebrauchsfähigkeit, Betriebssicherheit und die bestimmungsgemäße Nutzungsdauer der verlegten Rohre sowie das Setzungsverhalten des Bodens.

Das Auflager muss eine gleichmäßige Druckverteilung unter dem Rohr sicherstellen. Die Rohre müssen über die gesamte Schaftlänge aufliegen, da Linien- oder Punktlagerungen zu Schäden führen.

Die höhenmäßig exakte Ausbildung des Auflagers bestimmt zudem die Lagegenauigkeit des fertigen Kanals.

Bei sorgfältiger Vorbereitung des Rohraufagers werden zeitintensive und qualitätsmindernde Korrekturmaßnahmen bei der Ausrichtung der Rohre bereits im Vorfeld vermieden.

Für das Zusammenfügen der zu verlegenden Rohre sind in jedem Fall die entsprechenden Herstellervorgaben einzuhalten.

Nachfolgend werden in den Bildern 128 bis 130 Beispiele für die Auflagerung und Bettung der Rohrleitungen exemplarisch dargestellt.



Bild 128 Verteilen des Schottermaterials zur Herstellung der unteren Bettungsschicht [Rohraufleger] (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)



Bild 129 Verdichten des Rohraufagers (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)



Bild 130 Fertig gestelltes Rohrauflager (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Nach einer abschließenden Kontrolle in Längsrichtung (Laserstrahl) und in Querrichtung (Wasserwaage) kann das Auflager für die Verlegung des Rohres vorbereitet werden (s. Bild 131).



Bild 131 Kanallaser im Schacht zum Nivellement des Auflagers und der Rohre (Laserstrahl angedeutet)
[Bildmaterial: S & P Consult GmbH]

Die Auflagerung der Rohre über die gesamte Schaftlänge sowie eine sorgfältige Verdichtung des Bettungsmaterials im Zwickelbereich ist sicherzustellen.

Für die Bettung der geplanten Kanäle ist eine Sand-Kies-Gemisch ≤ 16 mm gemäß der DIN EN 1610 [71] (Schichtdicke: 30 cm) vorgesehen (s. Anhang 5).

6.3 Verlegeverfahren und -technik

Die Verlegung der Rohre stellt bei der offenen Bauweise einen wesentlichen Arbeitsschritt dar, welcher häufig zu Fehlern und damit verbundenen Schäden am Rohr führt.

Besonders die Vorgänge „Einbringen der Rohre in den Graben“, „Ausrichten in Richtung und Höhenlage“ sowie „Zusammenfügen“ spielen dabei eine besondere Rolle.

6.3.1 Einbringen der Rohre in den Graben

Zum Einbringen der Rohre in den Graben sind nach DIN EN 1610 [71] auf das Rohr abgestimmte Geräte wie Rohrgreifer, Gehänge mit passenden Anschlagmitteln etc. einzusetzen (s. Bild 132).



Bild 132 Einbringen der Rohre in den Graben (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Für das Zusammenfügen der zu verlegenden Rohre sind in jedem Fall die entsprechenden Herstellervorgaben einzuhalten.

6.3.2 Ausrichten der Rohr

Die Ausrichtung der Rohre in Richtung und Höhenlage ist erforderlich für die spätere Lagegenauigkeit des fertig gestellten Kanals. Abweichungen können hier zu Unterbögen und damit hydraulischen Einschränkungen sowie zur Bildung von Ablagerungen im Kanal führen.

Bei der Ausrichtung der Rohre ist sicherzustellen, dass das Rohr immer über die gesamte Länge gleichmäßig aufgelagert ist und nicht – was in der Praxis häufig vorkommt – lediglich an einem Ende „unterfüttert“ wird und damit nur noch punktuell aufliegt (s. Bild 133).

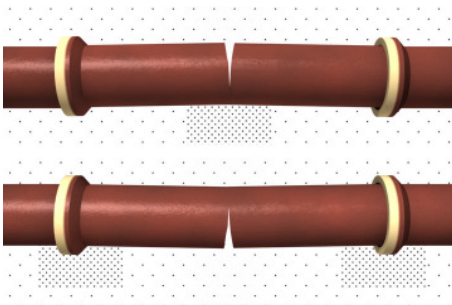


Bild 133 Ungleichmäßige Auflagerung von Rohren in Längsrichtung mit den möglichen Folgen (schematische Darstellung) (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

6.3.3 Zusammenfügen der Rohre

Die Rohre sind i.d.R. frei hängend zusammenzufügen (s. Bild 134), ein Schieben der Rohre über die vorbereitete Bettung ist insbesondere bei schweren Rohren zu vermeiden. Zum Zusammenfügen von Rohren fordert DIN EN 1610 [71]: *„Wenn Rohre nicht manuell verbunden werden können, sind geeignete Geräte zu verwenden. (...) Die Rohre sollten unter stetigem Aufbringen axialer Kräfte zwängungsfrei verbunden werden, ohne die Bauteile zu überlasten.“*



Bild 134 Frei hängendes Zusammenfügen der Rohre im Graben (Bildmaterial: S & P Consult GmbH)

Im ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 139 [197] heißt es darüber hinaus: *„Es dürfen nur Geräte verwendet werden, die ein kontrolliertes Zusammenführen der Rohre ermöglichen. Ein Abscheren der Dichtelemente oder Sprengen der Rohrmuffe kann so vermieden werden. Das Zusammenschieben von Rohren mit dem Baggerlöffel ist wegen unkontrollierbarer Kraftentfaltung und wegen möglicher Beschädigungen nicht zulässig, es sei denn, der Rohrhersteller lässt dies für sein Produkt zu.“*

Um auf diese Problematik besonders hinzuweisen, heißt es in der DIN EN 1610 [71] folgerichtig: *„Abschließende Verlegekorrekturen dürfen niemals durch örtliches Herummurksen erfolgen.“*

Es existieren eine Reihe marktüblicher Geräte als Hilfsmittel bei der Rohrverlegung in offener Bauweise. Diese dienen jedoch ausschließlich zum Greifen und Ablassen der Rohre in den Graben sowie zum Aufbringen einer axialen Kraft zum Zusammenfügen der Rohre, ein Ausrichten der Rohre ist mit diesen Gerätschaften nicht möglich. Die Ausrichtung erfolgt manuell unter Nutzung der beiderseitigen seitlichen Arbeitsräume im

Rohrgraben.

Insbesondere bei kleineren Nennweiten werden die Geräte von außen am Rohr angesetzt (s. Bild 135), z.T. werden Geräte auf Basis der „Verlegezange“ zum Transport und zum Ablassen der Rohre in den Graben mit genutzt (s. Bild 135 und Bild 136).



Bild 135 Zugvorrichtung für Rohre mit Glockenmuffe – Einsatz mit Traverse (WIMAG GmbH) [210]

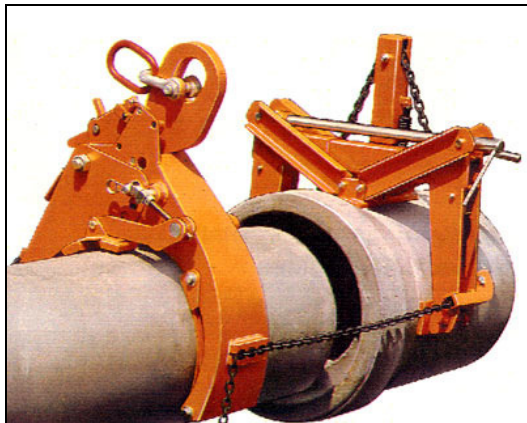


Bild 136 Zugvorrichtung für Rohre mit Glockenmuffe – Einsatz mit Rundgreifer (WIMAG GmbH) [210]

Bei größeren Rohrnennweiten kommen zum Zusammenfügen der Rohre i.d.R. Geräte zum Einsatz, welche innen im bereits verlegten und ausgerichteten Rohr verspannt werden und das neu zu verlegende Rohr über ein Zugband und eine Traverse in die endgültige Lage ziehen (s. Bild 137).

