



Kanton Zürich
Baudirektion
Tiefbauamt
Strasseninspektorat

Strassenregion II

Strassenentwässerung

Richtlinie Pumpwerke in der Strassen- entwässerung

Dezember 2023 / v1.0



Impressum

Diese Richtlinie basiert auf der Ausgabe vom Dezember 2023, welche von der Preisig AG als Autor im Auftrag des TBA ZH unter Mitwirkung der Begleitgruppe «Pumpwerke in der Strassenentwässerung» erarbeitet worden ist (in alphabetischer Reihenfolge):

Autoren (externe Unterstützung):

- Daniel Bischof, WSP Ingenieure AG
- Gabriel Caldas, F. Preisig AG
- Elisabeth Haasen, F. Preisig AG
- Beat Keller, F. Preisig AG, Projektleitung
- Christian Krismer, F. Preisig AG
- Dominik Wäger, F. Preisig AG

Begleitgruppe:

- Kerstin Lang, TBA, Projektieren und Realisieren, Kunstbauten
- Danijel Savic, TBA, Projektieren und Realisieren, Projektmanagement West
- Hartmut Stiess, TBA, Strasseninspektorat, Strassenentwässerung, Projektleitung
- Marc Stutz, TBA, Projektieren und Realisieren, Projektmanagement Nord
- Mathias Tschudi, TBA, Projektieren und Realisieren, Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen

Inhalt

1. Grundlagen	6
1.1. Einleitung	6
1.2. Ziele	8
1.3. Anwendungsbereich und Abgrenzungen	8
1.4. Begriffe	8
1.5. Normen, Richtlinien, Dokumentationen, Berichte, Literatur	10
2. Strassenentwässerung	12
2.1. Zufluss, Abfluss, Retention und hydraulischer Nachweis	12
2.2. Fließwege Strassenentwässerung	13
2.3. Hydraulische Bemessung des Zuflusses	13
2.3.1. Regenspende und Regendauer	13
2.3.2. Wahl der Jährlichkeit	14
2.3.3. Berechnung des Zuflusses	14
2.3.4. Risikomatrix mit Zuordnung einer definierten Jährlichkeit für ein Schutzziel	15
2.4. Abfluss	16
2.4.1. Prioritäten der kantonalen Strassenentwässerung	16
2.4.2. Oberflächenabfluss: Starkregen und Überflutungsschutz	18
2.5. Retention	18
2.5.1. Retentionsvolumen bei Stromausfall	19
2.5.2. Retentionsvolumen gemäss Schutzziel Einstufung	19
2.6. Hydraulischer Nachweis mit hydrodynamischen Berechnungen	21
2.7. Abfluss aus Störfallstrassen	22
3. Bauwerke	23
3.1. Pumpwerk mit kombiniertem Absetzraum und Pumpenvorlage	23
3.2. Schlammsammler (vorgeschaltetes Absetzbecken)	23
3.3. Pumpenvorlage	24
3.3.1. Material	26
3.3.2. Dimensionierung des Nutzvolumens	26
3.4. Aufstellungsarten der Pumpen im Pumpwerk	26
3.4.1. Nassaufstellung mit Tauchmotorpumpen	26
3.4.2. Trockenaufstellung von Entwässerungspumpen	26
3.5. Zulauf	27
3.6. Ex-Zonen	27
3.7. Lüftung	27
3.8. Betriebsraum / Pumpenraum und Verteilkabine	28
3.9. Zufahrt und Platz	29
3.10. Druckleitung	30
3.11. Weitere Bauwerke bei der Entwässerung von Unterführungen	30
3.11.1. Ölabscheider	30
3.11.2. Rückhaltebecken	31
3.11.3. Stapelbecken	31

4. Technische Ausrüstung im Pumpwerk	32
4.1. Pumpen	32
4.1.1. Aufstellungsart nass oder trocken	32
4.2. Hydraulische Bemessung von Pumpen	32
4.2.1. Auswahl der Pumpleistung und Betriebsweisen bei Pumpwerken	34
4.3. Schaltprofil von Pumpen	34
4.4. Hydraulische Bemessung bei Druckleitungen	34
4.5. Druckstossberechnung	35
4.6. Armaturen	35
4.6.1. Absperrventile	35
4.6.2. Rückflussverhinderer	35
4.6.3. Druckschlagdämpfer	35
4.6.4. Rohrreinigungskästen	36
4.6.5. Innere Rohrleitungen im Pumpwerk	36
4.7. Niveaumessungen	36
4.8. Erweiterte Messtechnik	36
5. Betriebs- und Sicherheitsausrüstung	37
5.1. Elektroinstallationen	37
5.1.1. Elektrischer Anschluss	37
5.1.2. Sicherheit / Signalisation	37
5.1.3. Betriebsraum mit Überwachungs-/ Sicherheitseinrichtung	37
5.1.4. Technische Ausrüstung	37
5.2. Nebeneinrichtungen für Betrieb und Wartung	37
5.2.1. Frischwasserinstallationen	37
5.2.2. Krananlagen & Hebezeug	37
5.2.3. Lüftungsanlage	38
5.2.4. Beleuchtung	38
5.3. Bauliche Anforderungen	38
5.4. Beispiele (Pumpwerk Wanne, Hinwil)	41
6. Unterhalt	45
6.1. Allgemeines	45
6.2. Organisation	45
6.3. Anlage und Betrieb	45
6.4. Instandhaltung	46
7. Ergänzende Berechnungsmethoden	49
7.1. Regenspende nach Hörler & Rhein (GEP)	49
7.2. Regenspende aus dem hydrologischen Atlas	49
8. Fallbeispiele	51
8.1. Fallbeispiel 1: Unterführung Dietlikon, Bahnhofstrasse	51
8.1.1. Vergleich der Regenintensität $i(10;10)$ bei verschiedenen Berechnungsansätzen	51
8.1.2. Vergleich der Regenintensität $i(15;1)$ bei verschiedenen Berechnungsansätzen	54

8.1.3.	Vergleich der Regenintensität $i(10,50)$ bei verschiedenen Berechnungsansätzen	55
8.1.4.	Effektive Dimensionierung des Pumpwerks mit $z = 50$ Jahre (hohes Schutzziel)	55
8.1.5.	Retentionsvolumen für Havarie, Tunnelreinigung und Löschwasser	57
8.2.	Fallbeispiel 2: Personenunterführung Wallisellen, Schönenhof	58
8.2.1.	Retentionsvolumen eines Pumpwerks mit $z = 5$ Jahre	58
8.2.2.	Vergleich der Regenintensität $i(20;5)$ bei verschiedenen Berechnungsansätzen	60
8.2.3.	Speicherkanal für Einleitung in ARA	61
8.2.4.	Berechnung des Retentionsvolumen bei der Einleitung in einen Vorfluter	62
9.	Abbildungsverzeichnis	64
10.	Tabellenverzeichnis	64

1. Grundlagen

1.1. Einleitung

Für den Vollzug des Gewässerschutzgesetzes sind grundsätzlich die Kantone zuständig. Bei Bundesaufgaben wie bei den Nationalstrassen und den Eisenbahnanlagen jedoch sind die entsprechenden Bundesstellen verantwortlich. Zu diesem Zweck wurden Richtlinien in diesen Bereichen vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) und vom Bundesamt für Verkehr (BAV) zusammen mit dem BAFU erarbeitet.

Die Regelung der Entwässerung von Gemeinde- und Kantonsstrassen wurde 2019 in die Richtlinie des VSA «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» integriert, welche einen zeitgemässen Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten regelt. [6]

Die Richtlinie «Pumpwerke in der Strassenentwässerung» ersetzt das Dokument «B1-4 Pumpwerke in Unterführungen» im FHB Kunstbauten mit dem Schwerpunkt auf hydraulische Aspekte. Anforderungen an die Bauwerke bei Pumpwerken sind im Fachhandbuch Kunstbauten weiter präzisiert.