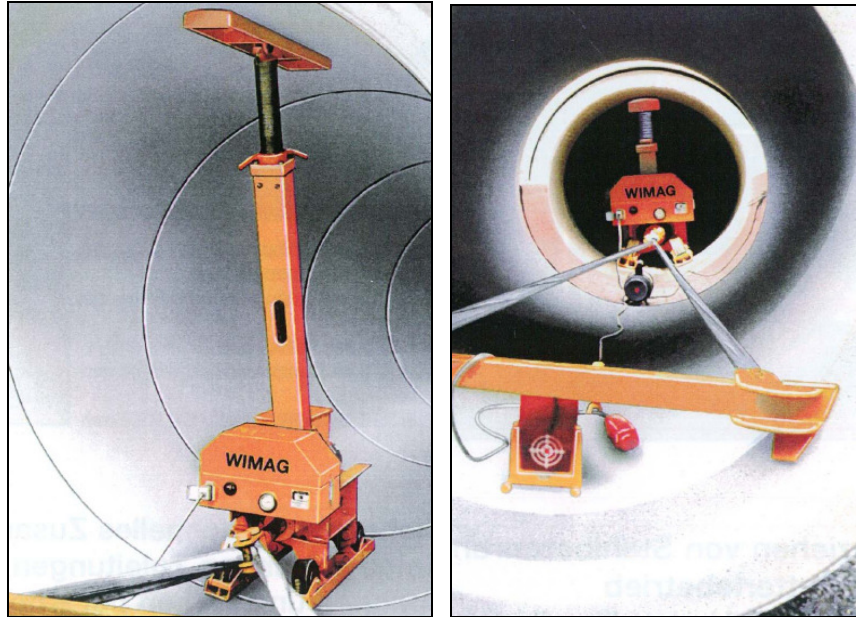


Bild 137 Rohrzuggerät zum Zusammenfügen von Rohren größerer Nennweite (WIMAG GmbH) [210]
(links: im Rohr verspanntes Zuggerät, rechts: Traverse mit Zugband)



Bild 138 Rohrzuggerät für das Zusammenfügen der Rohre

Aufgrund der vorliegenden Randbedingungen in der Stadt Altena können die Rohrgreifer bzw. -zangen der Firma Winden- und Maschinenbau Gressbach GmbH (WIMAG GmbH), Oberburg zum Ablassen der Rohre in den Graben und das Zusammenfügen der Rohre eingesetzt werden.

6.4 Evaluierung RSS-Schachtsystem und Einbettung der Kanäle in Bodenmörtel (Konsultation des Herstellers wg. Planung und Ausführung)

6.4.1 Schachtausbildung und –konstruktion

Eine immer häufiger erhobene Forderung bei der Erschließung von Neubaugebieten ist, das Regenwasser aus der Schmutzwasserkanalisation fernzuhalten. Zum einen kann dies durch die direkte Versickerung von Regenwasser geschehen, was jedoch aufgrund von meist nur begrenzt zur Verfügung stehenden Flächen oder ungeeigneten Untergrundverhältnissen nicht immer möglich ist. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz des Trennsystems. Hierbei werden Schmutz- und Regenwasser in zwei getrennten Kanälen abgeleitet, das Schmutzwasser zur Kläranlage, das Regenwasser je nach Kategoriegruppe zur Regenwasserbehandlungsanlage oder direkt in den Vorfluter. Durch dieses System wird einerseits die Belastung der Kläranlagen deutlich reduziert, andererseits ist die zu erwartende Konzentration der Schmutzfracht wesentlich konstanter, da die „Verdünnung“ des Schmutzwassers bei Regenereignissen ausbleibt.

Nachteilig wirkt sich aus, dass durch den Bau von zwei parallelen Kanälen nebst Schächten mehr Raum innerhalb der Straßentrasse benötigt wird, was im Hinblick auf die Verlegung der weiteren Ver- und Entsorgungsleitungen zu Platzproblemen führen kann.

Ein Ansatz, dieses Problem zu begegnen, sind die sogenannten Multro-Schächten RSS (s. Bild 139) [211, 212]). Bei diesem System werden die Leitungen für Schmutz- und Regenwasser durch ein gemeinsames Schachtbauwerk geführt. Dieser Multroschacht wird aus herkömmlichen Schachtfertigteilen zusammengesetzt, wobei eine Konsole im Schachtring zur Durchführung des Regenwasserkanals integriert ist.

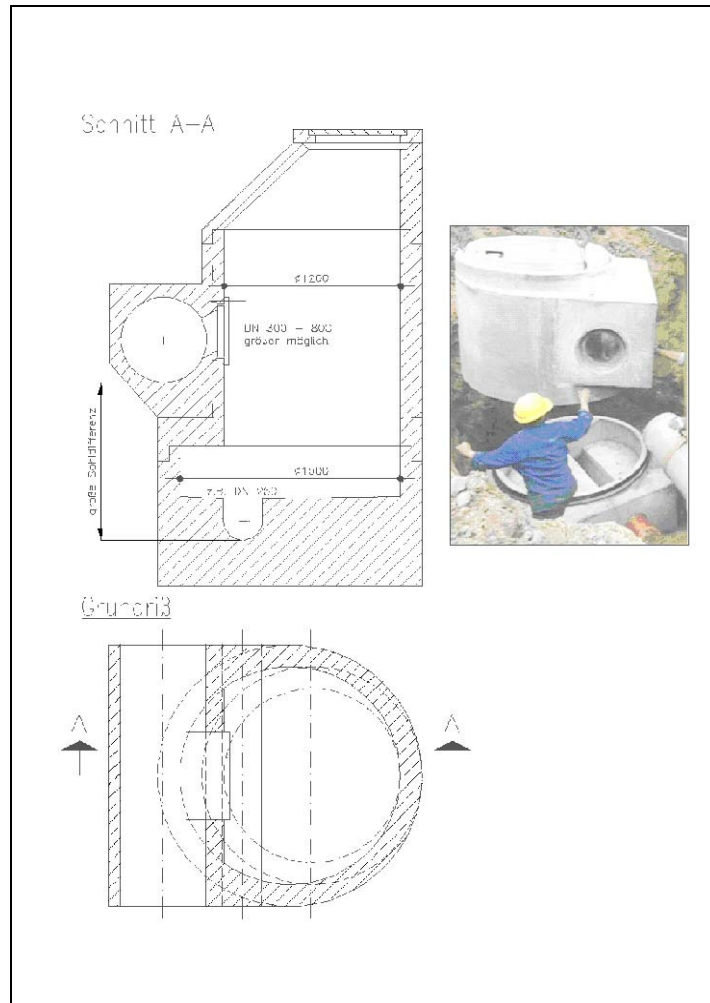


Bild 139 RSS® - Schachtsystem für Trennsystem (Typ RSS®-Ring)

Für den vorliegenden Anwendungsfall wurden gemeinsam mit dem Schachthersteller PROV-Produktions- und Vertriebsgesellschaft mbH, Leipzig [213] Beispielkonstruktionen für die „Nettestraße“ (s. Bild 140) und „Im Steinwinkel“ (s. Bild 141) entworfen.

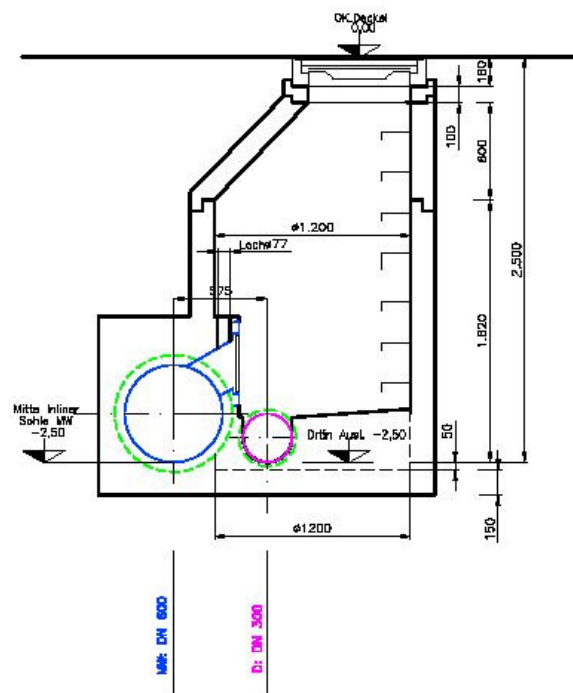


Bild 140 Entwurf eines RSS® - Schachtsystems für das Untersuchungsgebiet „Nettestraße“

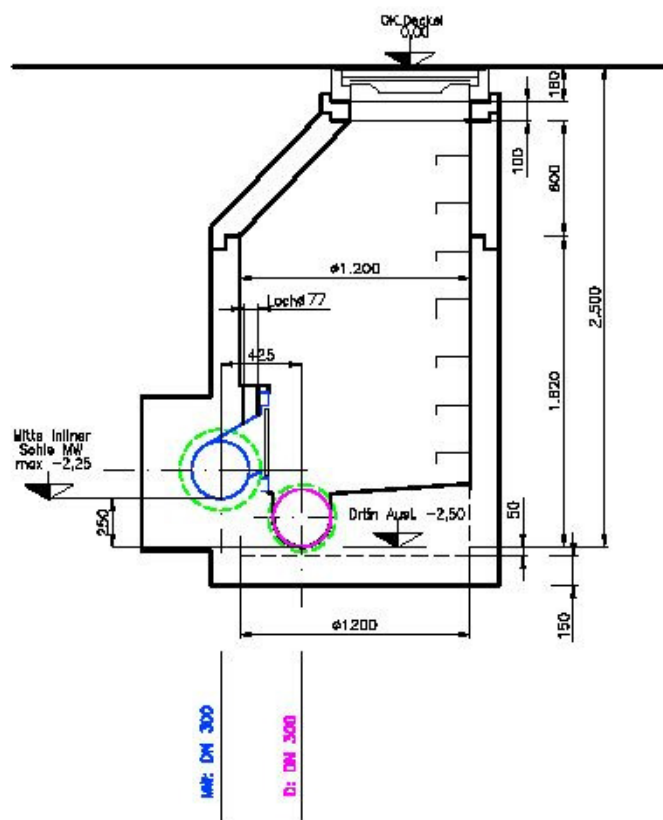


Bild 141 Entwurf eines RSS® - Schachtsystems für das Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“

Im Rahmen der Planung und Konstruktion der RSS-Schachtbauwerke ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Da der Achsabstand von Schmutz- und Regenwasserkanal bei der Verwendung von Multroschächten reduziert werden kann, ist nur ein schmalerer Rohrgraben erforderlich, d.h. es steht mehr Raum für die Verlegung anderer Leitungen (Gas, Wasser, Kabel usw.) zur Verfügung.
- Im Rahmen von **Bauausführung** und **Anschlussmöglichkeiten** muss bei der Verwendung von Multroschächten mit erhöhten Schwierigkeiten gerechnet werden. Zum einen ist die Verlegung der Kanäle mit einem sehr geringen Achsabstand problematisch, zum anderen ist der Anschluss von Anschlusskanälen an die Schächte kaum möglich.
- Während die Straßenoberkante beim Dränkanal die **Rückstauenebene** darstellt und damit auch der Schacht als Stauraumvolumen genutzt werden kann, steht dieser Stauraum im Falle der geschlossenen Durchführung des Mischwasserkanals durch den Multroschacht nicht zur Verfügung. Bei hydraulisch überbelasteten Mischwasserkanälen im Falle bei größerer Niederschlagsereignisse werden die negativen Folgen des Einsatzes von Multroschächten auf die Bereiche der Hausanschlüsse und Straßenablaufsysteme verlagert. Dieses Problem könnte durch Anordnung von entsprechenden Belüftungseinrichtungen behoben werden.
- Ein weiteres betriebliches Problem ist die Entstehung der **Biogenen – Schwefelsäure-Korrosion (BSK)** aus zementgebundenen Werkstoffe im Mischwasserkanal, da die Reinigungsöffnung aufgrund der Mischwasserentlastungen in den Dränkanal zwingend verschlossen ausgeführt werden muss.
- Im Rahmen von **Reinigungsmaßnahmen** kann der relativ starre Saugschlauch von Reinigungsfahrzeugen aufgrund der geringen Abmessungen der Inspektionsöffnungen des Mischwasserkanals nicht eingebracht werden.
- Die Zugänglichkeit für die **Inspektion** des obenliegenden Mischwasserwasserkanals ist durch die Inspektionsöffnung eingeschränkt. Es ist daher mit Schwierigkeiten bei dem Einsetzen von Kamerawagen zu rechnen. In ungünstigen Fällen, etwa wenn der

Mischwasserkanal unmittelbar vor und hinter der Inspektionsöffnung einen Knick aufweist, ist der Einsatz eines solchen Kamerawagens u.U. nicht möglich [214].

- Bei der **Sanierung** des unteren Kanals in offener Bauweise ist mit erhöhten Anforderungen zu rechnen. Durch die bei Verwendung des Multroschachtes angestrebte Minimierung des Achsabstandes der beiden Kanälen besteht die Gefahr der Beschädigung des oberen Kanals bei der Freilegung des unteren. Es sind z.T. umfangreiche zusätzliche Sicherungsmaßnahmen vorzusehen. Bei der Verlegung der Kanäle übereinander muss der obere zwangsläufig entfernt werden. Eine Sanierung des Mischwasserkanals in geschlossener Bauweise, etwa durch Einziehen von Schlauchlinern ist durch die begrenzte Zugänglichkeit durch die Inspektionsöffnungen nicht ohne weiteres möglich. Auch der Einsatz von Roboterverfahren zur Kanalsanierung ist i.d.R. nicht möglich [214]. Eine Erneuerung des Mischwasserkanals in geschlossener Bauweise, etwa durch Berstlining, ist technisch nur bei gleichzeitiger Erneuerung der Schächte möglich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das System des Multroschachtes von der Idee zu begrüßen ist, allerdings mit erheblichem technischen und betrieblichen Nachteilen verbunden.

In Anbetracht der o.g. Nachteile wurden im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“ für die Dränkanäle und im Untersuchungsgebiet an der „Nettestaße“ für die Mischwasserkanäle und Dränkanäle vorgefertigte Schächte bzw. Schachtfertigteile aus Beton nach DIN V 4034, Teil 1 [215] und DIN V 1201 [216] ausgeschrieben (s. Anhang 5).

6.4.2 Einbettung der Kanäle in Bodenmörtel

Der RSS®-Flüssigboden wurde bereits im Abschnitt 3.2.1.1 ausführlich erläutert.

Für die Einbettung der Dränkanäle ist der RSS®-Flüssigboden grundsätzlich geeignet. Allerdings liegen in diesem Bereich nur wenig Erfahrungen aus der Praxis vor.

Im Gegensatz zum RSS®-Flüssigboden wurden in der Praxis unter Verwendung von Kiessand, z.B. der Körnung 0/8 mm oder 0/32 mm nach DIN 1045 [123], als Bettungsmaterial für Dränkanäle gute Erfahrungen gemacht. Dabei wurden die

Filtermaterialien auf die anstehenden Böden abgestimmt.

6.5 Vorbereitung der Vergabe der erforderlichen Bauarbeiten

Auf der Grundlage der technischen Angaben aus der Ausführungsplanung wird die Ausschreibung bzw. das Leistungsverzeichnis (LV) für die Vorbereitung der Vergabe der erforderlichen Bauarbeiten erstellt. Die rechtliche Grundlage hierfür bildet die "Vergabe- und Vertragsverordnung für Bauleistungen" (VOB) Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen. Im Anhang 5 ist das Leistungsverzeichnis für die Bauarbeiten an der „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“ enthalten.

6.6 Wasserrechtliche Genehmigungen

Für die Entnahme und Einleitung des Grundwassers in ein Gewässer ist ein eigenständiger Genehmigungsplan für die Untere Wasserbehörde nach § 7 WHG [217] zu stellen. Für die privaten Grundstücksentwässerungsanlagen sollte nach Möglichkeit eine Sammelausschreibung vorgenommen werden, da diese Maßnahme weniger zeit- und kostenintensiv ist.

Im Anhang 6 sind die wichtigsten Anlagen und Pläne zur Erstellung eines wasserrechtlichen Genehmigungsplanes nach § 7 WHG [217] enthalten.

7 Ausblick und Perspektiven auf nachfolgende Projekt- und Arbeitsschritte

Der Haus- und Grundstückseigentümer wird sich in erster Linie die Frage stellen, ob die Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind und ob Konsequenzen zu erwarten sind bzw. die auf ihn zukommenden Kosten im Blick haben. Die Kooperationsbereitschaft der Haus- und Grundstückseigentümer wird erhöht, wenn sie einen realen Nutzen bei der Umsetzung gesetzlicher bzw. satzungsrechtlicher Anforderungen erkennen können, sich kompetenten Ansprechpartnern gegenüber sehen, den Kostenrahmen frühzeitig

erkennen und von der fachlichen und organisatorischen Koordination entlastet werden. Wie die Erfahrungen bei vielen Pilotprojekten zur Fremdwassersanierung zeigen, ist, um den Erfolg der Maßnahmen zu gewährleisten, eine kooperative und koordinierte Vorgehensweise in Verbindung mit intensiver Öffentlichkeitsarbeit erforderlich. Die Akzeptanz wird noch weiter erhöht, wenn die Kommune die Kosten der Haus- und Grundstückseigentümer für die Untersuchung der Anschlusskanäle / Grundleitungen nebst Bestands- und Zustandsdokumentation (zumindest teilweise) übernimmt. Die GW-Messungen sollten noch über mindestens 1 Jahr nach Durchführung der Sanierungen fortgeführt werden, um einen bewertenden Vergleich ziehen zu können.

In einem zweiten, noch zu beantragenden weiterführenden Teil des Forschungsvorhabens sollen die entwickelten und konkret geplanten Fremdwassersanierungskonzepte zur Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs und Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser in die Praxis überführt, d.h. konkret bei der Erneuerung der zwei ausgewählten Netzbereiche in Altena angewandt werden. Im Einzelnen werden hierfür die nachfolgend beschriebenen weiteren Projektphasen für zielführend erachtet.

7.1 Begleitung der Inspektion der Hausanschlussleitungen, Klassifizierung und Bewertung des baulichen Zustands der Hausanschlussleitungen und Koordinierung der privaten und öffentlichen Sanierungsmaßnahmen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 752-5 [70]

Da zur Zeit keine Informationen bzw. Daten über den baulichen Zustand der Hausanschlussleitungen und Anschlusskanäle von Straßenablaufsystemen vorliegen, sind im ersten Arbeitsschritt der bauliche Zustand dieser Leitungen zu inspizieren, zu klassifizieren und zu bewerten, um danach eine ganzheitliche Sanierungsplanung der Hausanschlussleitungen und Anschlusskanäle von Straßenablaufsystemen mit den Dränkanälen bzw. Hauptkanälen gemäß den Anforderungen DIN EN 752-5 [70] vorzunehmen. Erst dann ist die Ausführung dieser ausgeschriebenen Bauarbeiten sinnvoll.