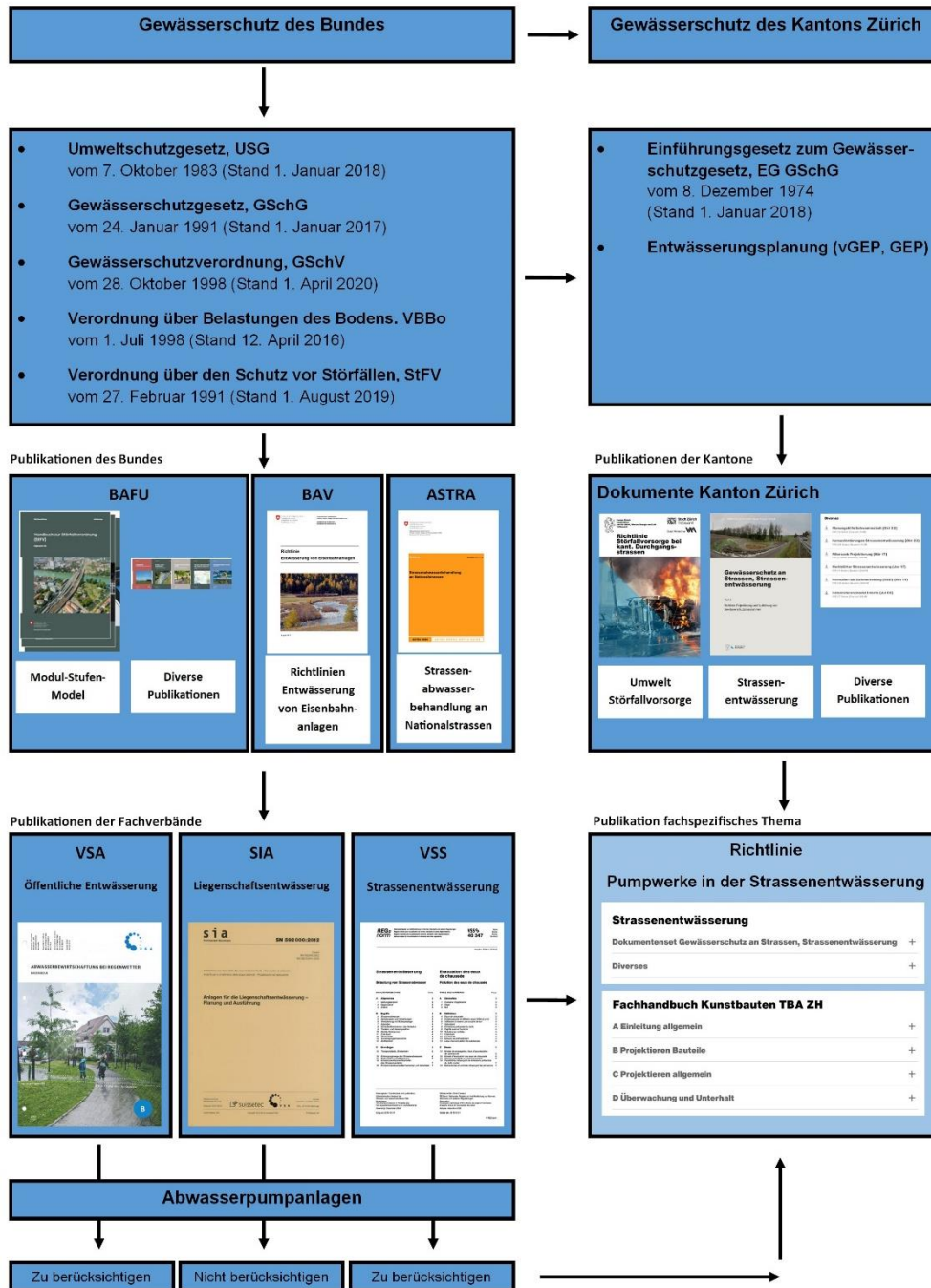


Abbildung 1: Abhängigkeiten und Einordnung der Richtlinie zu rechtlichen und publizistischen Dokumenten

1.2. Ziele

Mit der Richtlinie «Pumpwerke in der Strassenentwässerung» werden die folgenden Ziele angestrebt:

- Pumpwerke in der Strassenentwässerung müssen zum Schutz der Infrastrukturobjekte und zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Die Richtlinie soll Vorgaben und Hinweise liefern, wie Pumpwerke unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten für den zuverlässigen Betrieb und Unterhalt dimensioniert, projektiert und gebaut werden können. Wirtschaftliche Vergleiche bei Pumpwerken beinhalten immer sowohl Investitions- als auch Betriebskosten.
- Die Richtlinie soll einheitliche Prinzipien und eine einheitliche Praxis bei den technischen Anforderungen fördern. Mit einheitlichen Berechnungen kann die Nachvollziehbarkeit der Resultate gewährleistet werden.
- Die Richtlinie soll eine frühzeitige Projektierung von Pumpwerken im Gesamtprojekt und eine phasengerechte Planung von Studien bis zur Realisierung und Übergabe an den Unterhalt oder auch die Sanierung von Pumpwerken unterstützen.
- Die Richtlinie deckt den Standardfall ab. Spezialfälle sind nicht abgehandelt und müssen immer projektbezogen und mit der Bauherrschaft im Detail abgestimmt werden. Die Richtlinie kann jedoch sinngemäss angewendet werden.

1.3. Anwendungsbereich und Abgrenzungen

Die Richtlinie «Pumpwerke in der Strassenentwässerung» wird bei Strassen- und Personenunterführungen, aber auch bei Senken und Tiefpunkten ohne Möglichkeit eines Freispiegelabflusses angewendet. Die Richtlinie gilt für Verkehrswege des Kantons Zürich mit Haupt- und Nebenstrassen von unterschiedlichem Ausbaustandard ausgenommen der Strassen der Städte Zürich und Winterthur. Die Richtlinie enthält Anforderungen an Pumpwerke bezüglich hydraulischer Bemessung, baulicher Gestaltung, technischer Ausrüstung und sowie für den Unterhalt.

Pumpwerke in der Strassenentwässerung sind häufig in Sonderbauwerke wie Rückhaltebecken, Stapelbecken, SABAs oder Ölabscheider integriert. Die Anforderungen der Richtlinie gelten sinngemäss auch für diese Bauwerkstypen und werden im Kapitel 3.11 behandelt.

Abgrenzungen

- Elektrische Anlagen bei Pumpwerken sind nicht Bestandteil dieser Richtlinie.

1.4. Begriffe

Strassenentwässerung - Die Strassenentwässerung behandelt das gezielte Abführen von Zufluss durch künstliche und natürliche Einrichtungen. Die Strassenentwässerung hat in der Regel die Aufgabe, Wasser von der Strasse fernzuhalten bzw. schnell abzuführen, so dass die Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigt wird.

Zufluss – Regenwassermenge pro Zeiteinheit, die aus atmosphärischem Niederschlag auf den Boden (Strassen, Wiesen, Wald, Dächer) zufliesst. Angabe als Volumenstrom $[\frac{l}{s}]$.

Zufluss Sickerwasser – Sickerwasser aus Platz- und Hangentwässerungen aus Drainagen und Brunnen. Projektspezifisch ist zu prüfen, ob der Anteil an Sickerwasser signifikant ist und quantifiziert werden kann. Angabe als Volumenstrom $[\frac{l}{s}]$.

Abfluss – Regenwassermenge pro Zeiteinheit, welche von einer Oberfläche in den Boden versickert, in die Kanalisation fliesst oder weggepumpt wird. Angabe als Volumenstrom $[\frac{l}{s}]$.