Für eine erfolgreiche Durchsetzung der o.a. Sanierungsmaßnahmen an Hausanschlussleitungen ist daher eine intensive Bürgerbetreuung notwendig. Diese beinhaltet einen zielführenden Schriftverkehr und persönliche Gespräche während der Planungs- und Sanierungsphase. Öffentlichkeitsarbeit, wie z.B. die Organisation von Bürgerversammlungen und die Veröffentlichung von Artikeln in der lokalen Presse oder in Form einer Broschüre, können die Akzeptanz für die Maßnahmen erhöhen. Daher ist der Personalaufwand für die komplette Bearbeitung eines Grundstücks hoch. Die entstehenden Kosten für die Beratungen und Planungen kann nach § 53c LWG [206] auf die Abwassergebühren umgelegt werden. Aufgrund der aktuellen Entwässerungssatzung der Stadt Altena empfiehlt es sich, entsprechende Vereinbarungen mit dem jeweiligen Grundstückseigentümer zu treffen und vertragliche Regelungen zwischen der Stadt und dem Bürger zur Übernahme der entstehenden Kosten zu treffen.

7.2 Ausführung der Sanierungsarbeiten in den Untersuchungsgebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“

In dieser Projektphase sollen die Bauarbeiten für die entwickelten und konkret geplante(n) Maßnahmen zur Verhinderung des Grundwasserspiegelanstiegs und die Schaffung von Ableitungssystemen für Sicker-, Schichten- und Grundwasser für die Erneuerung des Misch- und Trennsystems in den Mischgebieten „Nettestraße“ und „Im Steinwinkel“ ausgeführt werden. Baubegleitend soll eine digitale Foto - Dokumentation der einzelnen Bauphasen für den Endbericht bzw. die Handlungsempfehlungen für andere Kommunen und Netzbetreiber erfolgen.

Die Bauarbeiten sind hierbei zunächst im Untersuchungsgebiet „Nettestraße“ zu beginnen. Nach Abschluss dieser Bauarbeiten erfolgen die Bauarbeiten im Untersuchungsgebiet „Im Steinwinkel“.

7.3 Analyse der Auswirkungen der getroffenen Maßnahmen auf die Grundwasserstände nach erfolgter Sanierung

In dieser Projektphase sollen die Auswirkungen der o.g. getroffenen Maßnahmen auf

die Grundwasserstände nach erfolgter Sanierung analysiert werden. Hierzu sind u.a. die Beobachtung der jahreszeitlich abhängigen Grundwasserstände über mindestens ein Jahr und die regelmäßige Befragung der Anwohner und Besichtigung der Liegenschaften, d.h. der Kellerräume, vor Ort vorgesehen, um die Wirksamkeit bzw. eventuell schädigende Einflüsse überprüfen zu können. Dazu werden regelmäßige Informationsabende vor Ort für alle Beteiligten angeboten.

Um die Gefahr von Nutzungseinschränkungen durch Schäden an der vorhandenen Bebauung und großflächige Vernässungen infolge des Grundwasserspiegelanstiegs als Ursache der Kanalsanierung zu bewerten, soll ein dreidimensionales, instationäres Grundwassermodell für die Untersuchungsgebiete „Im Steinwinkel“ und „Nettestraße“ erstellt werden. Das Kanalnetz soll im Modell in seiner realen Höhenlage berücksichtigt und die Infiltration des Grundwassers in das Kanalnetz bei entsprechenden Grundwasserständen durch Infiltrationsparameter (sogenannte Leckagekoeffizienten) berücksichtigt werden.

Nach einer Kalibrierung des Grundwassermodells für den Ist-Zustand umfasst die Modellierung verschiedene Szenarien. Allen Lastfällen ist die Voraussetzung gemeinsam, dass entsprechend der aktuellen Rechtslage sämtliche Kanäle infolge Neubau bzw. vollständiger Kanalsanierung abgedichtet sind und eine Infiltration in den Mischwasserkanal nicht mehr stattfinden kann. Gemäß der Simulation des „worst case“-Szenarios (d.h. keine Gegenmaßnahmen) ist für weite Teile der Untersuchungsgebiete von einem Grundwasseranstieg bis zur Geländeoberkante und entsprechenden Vernässungen auszugehen. Eine diesbezügliche Grundwassermodellierung wurde bereits für den Stadtteil Bockum-Hövel-Mitte der Stadt Hamm [145] durchgeführt (s. Bild 142).

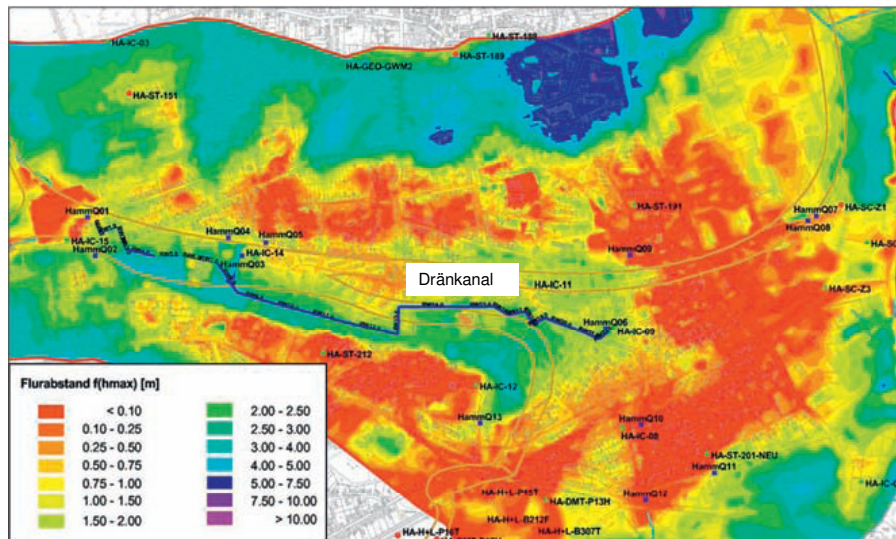


Bild 142 Grundwasserflurabstände bei vollständiger Abdichtung der Abwasserkanalisation und mit zentralem Dränkanal [145]

Darüber hinaus soll eine Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der von der gezielten Einleitung des Dränwassers betroffenen Kanäle erfolgen, da im vorliegenden Anwendungsfall entweder eine Vergrößerung oder eine Verringerung der abzuleitenden Regenwasser- / Dränwassermengen zu erwarten ist. Ob zukünftig entsprechende Querschnittsreserven für ähnliche Projekte mit einkalkuliert werden müssen, oder ob die bereits vorhandenen Kanalquerschnitte ausreichend bzw. zu groß bemessen sind, ist vor Ort und an geeigneten Stellen durch entsprechende Messungen genauer zu quantifizieren. Darüber hinaus ist die hydraulische Leistungsfähigkeit des „Nettebaches“ im Hinblick auf die Auswirkung der Dränwassereinleitung zu überprüfen.

7.4 Dokumentation sowie Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Ausschreibungsbausteinen für Kanalnetzbetreiber in NRW

Zum Abschluss des 2. Teils des Forschungsvorhabens sind vorgesehen:

- Erarbeitung und Verbreitung von Handlungsempfehlungen (Planungshilfe für zukünftige Projekte), u.a. mit folgendem Inhalt:
 - Bestandsaufnahme
 - Darstellung und Erläuterung der möglichen Lösungsvarianten bzw.

Maßnahmen

- Einsatzbereiche und Anwendungsgrenzen von baulichen Maßnahmen
 - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
 - Entwurf von Ausschreibungshilfen (Bausteine für Ausschreibungstexte) für vergleichbare Maßnahmen nach HOAI, um in Zukunft bei derartigen Projekten in Nordrhein - Westfalen deren Planung, Ausschreibung und Vergabe zu erleichtern
 - Projektbegleitende Maßnahmen nach Abschluss der Bauarbeiten
 - Erfahrungsbericht.
- Durchführung einer Abschlusspräsentation in Form eines Workshops für alle Beteiligten, Anwohner, interessierte Netzbetreiber und Kommunen etc.
- Erstellung eines ausführlichen Endberichtes über das durchgeführte Forschungsprojekt mit ausführlicher Berichterstattung über Planung, Durchführung und gewonnenen Erfahrungen.

Bochum, Juni 2008

Dipl.-Ing. A. Hille

Dipl.-Ing. H Cakmak

8 Literatur

- [1] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden.
Teil 1: Allgemeines und Definitionen (01.1995).
- [2] Berger C., Lohaus J.: Zustand der Kanalisation– Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004. KA - Abwasser, Abfall 2005 (52), Nr.5.
- [3] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Aufl. Berlin : Ernst & Sohn, 1999.
- [4] Stein, D.; Stein, R.: Fachinformationssystem - Instandhaltung von Kanalisationen (2 CD – ROM). Berlin : Ernst & Sohn, 2000.
- [5] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 1 Allgemeines und Definitionen, 1996.
- [6] Dohmann, M.; Hennerkes, J.: Untersuchung des Einflusses undichter Abwasserkanäle auf die Standsicherheit des umgebenden Bodenkörpers. Aachen : Inst. f. Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, 2004.- Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW.
- [7] Merkblatt ATV – DVWK M 143 – 1 August 2004. Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 1 Grundlagen.
- [8] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), St. Augustin (Hrsg.): Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik. Verlag Ernst & Sohn, Berlin/München.

Band I: Wassergütewirtschaftliche Grundlagen, Bemessung und Planung von Abwasserableitungen. 3., überarbeitete Auflage, 1982.

Band II: Entwurf und Bau von Kanalisationen und Abwasserpumpwerken. 3., überarbeitete Auflage 1982.
- [9] Graf, M.: Anstrengungen zur Abtrennung von Fremdwasser im Kanalnetz der Stadt Basel. Verband Schweizerischer Abwasserfachleute (VSA).

- Verbandsbericht Nr. 255. 154. Mitgliederversammlung vom 27. Januar 1984 in Zürich.
- [10] Klass, M.: Fremdwasser auf Kläranlagen, Abwasser im Untergrund. Korrespondenz Abwasser (KA) 32 (1985), H. 10, S. 840–843.
- [11] Liersch, K.-M.: Fremdwasser überlastet viele Schmutzwasserkanalisationen. Korrespondenz Abwasser (KA) 32 (1985), H. 10, S. 820–824.
- [12] DIN 4045: Abwassertechnik; Begriffe (12.1985).
DIN 4045 (Norm-Entwurf): Abwassertechnik; Grundbegriffe (05.1999).
- [13] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V. [Hrsg.]: Nutzungskonflikte bei hohen Grundwasserständen - Lösungsansätze. Düsseldorf : BWK, 2003.
- [14] Härig, F.: Auswirkungen des Wasseraustausches zwischen undichten Kanalsystemen und dem Aquifer auf das Grundwasser. Hannover, Univ., Diss., 1991.
- [15] Lackner, K.: Schwellen und Schrumpfen im organogenen Ton als Ursache von Gebäudeschäden. In: Geotechn. (1991), Nr. 14, S. 118 – 124.
- [16] Norm DIN 1986 – 100 März 2002. Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 100 Zusätzliche Bestimmungen zu DIN EN 752 und DIN EN 12056.
- [17] www.altena.de (Stand 5/2008).
- [18] Land Nordrhein – Westfalen: Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal – SüwV Kan NRW). In: Ges. u. Ver.ordn.bl. f. d. Land NRW 49 (1995), Nr. 10, S. 64 – 67.
- [19] Bund der Steuerzahler NRW e.V.: Abwassergebühren 2001 (Privathaushalte). Stand: 03.07.2001 (www.steuerzahler-nrw.de).

- [20] Bund der Steuerzahler NRW e.V.: Gebührensituation in NRW 2005, Anlage 2 Abwassergebühren (Privathaushalte). Stand: 22.08.2005 (www.steuerzahler-nrw.de).
- [21] Bund der Steuerzahler NRW e.V.: Gebührenumfrage 2006, Anlage 1 Abwassergebühren 2006 NRW (Privathaushalte). Stand: 31.07.2006 (www.steuerzahler-nrw.de).
- [22] IKT – Newsletter: Struktur der Abwasserwirtschaft in Nordrhein – Westfalen, Teil 4: Kosten und Gebühren.- 07.10.2004 (www.ikt.de).
- [23] ATV-A 128 (1992). Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen.
- [24] Pecher, R.: Fremdwasseranfall im Kanalnetz – ein wasserwirtschaftliches Problem? In: KA – Korrespondenz Abwasser (1998), Nr. 12.
- [25] Stein, D.: Gutachtliche Stellungnahme im Auftrag des Landgerichts Hagen (Geschäfts - Nr. 4 OH 21 / 99). Bochum, 2000.
- [26] ATV- A 118 (1999). Richtlinien für die hydraulische Berechnung und den Nachweis von Entwässerungssystemen, , erschienen in GFA e.V..
- [27] Pfeiff, S.H.: Das Problem „*Fremdwasser*“. In: KA – Korrespondenz Abwasser (1989), Nr. 36, S. 471 ff.
- [28] Lucas, S.: Auftreten, Ursachen und Auswirkungen hoher Fremdwasserabflüsse – eine zeitliche und räumliche Analyse. In: Schriftenreihe des ISWW - Band 115 – Karlsruhe, 2003.
- [29] Hennerkes, J.: Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung. Dissertation, 2006, erschienen in Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V.- Band 10 an der RWTH Aachen.
- [30] Ehram. S.: Fremdwasser in Kanalisationen - Erkennen und vermeiden; Amt für

Umweltschutz und Energie Fachstelle Siedlungsentwässerung und Landwirtschaft, Liestal.

- [31] Firmeninformation Quick-Lock, partielle Sanierung auf Kompressionsbasis Ingenieurgesellschaft mbH der Firma Uhrig, Geisingen.
- [32] www.fremdwasser-nrw.de (04/2008).
- [33] Decker, J.: Auswirkungen des Fremdwassers auf die Abwasseranlagen und Gewässer. Dissertation, 1998, erschienen in GWA- Band 158 an der RWTH Aachen.
- [34] Karpf, Ch., Krebs, P.: Bilanzierung von Fremdwasser; Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft der TU Dresden, 2006.
- [35] Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band I: Wassergütewirtschaftliche Grundlagen, Bemessung und Planung von Abwasserableitungen (dritte überarbeitete Auflage 1982); Band II: Entwurf und Bau von Kanalisationen und Abwasserpumpwerken (dritte, überarbeitete Auflage 1982); Herausgeber: Abwassertechnische Vereinigung e. V. (ATV), St. Augustin; Verlag; Verlag von Wilhelm & Ernst, Berlin/München.
- [36] Rosenzweig, G.: Grenzen für Fremdwasser. In: ATV-DVWK Seminar „Fremdwasser im Kanal“ am 18.11.2004, Fürth.
- [37] Kocks, F. H.: Elektronische Berechnung des innerstädtischen Mischwassersielnetzes. Durchgeführt im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg; Baubehörde. Schlussbericht Juni 1979.
- [38] Studie über Verfahren zur Sanierung/Erneuerung von Abwasserkanälen unter Beachtung rechtlicher, umweltrelevanter und ökonomischer Gesichtspunkte-Sanierungsstudie. Herausgeber: Freie und Hansestadt Hamburg; Baubehörde Februar 1985.
- [39] Liersch, K., M.: Fremdwasser überlastet viele Schmutzwasserkanalisationen. In Korrespondenz Abwasser (KA) 32 (1985), H. 10, S. 820-824.

- [40] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Grabenlose Sanierung von Hausanschluss- und Grundleitungen; Teil 2: Basisdaten, Recht und Technik.
- [41] Brombach, H. 2004: Auswirkungen von Fremdwasser und Hinweise zum Erkennen kritischer Fremdwasserverhältnisse. In: Schriftenreihe „Niederschlagsbehandlung“, Band 47, Siedlungswasserwirtschaft Bochum.
- [42] Lucas, S.: Dem Fremdwasser auf der Spur. In: KA – Korrespondenz Abwasser (2004), Nr. 51, S. 376.
- [43] Lucas, S., Fuchs, S.: Regionalisierung von Fremdwasserproblemen. In: KA – Korrespondenz Abwasser (2003), Nr. 50, S. 302.
- [44] Haller, B.: Fremdwasserprobleme: Erkennen – Bewerten – Lösen, 1998, erschienen in GWA- Band 3 an der RWTH Aachen.
- [45] Renner, H.: Fremdwasser- Stand des Wissens über Herkunft und anfallende Mengen. 1996, In: Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft – Band 18 – Technische Universität Graz.
- [46] Brombach, H.: Abwasserkanalisation und Regenbecken im Spiegel der Statistik. In Korrespondenz Abwasser (KA) 2006 (53) Nr. 11, S. 1114-1122.
- [47] Dohmann, M., Hennerkes, J., Speicher, A. (2002): Ermittlung und Eliminierung von Fremdwasserquellen, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen.
- [48] ATV-DVWK – Arbeitsgruppe ES – 1.3 „Fremdwasser“: Auswirkungen von Fremdwasser und Hinweise zum Erkennen kritischer Fremdwasserverhältnisse. In: KA – Korrespondenz Abwasser (2004), Nr. 6, S. 664 – 667.- Kurzfassung des Arbeitsberichtes.
- [49] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002b): Leitfaden Abwasserabgabe, Arbeitshilfe für die Festsetzungsbehörden, Teil 1 (Allgemeines und Vollzug) und Teil 2 (Beispiele), 3. Auflage, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