Oberflächenabfluss - Oberflächenabfluss ist Regenabwasser, das besonders bei starken Niederschlägen nicht versickert und über das offene Gelände abfliesst und so Schäden verursachen kann [8].

Wet-Spot - Begriff aus dem englischen Hot-Spot abgeleitet, der Orte beschreibt, in denen potenziell ein erhöhtes Risiko von Schäden durch Oberflächenabfluss besteht [22].

Retention – Zwischenspeicherung von Strassenabwasser, um einen nachfolgenden Vorfluter oder eine Reinigungsanlage hydraulisch nicht zu überlasten [12]. Angabe als Volumen, meist $[m^3]$.

Jährlichkeit oder Wiederkehrperiode – erwartete Häufigkeit eines Regeneignisses, ausgedrückt als mittlere Wiederkehrzeit zwischen den Ereignissen, die einer festgelegten Grössenordnung eines Regens entspricht oder sie überschreitet. Angabe in Jahren [a]. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis mit einer bestimmten Jährlichkeit in einem Jahreszeitraum überschritten wird, ist der Kehrwert dieser in Jahren gemessenen Wiederkehrzeit [16].
Angabe als Häufigkeit pro Jahr $[\frac{1}{a}]$.

Regenintensität – Niederschlagshöhe je Zeiteinheit (Regenintensität) $[mm/h]$ oder Quotient aus dem Volumen des Regens und dem Produkt aus Zeit und Fläche (Regenspende) [16].
Angabe als Volumenstrom pro Fläche $[\frac{l}{s*ha}]$.

Regendauer – Dauer des Regens in Minuten [min] oder Stunden [h].

Hörlé & Rhein – Methode für die Bemessung der Regenintensität, anhand von Ortskonstanten (Zürich, Baden, Rapperswil), Regendauer und Jährlichkeit.

Talbot – Methode für die Bemessung der Regenintensität, anhand von der Region (Mittelland, Tessin, Jura, Alpen), Regendauer und Jährlichkeit.

Hydrologischer Atlas der Schweiz - HADES – Methode für die Bemessung der Regenintensität, Atlas mit Tafel 2.4, Regendaten extremer Punktregen unterschiedlicher Dauer- und Wiederkehrperioden von 1901 – 1970 für ca. 4'500 Gebiete (mit Landeskoordinaten (LV03)) mit Abflussmessungen, Regendauer und Jährlichkeit.

1.5. Normen, Richtlinien, Dokumentationen, Berichte, Literatur

▪ ASTRA

- | | | | |
|-----|-------------------|--|------|
| [1] | ASTRA 18005 V1.30 | Strassenabwasserbehandlung an Nationalstrassen | 2013 |
| [2] | ASTRA 21001 | Fachhandbuch Trasse / Umwelt (FHB T/U) | 2022 |
| [3] | ASTRA 23001-11850 | Fachhandbuch BSA, technisches Merkblatt Neben-
einrichtungen: SABA, Pumpwerke, Ölabscheider,
Rückhaltebecken | 2022 |
| [4] | ASTRA 24001 | Fachhandbuch Tunnel / Geotechnik (FHB T/G) | 2022 |
| [5] | ASTRA EP F3 V1.3 | Factsheet EP F3 Ex-Zonen im Bereich der Nationalstrasse | 2022 |

▪ BAFU

- | | | | |
|-----|------|---|------|
| [6] | BAFU | https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/abwasserreinigung/siedlungsentwaesserung.html , abgerufen | 2022 |
| [7] | BAFU | HYDROmaps, Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 2.4 ² ,
Extreme Punktregen unterschiedlicher Dauer und
Wiederkehrperioden | 1997 |
| [8] | BAFU | Zusammenfassung: Gefährdungskarte Oberflächenabfluss
Schweiz | 2018 |

▪ DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.)

- | | | | |
|-----|-----------|--|------|
| [9] | DWA-A 118 | Hydraul. Bemessung und Nachweis von Entwässerungs-
systemen (Entwurf von 2022 ist im Gelbdruck / Entwurf) | 2006 |
|-----|-----------|--|------|

▪ Kanton Zürich, Baudirektion

- | | | | |
|------|---------------|--|------|
| [10] | GIS-ZH | GIS-Browser Kanton Zürich (zh.ch) | 2022 |
| [11] | TBA des KT ZH | Gewässerschutz an Strassen, Strassenentwässerung Teil 1a,
Strategie für die Strassenentwässerung sowie Anleitung zur
Wahl des Strassenentwässerungssystems | 2014 |
| [12] | TBA des KT ZH | Gewässerschutz an Strassen, Strassenentwässerung Teil 2,
Richtlinie Projektierung und Ausführung von Gewässer-
schutzmassnahmen | 2018 |
| [13] | TBA des KT ZH | Störfallvorsorge bei kantonalen Durchgangsstrassen,
Richtlinie | 2022 |
| [14] | TBA des KT ZH | Wegleitung Pumpwerke, Entwurf, Teil 1 Konzept und bauliche
Aspekte | 2022 |
| [15] | TBA des KT ZH | Fachhandbuch Kunstbauten | 2023 |

▪ SIA

- | | | | |
|------|-------------|--|------|
| [16] | SIA 190.220 | Entwässerungssysteme ausserhalb von Gebäuden -
Kanalmanagement (entspricht Übernahme der EN 752:2017) | 2017 |
|------|-------------|--|------|



- **SUVA**
 - [17] SUVA 2153d Explosionsschutz – Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen 2020

- **SVGW**
 - [18] W4 Richtlinie für Wasserverteilung, Teil 3 Bau und Prüfung 2022

- **VSA**
 - [19] VSA RiLi Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter, Basismodul 2019
 - [20] VSA RiLi Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter, Teil A und B 2019
 - [21] VSA SN 592'000 Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung 2012
 - [22] VSA Empfehlung: Hydraulische Beurteilung in der Siedlungsentwässerung in Vernehmlassung (bis Sommer / Herbst 2023) 2023

- **VSS**
 - [23] VSS SN 640 361 Strassenentwässerung, Behandlungsanlagen 2017
 - [24] VSS 40 350 Oberflächenentwässerung von Strassen, Regenintensitäten 2019
 - [25] VSS 40 353 Strassenentwässerung, Grundlagen zur Bestimmung des Abflusses 2019
 - [26] VSS 40 357 Strassenentwässerung, Bemessungsabfluss der Kanalisationen 2019

- **Literatur**
 - [27] Rahel Buss Leistungsfähigkeit von Kanalisationen und Umgang mit Oberflächenabfluss, Aqua & Gas Nr. 10 2022
 - [28] Willi Gujer Siedlungswasserwirtschaft, Springer Berlin 2007
 - [29] Hörler, A., Rhein, H. Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz, Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 24, 291–352 1962

2. Strassenentwässerung

Die Strassenentwässerung dient der Ableitung von Wassermengen, die von Strassenoberflächen bzw. Flächen für den Langsamverkehr und angrenzenden Flächen abfliessen. Die Anlagen der Strassenentwässerung sind den Eigenschaften des anfallenden Strassenabwassers anzupassen, insbesondere der anfallenden Menge pro Zeiteinheit, der Variation des Anfalls sowie seinen Inhaltstoffen mit ihren hygienischen Eigenschaften.