- [50] Fuchs, S., Lucas, S., Brombach, H., Weiß, G., Wittenberg, H. (2001): Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen. Schlussbericht eines LfU-Forschungsprojektes, unveröffentlicht.
- [51] Schweizer Bundesamt für Umweltschutz BUS (1984): Fremdwasser - Methoden zur Bestimmung der Fremdwassermenge in Kanalisation und Kläranlagen, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 23, Bern.
- [52] Hager, W.; Bretscher, U.; Raymann, B. (1984): Methoden zur indirekten Fremdwasserermittlung in Abwassersystemen. In: Gas Wasser Abwasser 64, 1984, Heft 7, S.450-461.
- [53] Neitzke, S.: Fremdwassermessungen in der Kanalisation; Kanalnachbarschaftstag 2004 Ostalbkreis Unterschneidheim.
- [54] Umwelt- und Fluid-Technik GmbH UFT (1998): Identifikation und Aktivierung von Leistungsreserven im System Abwasserkanal, Regenwasserbehandlung und Kläranlage. Forschungsprojekt im Auftrag des Landes Baden-Württemberg. Bad Mergentheim: Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH. Schlussbericht (unveröffentlicht).
- [55] Hüffmeier, N. (2000): Quantifizierung und Ursachen von Fremdwasser auf Kläranlagen in Baden-Württemberg. Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, unveröffentlicht.
- [56] ATV-DVWK-A 198 (2003): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, GFA Verlag, Hennef.
- [57] Haller, B. (2001): Fremdwasserprobleme – Erkennen – Bewerten – Lösen Tagungsband zur ATV-DVWK-Bundes- und Landesverbandstagung 2001 in Freiburg i.B., S. 328-346, ATV-DVWK, 2001.
- [58] LfU (2001): Regenwasserbehandlung und Kläranlage – Leistungsreserven erkennen und nutzen Reihe Siedlungswasserwirtschaft, Band 16, Landesanstalt

für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2001.

- [59] Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg WaBoA (2001): Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden- Württemberg LfU (Hrsg.), 1. Aufl. 2001, Graphischer Atlas und CD-Version.
- [60] Schmidt, A.: Mengen, Charakteristik und Probleme des Fremdwasseranfalls auf kommunalen Kläranlagen in NRW, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 2000, GWA-Band 177, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH-Aachen.
- [61] Mertsch, V.: Persönliche Mitteilung im Rahmen des Workshops „Fremdwasser“ Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, 30.06.2003, Aachen.
- [62] Maus, H., Evers, P.: Fremdwasser-Problematik, Ursachen und Ansätze zur Reduzierung, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 9.3.-11.3.2005, GWA-Band 198, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen.
- [63] Hennerkes, J.; Schmidt, A.; Schröder, M.; Sistemich, S.: Entwicklung einer systematischen Vorgehensweise zur Fremdwasservermeidung und -reduzierung. In: Korr. Abw. 53 (2006), Nr. 4, S. 354 – 361.
- [64] IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur: Koordination von Planungs- und Baumaßnahmen zur Fremdwasserverminderung im öffentlichen und privaten Bereich.- Gelsenkirchen : IKT, 2003.- Endbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch MUNLV NRW.
- [65] AbwAG; Gesetz über Angaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Januar 2005 (BGBl. I Nr. 5 vom 25.01.2005).
- [66] Arbeitsblatt DWA A 118 März 2006. Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen.

- [67] Stadt Altena (Westf.): Satzung der Stadt Altena (Westf.) über die Grundstücksentwässerung und den Anschluß an die öffentliche Abwasseranlage vom 19.06.1999.
- [68] Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen – Landesbauordnung – (BauO NRW) in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. März 2000 (GV. NRW. S. 256/SGV. NRW. 232), geändert durch Gesetz vom 9. Mai 2000 (GV. NRW. S. 439/SGV. NRW. 2129), § 45 (4).
- [69] Strafgesetzbuch (StGB) 1. November 2007 der Bundesrepublik Deutschland, § 324 ff Gewässerverunreinigung.
- [70] Norm DIN EN 752 – 5 11.1997. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5 Sanierung.
- [71] Norm DIN EN 1610 Oktober 1997. Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und Kanälen.
- [72] Arbeitsblatt ATV – DVWK – A 139 Juni 2001. Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. Ergänzungen und Hinweise zu DIN EN 1610.
- [73] Norm DIN EN 752 – 2 September 1996. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 2 Anforderungen.
- [74] Norm DIN EN 752 – 3 September 1996. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 3 Planung.
- [75] Norm DIN EN 752 – 4 November 1997. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 4 Hydraulische Berechnung und Umweltschutzaspekte.
- [76] Norm DIN EN 752 – 7 Juni 1998. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 7 Betrieb und Unterhalt.
- [77] DIBt-Merkblatt: Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser (11.2000).

- [78] DIN 18196: Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke (120.1988).
- [79] Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn: Technisches Handbuch. Bonn 1999.
- [80] Norm DIN 18130 - 1 Juni 1998. Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche.
- [81] Firmeninformation Herrenknecht AG. Schwanau.
- [82] Informationen des Forschungsinstitutes für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. (FITR), Weimar.
- [83] Berger, W., Krausewald, J., van Heyden, L.: Boden-Mörtel – Anwendungsfragen und Wirtschaftlichkeit für den Tiefbau der Gasverteilung. gwf Gas · Erdgas 140 (1999), H. 8, S. 513–518.
- [84] N.N.: Weimarer-Baumörtel setzt sich durch. bi-umweltbau (2003), H. 1, S. 45.
- [85] Werner, D., Henning, O.: Boden-Mörtel – ein neuartiger Verfüllstoff für schmale Leitungsräben in der Gas- und Wasserverteilung. gwf Gas · Erdgas 139 (1998), H. 2, S. 112–119.
- [86] Firmeninformation LOGISTIC CONSULT Ingenieurgesellschaft mbH, Leipzig.
- [87] Just, A.: Einsatz von Flüssigboden in Braunschweig. bi-umweltbau (2003), H. 1, S. 42–44.
- [88] Arbeitsblatt FW 401 Teil 12: Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze – Bau und Montage; Organisation der Bauabwicklung, Tiefbau (02.1999).
- [89] Stolzenburg, O.: RSS®-Flüssigboden im Kanalbau – Ein Praxisbericht. Dokumentation 18. Oldenburger Rohrleitungsforum, 5. - 6. Februar 2004.
- [90] DIN 18300: VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine

Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Erdarbeiten (12.2000).

- [91] Purde, H.-J.: Aushub von Gräben und Baugruben in Boden und Fels. In: Tiefbaupraxis für Abwasserkanäle (Hrsg.: Köhler, R.), S. 71–94. Vulkan-Verlag GmbH, Essen 2000.
- [92] Stein, D.: Grabenloser Leitungsbau. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2003.
- [93] Norm DIN 4124 (2002). Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten.
- [94] Stein, D.: Systementwicklung für das Ökonomische und ökologische Verlegen von Entwässerungskanälen und –leitungen in offener Bauweise unter Verwendung optimierter Beton- und Stahlbetonrohre“ unter der Leitung der Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH (seit 01.09.2006 S & P Consult GmbH), Bochum], 2007.
- [95] Güteschutz Kanalbau e.V.: Internetbasierte Leitfaden zur Gütesicherung - Verdichtungsmaßnahmen und -prüfungen, Bad Honnef, November 2006.
- [96] www.holzmatrix.de/baugrubenumschliessung.htm (Dezember 2007).
- [97] Arbeitsblatt ATV – DVWK – A 127 (2000). Statische Berechnung von Abwasserkanälen und –leitungen.
- [98] FBS-Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e. V.: FBS-Technik-Handbuch, 2. geänderte Auflage, Bonn, 2006.
- [99] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), Hennef (Hrsg.): ATV-Handbuch – Bau und Betrieb der Kanalisation. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1996.
- [100] Hornung, K.: Rohr und Leitungszone – Grundlegende Voraussetzungen für die Tragfähigkeit der Rohrleitung. In: Beton- und Fertigteil-Jahrbuch, S. 225 ff. Bauverlag GmbH, Wiesbaden, Berlin 1989.

- [101] Beuth Verlag GmbH, Berlin und ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef (Hrsg.): DIN EN 1610 „Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen“ und ATV-DVWK-A 139 „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen“ (Januar 2002).
- [102] Steinzeug Abwassersysteme GmbH, Köln (Hrsg.): Einbauanleitung für Steinzeugrohre nach DIN EN 195 und WN 295 mit RAL-Gütezeichen. Stand 11.2000.
- [103] ZTVE – StB 94 Ausgabe 1994 / Fassung 1997. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau.
- [104] Berger, W., Büchner, U.: Verfüllen und Verdichten des Leitungsgrabens. bbr (2003), H. 6, S. 20–27.
- [105] Beuth Verlag GmbH, Berlin und ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef (Hrsg.): DIN EN 1610 „Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen“ und ATV-DVWK-A 139 „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen“ (Januar 2002).
- [106] BGV C 22 (bisherige VBG 37): Unfallverhütungsvorschrift Bauarbeiten. Vom 1. April 1977. In der Fassung vom 1. Januar 1997. Mit Durchführungsanweisungen vom April 1993. Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG), Stand September 2000.
- [107] Stein, D., Möllers, K.: Grabenverbau-Einflußfaktor auf das Ingenieurbauwerk Rohrleitung. Hoch- und Tiefbau (1987), H. 11, S. 18–20.
- [108] Stein, D., Falk, C.: Auswirkungen unterschiedlicher Verbauarten auf die Belastung erdverlegter Abwasserkanäle und -leitungen – Kanaldielenverbau Teil 1 –. Forschungsendbericht des Instituts für Kanalisationstechnik (IKT), Gelsenkirchen im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Gelsenkirchen, Oktober 1996.