2.1. Zufluss, Abfluss, Retention und hydraulischer Nachweis

- **Zufluss:** Wasser, dass aus den Oberflächen des Einzugsgebiets auf die Entwässerungsanlage zufliesst, bestehend aus Regenwasser und dem Trockenwetteranfall. Unter Trockenwetteranfall wird der unabhängig vom Regenereignis im Kanalnetz vorliegender Abfluss verstanden, der durch Fehlanlüsse oder Fremdwasser aus Drainagen und Brunnen zustande kommen kann. Dieser Trockenwetteranfall wird in der Regel zur Dimensionierung vernachlässigt, da er einen insignifikanten Anteil des Zuflusses repräsentiert.
- **Abfluss / Ableitung:** Ableitung der Strassenentwässerung, hier speziell mittels Pumpwerks, in eine Versickerung, als eine Einleitung in ein oberirdisches Gewässer oder eine Kanalisation.
- **Retention:** Durch Retention (Rückhalt) wird der Abfluss des Abwassers temporär verlangsamt und dadurch die momentan erforderliche Transportkapazität reduziert. Retention im Entwässerungsnetz verzögert und vergleichmässigt den Abfluss und ist bei Pumpwerken in die Dimensionierung einzubeziehen.
- **Nachweisverfahren der hydraulischen Leistung des Kanalnetzes:** Mit Zufluss, Abfluss und Retention sind die Rahmenbedingungen des Kanalnetzes erfasst und die Kanalisation mit Pumpwerken kann dimensioniert werden. Ab der Stufe Bauprojekt ist in einem zweiten Schritt das Kanalnetz mit Regenreihen oder Modellregen hydraulisch zu überprüfen und bei Überlastungen anzupassen.

2.2. Fließwege Strassenentwässerung

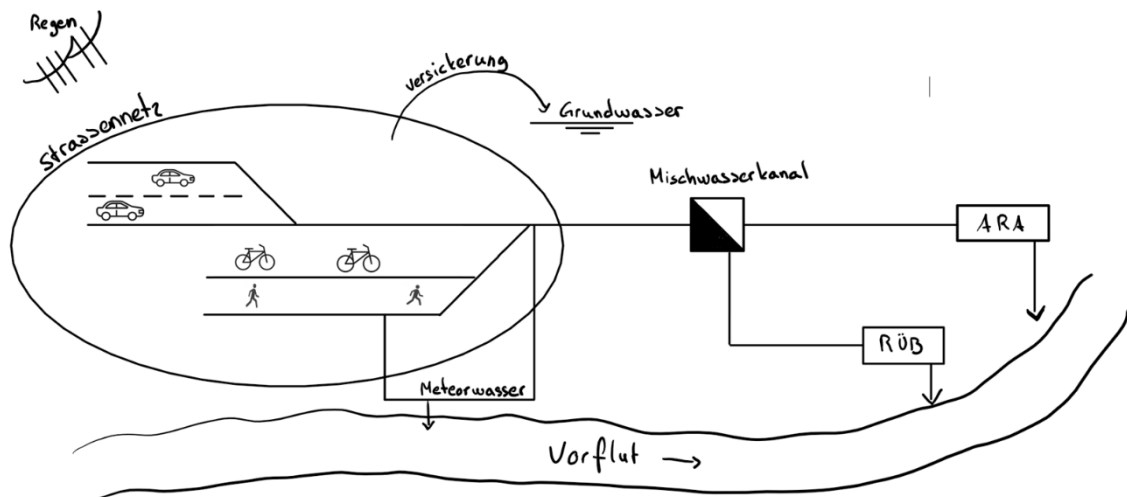


Abbildung 2: Konzept Strassenentwässerung

Die vorliegende Richtlinie behandelt Pumpwerke im Bereich des Strassennetzes, insbesondere bei Unterführungen, Tunneln oder topographischen Tiefpunkten (z.B. Senken).

2.3. Hydraulische Bemessung des Zuflusses

Für die Dimensionierung des Strassenentwässerungssystems sind in der Regel Regenerereignisse mit hohen Intensitätsspitzen und kurzen Ereignisdauern massgebend.

In der Strassenentwässerung und grundsätzlich im Rahmen dieser Richtlinie ist für die hydraulische Bemessung des Zuflusses gemäss der VSS Norm 40 350 [24] mit der Formel von Talbot vorzugehen.

In Absprache mit dem Projektleiter Tiefbauamt (TBA) können je nach spezifischen Anforderungen aus dem Projekt (Sensitivitätsüberlegungen, Wiederkehrperioden über 10 Jahre bei Verkehrswegen zu kritischer Infrastruktur) andere Berechnungsansätze und Modelle angezeigt sein. Im Anhang (Kapitel 8) werden zwei weitere Methoden (Berechnung nach Hörler & Rhein und Berechnung mit dem hydrologischen Atlas der Schweiz HYDROmaps [7], Tafel 2.4) zur Berechnung des Regenwasseranfalls aufgeführt. Alle Methoden sind anhand von Fallbeispielen erläutert.

2.3.1. Regenspende und Regendauer

Die Regenspende (auch Bemessungsregenspende genannt) ist eine massgebliche Kenngrösse zur Berechnung des Zuflusses und des Entwässerungssystems. In der VSS Norm 40 350 [24] wird die Schweiz geographisch in verschiedene Regenregionen mit unterschiedlichem Regenwasseranfall unterteilt.

Die Regendauer ist ein Parameter, der in allen Berechnungs-Methoden festzulegen ist. Die massgebende Regendauer besteht aus der Summe der Dauer des Niederschlags und der Anlaufzeit. Die Anlaufzeit richtet sich nach der Länge des zuführenden Kanalnetzes.

Regendauer und Anlaufzeit ist gemäss der VSS Norm 40 357 Abschnitt 11.2 und Tabelle 1 [26] zu wählen.

2.3.2. Wahl der Jährlichkeit

Die Jährlichkeit oder Wiederkehrperiode ist ein statistischer Begriff für die mittlere Zeit zwischen zwei Regenereignissen von gleicher Dauer und Intensität. Die Wiederkehrperiode ist das Intervall, in dem eine bestimmte Regenintensität im Mittel mindestens einmal erreicht oder überschritten wird.

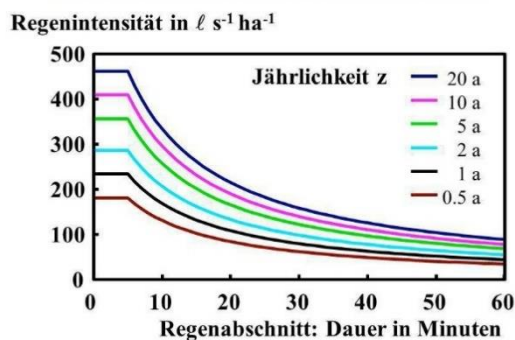


Abbildung 3: Intensität-Dauer-Jährlichkeit-Kurve

2.3.3. Berechnung des Zuflusses

Nach VSS Norm 40 350 [24] ist die massgebende Regenintensität i eine Funktion der Regenregion, der Wiederkehrperiode T und der Regendauer t . Mit wachsender Wiederkehrperiode und abnehmender Regendauer nimmt die Regenintensität an einem bestimmten Standort zu. Die Regenintensität einer bestimmten Dauer und einer bestimmten Wiederkehrperiode kann mit der Formel von Talbot berechnet werden:

$$i(t, T) = \frac{a_T}{t + b_T}$$

i Regenintensität $\left[\frac{mm}{h}\right]$ oder $\left[\frac{l}{s \cdot ha}\right]$ mit Umrechnung $i \left[\frac{l}{s \cdot ha}\right] = 2.78 * i \left[\frac{mm}{h}\right]$

t : Regendauer [h]

T : Wiederkehrperiode [-]

a_T : Koeffizient aus Abbildung 4

b_T : Koeffizient aus Abbildung 4

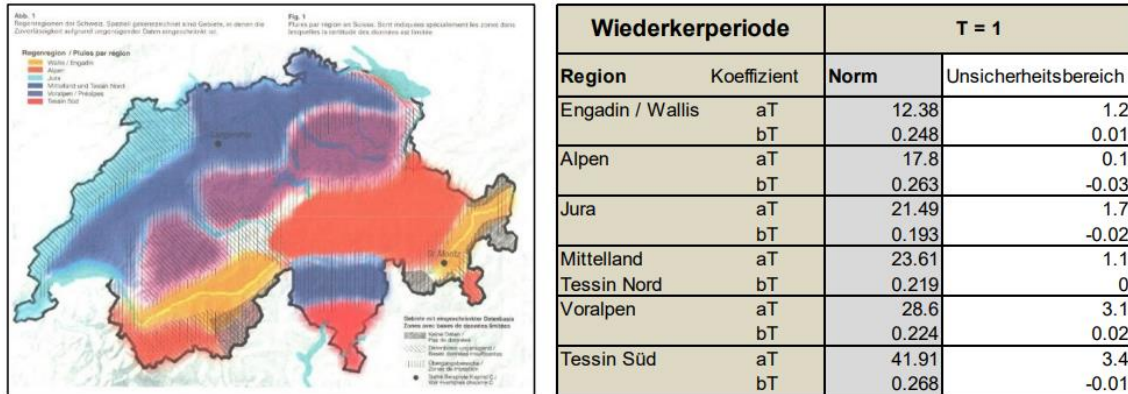


Abbildung 4: Schweizer Karte und Koeffizienten zur Regenintensität nach Talbot, Wiederkehrperiode = 1

Der Kanton Zürich liegt überwiegend in der Regenregion «Mittelland», nur Teile des Kantons liegen im «Übergangsbereich» und in der Regenregion «Voralpen». Als Vereinfachung gelten die Regenintensitäten der Regenregion Mittelland für den ganzen Kanton Zürich.

Gemäss VSS Norm 40 357 [26] ist eine Regendauer von 15 min bzw. bei längeren Kanalisationen oder Netzen unter Einbeziehung der Anlaufzeit eine verlängerte Regendauer (auf 20 bzw. auf 25 min) anzusetzen.

Aus der Regenintensität ist mit der Strassenoberfläche und den angrenzenden Flächen (Einzugsgebiet) der Zufluss der abfliessenden Wassermengen als Volumenstrom in l/s oder m³/s zu bestimmen. Nach VSS Norm 40 353 [25] sind die angeschlossenen Flächen je nach ihrer Oberflächenbeschaffenheit mit einem Abflusskoeffizient zu reduzieren.

2.3.4. Risikomatrix mit Zuordnung einer definierten Jährlichkeit für ein Schutzziel

In Anlehnung an das DWA Arbeitsblatt DWA-A-118 (Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen) [9] erfolgt die Zuordnung der Wiederkehrperiode / Jährlichkeit gemäss einer Risikomatrix. Diese Betrachtungsweise findet auch in der Siedlungsentwässerung gemäss der neuen VSA Empfehlung zur hydraulischen Beurteilung von Kanalnetzen Einzug. [22]

In der Risikomatrix sind Entwässerungsgebiete in Schutzklassen anhand ihres Schadenspotentials bei einer Überflutung eingeteilt. Mit der Risikomatrix wird die Bedeutung des Verkehrswegs für das Siedlungsgebiet gewichtet und einer Jährlichkeit bei der Auslegung des Entwässerungssystems zugewiesen. Mit der Zuordnung wird der Bemessungsregen und damit die statistische Überflutungshäufigkeit des Einzugsgebiets zum Pumpwerk festgelegt.

Für die hydraulische Dimensionierung sind im Projekt Bemessungskriterien mit Jährlichkeiten für Überschreitungen gemäss den Betrachtungen zu Ereignissen mit Überstau und deren Auswirkungen analog der SIA 190 220 [16] unter 5.3.2.1. festzulegen. Neben den Häufigkeiten für Überflutungen aus dem Entwässerungssystem (kanalinduzierte Überflutung) sind Oberflächenüberflutungen je nach Topografie oder aus Oberflächengewässern ergänzend und zwingend zu prüfen.

Pumpwerke werden überwiegend bei überflutungsgefährdeten Verkehrswegen eingesetzt und stellen einen sensibleren Bereich als der übrige Verkehrsraum dar. Eine Herabsetzung der Jährlichkeit von $z=10$ auf $z=5$ ist in jedem Fall zu begründen.

Schutzklasse: Schutzziel für Über- stauhäufigkeit [a]	Klassifizierung des Einzugs- gebiets zum Pumpwerk	Beispielhafte Nutzung / Merkmale
1 Jährlichkeit $z = 5$	Verkehrerschliessungen von untergeordneter Bedeutung	Fusswege, wenig frequentierte, untergeordnete Velowege, Pumpwerke bei SABAs im Zulauf zum Retentionsfilterbecken
2 Jährlichkeit $z = 10$	Verkehrerschliessungen zu Versorgung, Entsorgung und Telekommunikation	Staatsstrassen und kantonale Fuss- und Velowege
3 Jährlichkeit $z = 20$, $z = 50$, $z = 100$, $z = \dots$ Jährlichkeit ist mit dem Bauherrn objektbezogen festzulegen	Verkehrerschliessungen zu Sonderobjekten / kritischer Infrastruktur mit lebenswichtiger Bedeutung für die Zugänglichkeit eines besiedelten Gebietes	Störfallstrassen, Erschliessungen zu kritischer Infrastruktur wie Akutspitäler samt Anlagen und Einrichtungen, Feuerwehstützpunkte, Ambulanzgaragen, Energieversorgung, Wasserversorgung, ARA, Bahnhöfe, Flughäfen und Rettungsrouten gemäss [10]

Tabelle 1: Risikomatrix zur Festlegung der massgebenden Jährlichkeit in Abhängigkeit von der Bauwerksklasse

2.4. Abfluss

In Kapitel 2.1 werden die Zuleitungen aus der Strassenentwässerung behandelt.

Dieses Kapitel betrachtet den Abfluss aus dem Pumpwerk, d.h. die Abführung des Strassenabwassers als Einleitung in das Grundwasser durch Versickerung, in ein oberirdisches Gewässer oder in eine Kanalisation. Der Abfluss aus dem Pumpwerk ist mit der Pumpleistung und der Regelung der Pumpenlaufzeit steuerbar. Die Rahmenbedingungen zur Einleitung sind zu beachten.

Bei Unterführungen liegt das Einzugsgebiet des Zuflusses tiefer als die umgebende Peripherie. Der Zufluss zum Pumpwerk liegt in der Regel tiefer als der Abfluss. Zum Überflutungsschutz ist die Funktion des Abflusses zwingend zu beachten.

2.4.1. Prioritäten der kantonalen Strassenentwässerung

Für den Abfluss von Strassenabwasser sind die Prioritäten gemäss der kantonalen Richtlinie zum Gewässerschutz Teil 1a [11] wie folgt festgeschrieben:

- 1. Priorität: Versickerung (mit / ohne Behandlung)
- 2. Priorität: Einleitung in oberirdisches Gewässer (mit / ohne Retention, mit / ohne Behandlung)
- 3. Priorität: Einleitung in öffentliche Mischwasserkanalisation

Eine Behandlung des Strassenabwassers vor einer Einleitung ist erforderlich, wenn eine Schadstoffbelastung zu erwarten ist. Die Einstufung der Schadstoffbelastung richtet sich nach dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) gemäss Angaben in der kantonalen Richtlinie zum Gewässerschutz Teil 2 [12].

Strassenabwasserversickerung

Je nach Schadstoffbelastung des Strassenabwassers, Geologie sowie Hydrologie, der Gewässerschutz- bereiche sowie der Grundwasserschutz-zonen und -areale ist das Abwasser mit oder ohne Behandlungsanlage direkt zu versickern. Zur Anwendung kommen überwiegend Retentionsfilterbecken oder Mulden-Rigolen-Systeme.