- [109] Falk, C., Homann, D.: Auswirkungen unterschiedlicher Verbauarten auf die Belastung erdverlegter Abwasserkanäle und -leitungen – Kanaldielenverbau Teil 2 und Teil 3 –. Abschlussbericht des Instituts für Kanalisationstechnik (IKT), Gelsenkirchen im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW und der Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. Gelsenkirchen, Juli 2000.
- [110] Falk, C., Liebscher, M., El Shahid, S.: Mehrbelastungen für Rohre durch Verbau – Rückbau. TIS (1997), H. 4, S. 24–28.
- [111] El Shahid, S.: Beitrag zur Beschreibung der Auswirkungen eines senkrechten Verbaus mittels Stahlprofilen auf die Belastung erdverlegter Rohrleitungen. Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum. Bochum, März 1997.
- [112] Liebscher, M.: Erkenntnisse aus Untersuchungen des Kanaldielenverbaus. Documentation 5. Internationaler Kongress Leitungsbau `97, Hamburg, 19.–23. Oktober 1997. S. 1027–1046.
- [113] Norm DIN EN 12056-2 (2000). Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden, Teil 2: Schmutzwasseranlagen, Planung und Berechnung.
- [114] DWA-Buch (2006): Abwasserableitung – Bemessungsgrundlagen, Regenwasserbewirtschaftung, Fremdwasser, Netzsanierung, Grundstücksentwässerung.
- [115] Norm DIN 1229 (1996). Einheitsgewichte für Aufsätze und Abdeckungen für Verkehrsflächen.
- [116] Norm DIN 1212 (2003). Steigeisen mit Aufkantung für zweiläufige Steigeisengänge, Teil 1 bis 3; Beuth Verlag, Berlin.
- [117] ATV-Handbuch 1995: Bau und Betrieb der Kanalisation. 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn.
- [118] Norm DIN 4095 (1990). Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung.

- [119] Bach, M. 2007: Internetpräsentation Teil: Dränung.
- [120] Norm DIN 1187 (1982): Dränrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC hart); Maße, Anforderungen, Prüfungen.
- [121] Norm DIN 4262-1 (2001). Rohrleitungssysteme für die unterirdische Entwässerung von Ingenieurbauten - Teil 1: Kunststoffrohre.
- [122] Hankammer, G., Mentlein, H.: Abnahme von Bauleistungen – Tiefbau, 2006.
- [123] Norm DIN 1045 (2005). Tragwerke aus Beton und Stahlbeton. Teil 1. Bemessung und Konstruktion. Kommentierte Kurzfassung, Hrsg.: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. 2. überarbeitete Auflage.
- [124] Kolbitsch, A., Tsukalas, A. (2003): Zement - Kellerbauen plus, Bauberatungsstelle der österreichischen Zementindustrie, Wien.
- [125] Arbeitsblatt DWA A 138 (2005). Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser.
- [126] Londong, G: Versickerung von Regenwasser – Voraussetzung und Kosten. In: Gewässerschutz – Wasser – Abwasser (GWA). Band 156. Seiten 10/1 – 10/16. Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen.1996.
- [127] Cremer, S.: Nachhaltige Sanierungskonzepte unter Berücksichtigung des Grundwasserspiegels. In: Institut für unterirdische Infrastruktur (IKT) [Hrsg.]: Tagungsband (IKT - Forum Fremdwasser Gelsenkirchen 2000). Gelsenkirchen : IKT, 2000. – Originalbeiträge.
- [128] Bieske, E.: Bohrbrunnen, Oldenbourg Verlag, München.
- [129] Muth, W.: Landwirtschaftlicher Wasserbau, Bodenkultur, Werner – Ingenieur – Texte, Band 35, 2. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf.
- [130] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.): Leitlinien zur Durchführung

- dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR – Leitlinien). Berlin: Kulturbuchverlag Berlin GmbH, 7. überarbeitete Aufl. 2005.
- [131] Arbeitsblatt DWA A 133-2 (2005). Wertermittlung von Abwasseranlagen – Systematische Erfassung, Bewertung und Fortschreibung.
- [132] Ristenpart, E.; Kasting, U., Langweg, L.: Fremd- und Grundwasserbewirtschaftung im Rahmen der Gebietsentwässerungsplanung. In: Korr. Abw. 54 (2007), Nr. 111, S. 1116 – 1128.
- [133] HMUEB: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (HMUEB) . Entsiegeln und Versickern. Wiesbaden. 1996.
- [134] Firmeninformation Rehau Katalog 327300/22 DE , Bochum, 2008-
- [135] Londong, D: Die finanzielle Seite – Kosten und Finanzierung. In: D. Londong und A. Nothnagel (Hrsg.): Bauen mit dem Regenwasser. Oldenbourg Verlag, 1999.
- [136] Hamacher, R.: Bau- und Betriebskosten von Anlagen zur Regenwasserversickerung. In: Korr. Abw. 47 (2000), Nr. 4.
- [137] Börger, M.: Ergebnisse der Umfrage Versickerung von Niederschlagswasser. In: Korr. Abw. 43 (1996), Nr. 7, S. 1153 – 1162.
- [138] www.der-brunnen.de/.../brunnenartneu.htm (aus BIESKE; Bohrbrunnen; Oldenburg Verlag), Dezember 2007.
- [139] www.ee.fh-lippe.de/.../kap_g/03/index.html (Stand: 1/2008).
- [140] Herth, W., Arndts, E. (1994): Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung, 3. Auflage, Ernst & Sohn Verlag.
- [141] Bieske, E. (1999): Vorstudie zur Realisierung grundwasserstandsregulierender Maßnahmen im Boye-Gebiet, Teil B: Technische Konzipierung der

Fassungsmöglichkeiten, Studie im Auftrag der Emschergenossenschaft Essen, Bieske und Partner GmbH, Lohmar.

- [142] Hydro-Ingenieure GmbH 2006: Konzeptentwicklung zur Beseitigung von Dränagewässern in einem Stadtbereich – Pilotprojekt Stadt Billerbeck.
- [143] Getta, M.; Holte, A.; Pecher, K.-H.: Lösungsansätze zur Vermeidung von Nachteilen bei der Abdichtung von Kanalnetzen. In: Korr. Abw. Abf. 51 (2004), Nr. 10, S. 1115 – 1120.
- [144] Schlüter, M., Hein, R., Bach, J., Wallbaum, V., Denneborg, M., Zentner, S.: Fremdwassersanierungskonzept Billerbeck: In: Korr. Abw. 55 (2008), Nr. 2, S. 131 – 138.
- [145] Ristenpart, E., Kasting, U., Langweg, Ch.: Fremd- und Grundwasserbewirtschaftung im Rahmen der Gebietsentwässerungsplanung: In: Korr. Abw. 54 (2007), Nr. 11, S. 1116 – 1128.
- [146] Information Christoph Langweg, Stadtentwässerung Hamm.
- [147] Düllmann, H. (2002): Grundwasserproblematik im Stadtgebiet Korschenbroich - Konzeptentwicklung und gutachtliche Bewertung von langfristigen Lösungen zur Abwendung von Gebäudeschäden, Gutachten im Auftrag der Stadt Korschenbroich, Aachen.
- [148] Stein, D. Cremer, S. Falk, C. (1995): Fremdwasser durch Drainageanschlüsse; Abschlussbericht des IKT im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW; Gelsenkirchen, März 1995.
- [149] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2007): Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen – Erkennen, bewerten und vermeiden – Langfassung.
- [150] DYWIDAG Umweltschutztechnik GmbH: Vorsorge für die Schadstoffemissionen von Deponien und Altlasten in geologischen Zeiträumen. München, 1990.