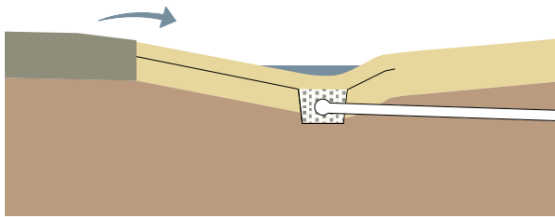


Abbildung 5: Retentionsfilterbecken [11]

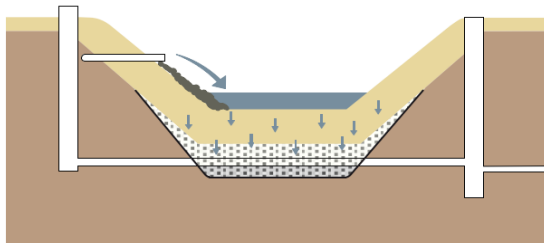


Abbildung 6: Mulden-Rigolen-System [11]

Strassenabwasserbehandlung und -retention bei Einleitung in oberirdische Gewässer

Als zweite Priorität gilt die Einleitung des Wassers in ein oberirdisches Gewässer. Bei Einleitung in ein oberirdisches Gewässer hängt die Notwendigkeit einer Behandlung und/oder einer Retention von der Schadstoffbelastung, der Einleitmenge, der Bachsohle und vom Gewässerschutzbereich ab. Die Dimensionierung erfolgt gemäss der kantonalen Richtlinie Teil 2 [12].

Öffentliche Mischabwasserkanalisation

Die letzte Priorität ist die Einleitung in die Mischabwasserkanalisation in der Regel unter Vorschaltung eines Speicherkanals zur Retention mit gedrosseltem Ablauf von 1 – 2 l/s zur Kanalisation und weiter in die ARA. Gemäss der Generellen Entwässerungsplanung (GEP) respektive mit dem zuständigen GEP-Ingenieur sind die Einleitmengen projektbezogen festzulegen.

2.4.2. Oberflächenabfluss: Starkregen und Überflutungsschutz

Im Bereich der Siedlungsentwässerung wird mit der VSA Empfehlung zur hydraulischen Beurteilung von Entwässerungssystemen [22] neu auch der Oberflächenabfluss in Siedlungsgebieten einbezogen. Oberflächenabfluss ist Regenabwasser, das besonders bei starken Niederschlägen nicht versickert, sondern über das offene Gelände abfließt und so Schäden verursachen kann [8]. Von Hochwasser spricht man hingegen, wenn Flüsse und Seen über die Ufer treten. Das Oberflächenwasser verursacht bis zu 50% der Hochwasserschäden und tritt in den letzten Jahren vermehrt auf. Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss zeigt, welche Gebiete in der Schweiz durch Oberflächenabfluss gefährdet sind und wie tief sie unter Wasser stehen können.

Gemäss dem neuen Ansatz der VSA Empfehlung werden in der Siedlungsentwässerung die Abflussprozesse im Kanalisationsnetz und beim Oberflächenabfluss gemeinsam betrachtet. Der Oberflächenabfluss wird dabei im Rahmen der GEP Bearbeitung aufgrund der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss [8] weiter analysiert und mit Wet-Spots (Wet-Spots sind Orte, in denen potenziell ein erhöhtes Risiko von Schäden durch Oberflächenabfluss besteht) konkretisiert. Bei Starkregen und hohem Oberflächenabfluss treten Überlastungen im Kanalisationsnetz auf, Rückstau in Liegenschaften ist möglich und auch kanalinduzierte Überflutungen können entstehen.

Die Einbeziehung des Oberflächenabflusses geht damit noch einen Schritt weiter als die hydraulische Überprüfung des Kanalnetzes (Vergleiche 2.6). Für die Strassenentwässerung ist der Oberflächenabfluss insbesondere bei den Einzugsgebieten mit hohem Schutzziel (siehe Tabelle 1) von hoher Bedeutung.

Bei Pumpwerken sind zusätzlich bei Ausfall von Pumpen die Überflutungsfolgen und das Schadenspotential zu betrachten. Gegebenenfalls ist zusätzliches Rückhaltevolumen vorzusehen oder Betriebssicherheit durch Redundanz für eine einzelne Pumpe zu schaffen.

2.5. Retention

Retention ist als Zwischenspeicherung von Strassenabwasser definiert, um einen nachfolgenden Vorfluter oder eine Reinigungsanlage hydraulisch nicht zu überlasten. Im Pumpwerk findet die Retention in der Pumpenvorlage zwischen den Ein- und Ausschaltpunkten der Pumpen mit Füll- und Entleerungszyklus statt.

Das Mindestvolumen bei allen unterirdisch angeordneten Rückhaltesystemen beträgt 5 m^3 (entspricht in etwa dem Tankvolumen eines Spülfahrzeugs). Dieses minimale Volumen dient unter anderem dem Rückhalt von Abwasser infolge Bauwerksreinigung. Bei kantonalen Durchgangsstrassen bzw. Störfallstrassen sind die Mindestvolumen gemäss Störfallrichtlinie [13] zu berücksichtigen.

Das Retentionsvolumen am Pumpwerk kann auch mit einem technischen Bauwerk ausserhalb des eigentlichen Pumpensumpfs kombiniert werden. Es kommen Sonderbauwerke der Kanalisation wie Rückhalte- bzw. Regenbecken, Speicherkanäle oder gekoppelte Mulden-Rigolen-Systeme zum Einsatz. Dabei bildet der Pumpensumpf einen Teil des gesamten Speichervolumens des Sonderbauwerks.

Für das Pumpwerk der Strassenentwässerung ist das Retentionsvolumen bei Stromausfall (2.5.1) und das Retentionsvolumen gemäss Schutzziel Einstufung (2.5.2) zu ermitteln. Das grössere Volumen der Fallbetrachtung ist als Retentionsvolumen massgebend.

2.5.1. Retentionsvolumen bei Stromausfall

Unabhängig vom Schutzziel des entwässerten Gebiets ist für den Ausfall der Pumpen ein Retentionsvolumen über die Dauer von 20 min bereitzustellen, dabei entsprechen 15 min der Richtzeit der Feuerwehr bis zum Eintreffen der Einsatzfahrzeuge, sowie 5 min zum Einrichten der technischen Ausrüstung. Es ist der Zufluss aus dem $z = 1$ Regen anzusetzen. Infolge des Stromausfalls findet kein Abfluss durch Abpumpen statt.

2.5.2. Retentionsvolumen gemäss Schutzziel Einstufung

Für die Dimensionierung des Retentionsvolumens wird die Jährlichkeit der Regenspende nach der Schutzziel-Einstufung des Einzugsgebiets gewählt (siehe Tabelle 1)

Mit der definierten Jährlichkeit ist das erforderliche Retentionsvolumen als Bilanz zwischen Zufluss und Abfluss zu ermitteln.

Zunächst ist der Abfluss als Pumpleistung des Pumpwerks projektbezogen festzulegen, d.h. die Rahmenbedingungen der nachfolgenden Bauwerke, Gewässer oder Kanäle sind zu beachten. Die Abflussleistung des Pumpwerks ist zum Beispiel mit dem GEP Ingenieur entsprechend der Kapazität der Kanalisation, mit der nachfolgenden Strassenabwasserbehandlungsanlage oder mit der Einleitung in eine Versickerung oder ein Oberflächengewässer abzustimmen. Konzeptionell sind grössere Retentionsvolumen und kleinere Pumpenleistungen zu bevorzugen, um den Unterhalt des Pumpwerks zu vereinfachen und die Betriebssicherheit zu optimieren.

Im nächsten Schritt zur Dimensionierung des Retentionsvolumens wird bei einer Regendauer zwischen 10 und 30 Minuten und den zugeordneten Regenintensitäten der Fall bestimmt, an dem das maximale Retentionsvolumen benötigt wird. Hohe Zulaufmengen über der Pumpleistung des Pumpwerks treten unabhängig von der Jährlichkeit bei kurzen starken Regenereignissen (siehe Tabelle 2: Werte für das Retentionsvolumen bei 15, 20, 25 und 30 min) auf.