- [151] DYWIDAG Umweltschutztechnik GmbH: Mineralgemisch - das flexibel einsetzbare Abdichtungsmaterial auf mineralischer Basis. München, 1990.
- [152] N.N.: Abwassersammler in Trinkwasserschutzgebiet. In: tis Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau 37 (1995), Nr. 10, S. 67 – 68.
- [153] Merkblatt ATV – M 146 Mai 2004. Abwasserkanäle und –leitungen in Wassergewinnungsgebieten – Hinweise und Beispiele.
- [154] Firmeninformation DYWIDAG: Mineralische Kapselung von Abwasserkanälen; Ausführung mit der Landeshauptstadt Düsseldorf.
- [155] Stein, R.: Auswirkungen optimierter Straßenabläufe auf Feststoffeinträge in Kanalisationen, Dissertationsschrift, RWTH Aachen, 2008.
- [156] Dohmann, M.; Hennerkes, J. (2004): Untersuchung des Einflusses undichter Abwasserkanäle auf die Standsicherheit des umgebenden Bodenkörpers, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des MUNLV NRW, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen.
- [157] DIN 1054 (1976): Baugrund; Zulässige Belastung des Baugrunds, Beuth Verlag, Berlin.
- [158] Jones, G. M. A. (1984): The Structural Deterioration of Sewers, Int. Conf. on the Planning, Construction, Maintenance & Operations of Sewerage Systems. Reading (England), 12-14 September, 1984, Paper C1, S. 93 -108.
- [159] Dohmann, M. (1999): Wassergefährdung durch undichte Kanäle, Erfassung und Bewertung, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- [160] Stein, D. und Stein, R.: Fachinformationssystem Instandhaltung von Kanalisationen. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2000 (CD-Rom).
- [161] Firmeninformation Firma Dernoton, Mülheim/Ruhr.
- [162] Körkemeyer, K; Brauer, A: Einsatz von fūma®Boden zur Verfüllung von

Leitungsgräben, Im Auftrag der Readymix AG, Hauptabteilung Technologie und Produktökologie, Ratingen, 2004.

- [163] Firmeninformation Readymix AG, Ratingen.
- [164] Readymix Baustoffgruppe (Hrsg.): füma Boden – Readymix Verfüllbaustoffe für den Straßen- und Kanalbau. Informationsbroschüre (Stand: 10.2003).
- [165] Firmeninformation Readymix AG, Ratingen.
- [166] Firmeninformation RSS Leipzig, April 2008.
- [167] Firmeninformation Firma Naue GmbH & Co.KG.
- [168] Staufer Ph. et. al.: Entwicklung einer systematischen Vorgehensweise zur Fremdwasservermeidung und -reduzierung im ländlichen Raum, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW (MUNLV, NRW); Aachen, Januar 2007.
- [169] Bürgener, M.: Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 110 Arnsberg. 1. Aufl. Bad Godesberg : Bundesanstalt f. Landeskunde u. Raumforschung, 1969.
- [170] Meynen, E.; Schmitthüsen, J.: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. 1. Aufl. Bad Godesberg : Bundesanstalt f. Landeskunde u. Raumforschung, 1962.
- [171] Information Ruhrverband; Regionalbereich Mitte, 2007.
- [172] Rosenbohm, G.: Zur Geographie des mittleren Lennetals. In: Natur- und Landschaftskunde in Westfalen 14 (1978), Nr. 2, S. 33 – 42 UB ZSB 1392.
- [173] DGK 5, Blatt 471106 ris.
- [174] DGK 5, Blatt 471201 ris.
- [175] Gebietsentwicklungsplan für den Regierungsbezirk Arnsberg. Teilabschnitte: Oberbereiche Bochum und Hagen, (2001).

- [176] DGK 5, Blatt 471202 ris.
- [177] DGK 5, Blatt 461221 ris.
- [178] DGK 5, Blatt 461222 ris.
- [179] Soil – Hydrogeologie (1989): Hydrogeologische Karte für den Planungsraum „Lenne – Volme“ im Auftrag des Staatlichen Amtes für Wasser- und Abfallwirtschaft Hagen.
- [180] Geologische Karte von Preußen 1 : 25.000 Blatt 4712 Altena, 1923.
- [181] Geologischer Dienst Nordrhein – Westfalen (Hrsg.): Geologische Karte von Nordrhein – Westfalen 1 : 100.000 mit Erläuterungen Blatt C 4710 Dortmund. 2. Aufl. Krefeld : GD NRW, 1989.
- [182] Geologischer Dienst Nordrhein – Westfalen (Hrsg.): Bodenkarte von Nordrhein – Westfalen 1 : 50.000 mit Erläuterungen Blatt L 4712 Iserlohn. 2. Aufl. Krefeld : GD NRW, 1993.
- [183] Norm DIN 18195-1 (2000). Bauwerksabdichtungen - Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten.
- [184] Norm DIN 4030-1 (1991). Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und Grenzwerte.
- [185] Norm DIN 18300 (2006). VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten.
- [186] Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft Universität Karlsruhe TH (1991): Vorhersagemodell für Hochwasserabflüsse im Einzugsgebiet der Lenne – a) Analyse des Abflussverhaltens.
- [187] Nisipeanu, P.; Maus, H.: Fremdwasser- Betrachtung und Untersuchungen eines erhöhten Fremdwasseraufkommens und daraus resultierende Erfahrungen,

Handlungsempfehlungen und Strategien für eine effiziente Sanierung; Verlag becker druck, Mai 2007, Essen/Arnberg.

- [188] Statistische Analyse der Kläranlagendaten vom Ruhrverband (Reinhard Mattha), Regionalbereich Mitte, Hagen.
- [189] Abwasserwerk Altena (28.07.2004): Datei KPP Altena Kern 20071117 - 0945 11.12.2007.
- [190] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen / Bundesministerium der Verteidigung; „Arbeitshilfen Abwasser - Planung, Bau und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen in Liegenschaften des Bundes“; Berlin / Bonn (2004).
- [191] ATV-M 143: „Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen - Optische Inspektion“, Teil 1: Grundlagen (03.2004); Teil 2: Optische Inspektion (1999).
- [192] DIN EN 13508 (2003): Zustandserfassung von Entwässerungsnetzen außerhalb von Gebäuden – Teil2: Kodiersystem für die optische Inspektion.
- [193] DIN 4032 (1981): Betonrohre und Formstücke; Maße, Technische Lieferbedingungen.
- [194] Deutscher Beton-Verein: Merkblatt „Wasserundurchlässige Baukörper aus Beton“ (Fassung August 89). Wiesbaden, 1991 - in: Merkblattsammlung Merkblätter, Sachstandsberichte, Richtlinien, S. 163 - 187.
- [195] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: Planung und Bau von Wasserbehältern, Grundlagen und Ausführungsbeispiele. Frankfurt, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH (02.1988), Nr. W 311.
- [196] ATV-DVWK-A 127 (2000): Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und –leitungen; Hennef.

- [197] ATV-DVWK-A 139 (2002): Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen; Hennef.
- [198] DIN EN 12889 (1997): Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen.
- [199] ATV-A 125 (1996): Rohrvortrieb.
- [200] ATV-A 161 (1990): Statische Berechnung von Vortriebsrohren, Hennef.
- [201] ATV-M 143: „Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen - Optische Inspektion“, Teil 1: Grundlagen (03.2004); Teil 2: Optische Inspektion (1999).
- [202] DIN 19550 (1987): Allgemeine Anforderungen an Rohre und Formstücke für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen.
- [203] ATV-DVWK-A-110 (2001): Hydraulische Dimensionierung von Abwasserkanälen und –leitungen.
- [204] DWA-M 143-3 (2005): Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserleitungen und –kanäle.
- [205] Zangemeister, Christof (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Diss. Techn. Univ. Berlin 1970, 4. Aufl., München: Wittemann, ISBN 3-923-26400-3 (aus wikipedia).
- [206] Gesetz zur Änderung des Landeswassergesetzes, der Landesbauordnung und des Landesabfallgesetzes (ArtikelG), Beschluss des Landtages in Nordrhein-Westfalen am 6. Dezember 2007.
- [207] Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen vom 26.5.2004, „Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren“, RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 26.5.2004 – IV - 9 – 031 001 2104.

- [208] DIN 4123 (1972): Gebäudesicherung im Bereich von Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen.
- [209] DIN 4123 (2000): Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude.
- [210] Firmeninformation Winden- und Maschinenbau Gressbach GmbH, Obernburg
- [211] Seifert, A.: Der Zukunft ein Stück voraus – das RSS - Schachtsystem. In: bi UmweltBau (2002), Nr. 1, S. 61 – 62.
- [212] Stolzenburg, O.: Multimediale Lösung. RSS-System - das unterirdische Logistikkonzept. In: bi UmweltBau (2001), Nr. 1, S. 30 – 33.
- [213] Firmeninformation: P-R-O-V-Produktions- und Vertriebsgesellschaft mbH, Leipzig, 2008.
- [214] Zech, H.: Einsatz des „Multi-Rohr-Schachtes“ für modifizierte Entwässerungssysteme. Korrespondenz Abwasser 43 (11.96) S. 1936 ff..
- [215] DIN V 4034 Teil 1 (2004): Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen für Abwasserleitungen und -kanäle – Typ 1 und Typ 2, Anforderungen, Prüfungen und Bewertung der Konformität.
- [216] DIN V 1201 (2004): Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton für Abwasserleitungen und -kanäle – Typ 1 und Typ 2, Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität, Beuth Verlag.
- [217] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts vom 23.09.1986, geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 12.09.1996 (BGB a.l. S. 1354) und durch das Sechste Gesetz zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes vom 11.11.1996 (BGB 1.l. S. 1690).