Beispiel Dietlikon, Unterführung Bahnhofstrasse:

Grösse	Abkürzung	Einheit	Wert
Gebiet gem. VSS Norm 40 350	Mittelland		
EZG Fläche	A_{red}	m ²	4'110
Kanalisation Zufluss	$r (15;1)$	l/s	57
Förderleistung (hier Ansatz: 1 Pumpe)	Q_{Pumpe}	l/s	20
Jährlichkeit (gem. Schutzziel)	T	a	10

In Dietlikon ist neben der Unterführung Bahnhofstrasse des Fallbeispiels eine weitere Strassenunterführung als Zufahrt vorhanden. Die Schutzziel Einstufung wird daher (trotz hoher Bedeutung der Infrastruktur Bahnhof) auf einer Jährlichkeit von $z = 10$ Jahren belassen, da mit dem zweiten Verkehrsweg das Risiko der Überflutung minimiert ist.

Als Förderleistung der Pumpstation wird der Betrieb mit nur einer Pumpe angesetzt, da die zweite Pumpe zeitlich versetzt zugeschaltet wird.

Hydraulische Berechnung von Retentionsvolumen

Eingangswerte

Regenanfall:

Wiederkehrperiode T	Orts-Koeffizient für	Orts-Koeffizient a_r	Orts-Koeffizient b_r	Einzugsfläche F_{r,ed}	Förderleistung Pumpe Q
Jahre	-	-	-	ha	l/s
10.0	Mittelland / Tessin	45.66	0.247	0.411	20.0

Eingangswerte

Pumpenleistung:

$$r(t, T) = 2.78 \times \frac{a_r}{t + b_r}$$

Formel von Talbot nach VSS 40 350

Berechnung maximales Retentionsvolumen:

Regendauer t	Regenwasseranfall		Pumpleistung		Retentionsvolumen Δ V(t)
	r(t)	V_r(t)	q(t)	V_q(t)	
min	l/(s x ha)	m ³	l/s	m ³	m ³
0	513.91	0.0	20.0	0.0	0.0
5	384.26	47.4	20.0	6.0	41.4
10	306.85	75.7	20.0	12.0	63.7
15	255.40	94.5	20.0	18.0	76.5
20	218.73	107.9	20.0	24.0	83.9
25	191.26	117.9	20.0	30.0	87.9
30	169.93	125.7	20.0	36.0	89.7

Maximales
Volumen

Tabelle 2: Berechnungsbeispiel für das maximale Retentionsvolumen am Pumpwerk

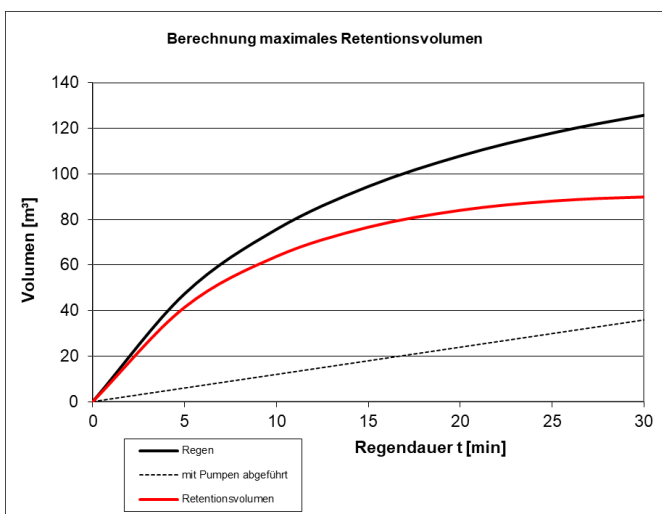


Abbildung 7: Visualisierung des Berechnungsbeispiels

Ergebnisse für Zürich:

Retentionsvolumen nach 2.5.1 «Stromausfall»:
Zufluss aus r(20;1) Regen während 20 min als Notfallvolumen 58.6 m³

Retentionsvolumen nach 2.5.2 «Schutzziel / Risikomatrix»:
Bilanz zwischen Zufluss und Abfluss 90 m³
bei verschiedenen Regendauern T für 10-jährige Regenereignisse

Bei der Betrachtung der beiden Bemessungsansätze ist die Dimensionierung nach Schutzziel Einstufung mit 90 m³ höher und als Retentionsvolumen massgebend.

2.6. Hydraulischer Nachweis mit hydrodynamischen Berechnungen

Kanalnetze werden nach der Dimensionierung der Leitungsstränge mit Regenreihen oder Modellregen in Bezug auf ihre hydraulische Leistungsfähigkeit überprüft. Bei der Berechnung des Abflusses im Kanalnetz werden hydrologische und neuere hydrodynamische Methoden unterschieden.

Hydrologische Methoden wie das Zeitbeiwertverfahren berücksichtigen den Transport und die Retention (Dämpfung) des Abflusses. Rückstau und Fliessumkehr werden nicht berücksichtigt und Überlastungszustände im Kanalnetz sind nicht sichtbar. Mit diesen Methoden wird das Kanalnetz mit seinen Rohrleitungsdimensionen in einem ersten Schritt ausgelegt.

Mit hydrodynamischen Methoden werden Wasserstand und Abfluss zeitschrittweise je Leistungsstrang (Haltung) iterativ berechnet, wofür verschiedene Software-Lösungen zur Verfügung stehen. Diese Methode dient dem rechnerischen Nachweis von Überstauhäufigkeiten über die Geländeoberkante bzw. Belagsoberfläche.

Die Methoden zur Überprüfung und die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen sind in der Schweiz und in Deutschland zunehmend im Wandel, da sich sowohl im Bereich von Simulationsmöglichkeiten und Analysen mit Softwareprogrammen als auch mit hochauflösenden Aufzeichnungen von Regenereignissen Fortschritte ergeben haben. [27]

Mit den verfeinerten Ergebnissen werden neu für ein Gebiet Schutzziele bei der Häufigkeit der Überflutungen definiert und das Entwässerungssystem mit den errechneten Überflutungen dieser Simulationen überprüft. Die Festlegung der Jährlichkeit beim Zufluss zu Pumpwerken in Bezug auf Schutzziele im Gebiet in der vorliegenden Richtlinie (Tabelle 1) folgt diesem Ansatz.

Bei hydrodynamischen Nachweisen ist das Pumpwerk in das hydraulische Nachweisverfahren zu integrieren. Die Überprüfung hat mit Regenereignissen aus der in der Risikomatrix definierten Jährlichkeit zu erfolgen. Die Rahmenbedingungen des hydraulischen Nachweises sind projektspezifisch mit dem Bauherrn oder dem GEP-Ingenieur abzusprechen.

2.7. Abfluss aus Störfallstrassen

Nationalstrassen und Durchgangsstrassen, die aufgrund des Transports gefährlicher Güter unter die Störfallverordnung fallen, werden gemäss der RiLi Teil 2 [12] als Störfallstrassen bezeichnet. Für den Kanton Zürich ist der Geltungsbereich und die Anforderungen in der RiLi Störfallvorsorge bei kantonalen Durchgangsstrassen weiter präzisiert [13].

Bei Einleitungen in den Vorfluter sind bei Störfallstrassen ein Rückhaltevolumen und ein Schieber im Auslauf gefordert. Nähere Bestimmungen in Abhängigkeit von der Lage (innerorts / ausserorts), von der Schadstoffbelastung (DTV), von der Einleitungsart (Vorfluter oder Versickerung) und vom Typ des Rückhaltesystems (langsam oder schnell durchflossen) sind in den Tabellen unter 3.2 der RiLi Störfallvorsorge [13] näher beschrieben.

3. Bauwerke

3.1. Pumpwerk mit kombiniertem Absetzraum und Pumpenvorlage

Das Pumpwerk ist idealerweise am Tiefpunkt der Strassenunterführung bzw. der Strassenentwässerung mit Zugang ausserhalb der Fahrbahn anzuordnen.

Die Strassenentwässerung wird über Linien- und Punktentwässerung gefasst, wobei die Einlaufschächte/Einlauffassen in der Regel nicht als Schlamm-sammler ausgebildet werden. Die Vorreinigung mit einem zentralen Schlamm-sammelraum wird direkt dem Pumpwerk vorgeschaltet respektive als kombiniertes Bauwerk ausgebildet.

Im kombinierten Bauwerk kann die Abtrennung des Schlamm-sammelraums vor dem Pumpensumpf mit einem fixen Beton-nocken oder mittels demontierbarem Leitblech erfolgen. Die Schlamm-sorgung mit Spülfahrzeugen ist somit ausserhalb des Pumpensumpfs möglich und kann vor der Pumpe gefasst werden.

Die Zugänglichkeit zum Schlamm-sammelraum für Saugwagen ist zu gewährleisten.

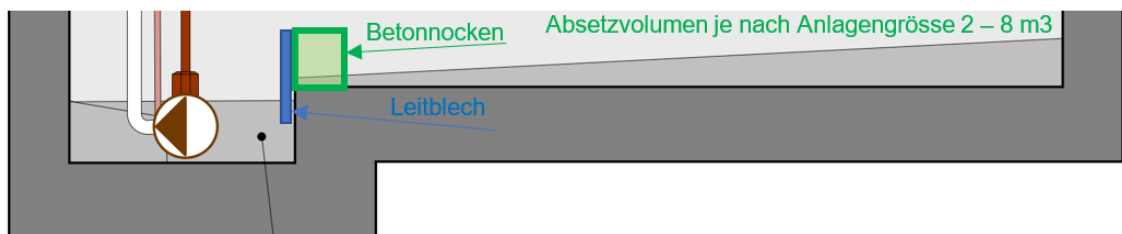


Abbildung 8: Kombiniertes Pumpwerk mit Blech 8 mm zur Abtrennung Schlamm-sammelraum

3.2. Schlamm-sammler (vorgeschaltetes Absetz-becken)

Vor dem Pumpwerk ist eine mechanische Vorreinigung analog einem zentralen Schlamm-sammler für den Rückhalt von Schwimm-/ und Schwebstoffen (z.B. Öle) sowie Sinkstoffen (Schlamm) einzuplanen. Absetz-becken vor Pumpstationen dienen der getrennten Erfassung von absetzbaren Stoffen, verhindern die Ablagerung in der Pumpenvorlage und erleichtern somit den Unterhalt. Abläufe aus dem Schlamm-sammler sind mindestens DN200 zu dimensionieren.

Bei einer Ableitung des Pumpwerkes in eine Kanalisation oder Vorfluter sind «normale» Anforderungen bezüglich Vorreinigung zu erfüllen. Diese bedingt gemäss SN 592'000 [21] eine minimale Aufenthaltszeit von 30 Sekunden im Abscheideraum und eine Sinkgeschwindigkeit von 18 m/h.

Bei Ableitung in eine oberirdische Versickerungsanlage könnte allenfalls «erhöhte» Anforderungen angebracht sein (Aufenthaltszeit 120 Sekunden und Sinkgeschwindigkeit der Sinkstoffe 18 m/h).

Gemäss SN 592'000 ist ferner in Abhängigkeit der zufließenden Wassermenge (bis 35 l/s) und bei Annahme einer minimalen Schlammraumtiefe von 0.5 eine Nutztiefe von 1.10 m für den zentralen Schlammfänger vorgegeben.

Die Berechnung der Oberfläche von Absetzanlagen (Schlammfang / Schlammfänger) ist analog der SN 592'000 [21] auszuführen:

$$A = \frac{\dot{V}_{Zu} \cdot t}{h}$$

A	[m ²]	Oberfläche Schlammfänger, Grundfläche Bauwerk
\dot{V}_{Zu}	[m ³ /s]	Dimensionierungszufluss
t	[s]	minimale Aufenthaltszeit im Schlammfang
h	[m]	Tiefe Abscheideraum

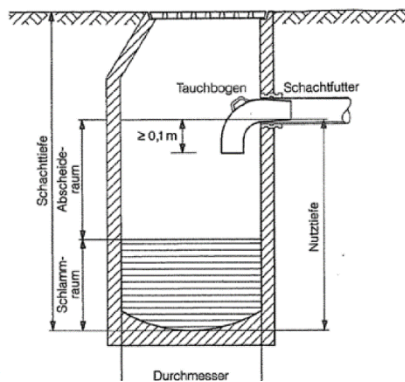


Abbildung 9: Schlammfänger [21]

3.3. Pumpenvorlage

Die Pumpenvorlage umfasst folgende Volumen:

- Nutz-, Alarm- und Reservevolumen
- Pumpensumpf

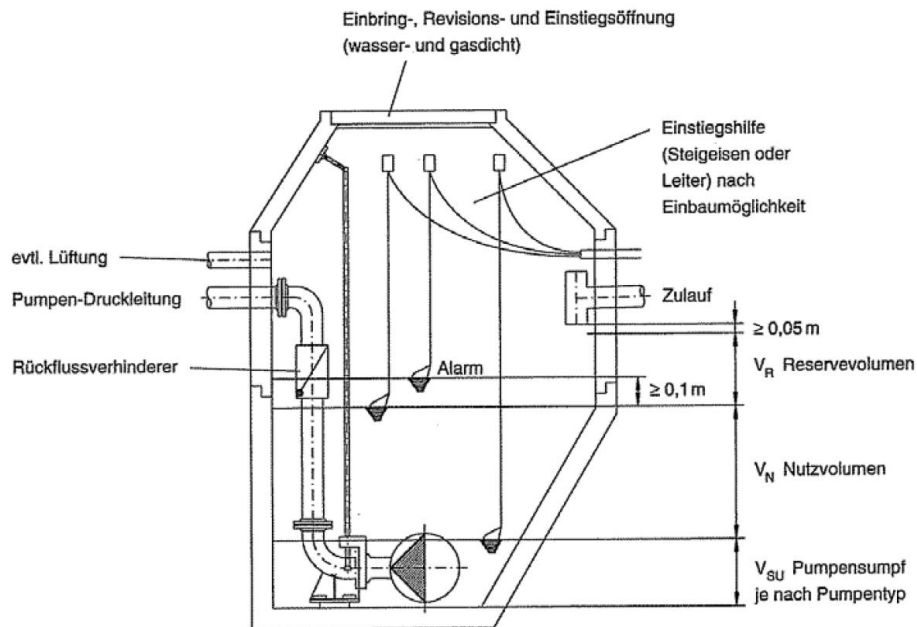


Abbildung 10: Zonen der Pumpenvorlage [21]

Für die Pumpenvorlage sind folgende bauliche Anforderungen zu beachten:

- Sicherheitsabstand vom Bauwerksboden bis zur Ansaugöffnung der Pumpe, in der Regel 0.1 - 0.2 m. Je nach Pumpentyp/-hersteller können Produktespezifische Vorgaben ergänzend erforderlich sein.
- Geometrie der Pumpe: der hydraulische Teil der Pumpe muss mindestens immer überstaut bleiben. je nach Pumpe kann ein höherer Mindestwasserstand für Kühlfunktion der Pumpe erforderlich sein.
- Um Ablagerungen und Schwimmdeckenbildung zu vermeiden, sind die Sumpfschrägen möglichst steil (nicht unter 45°) und oberflächenglatt auszuführen.
- Im Bereich der Pumpe soll eine möglichst kleine Grundfläche vorhanden sein.
- Bei Aufstellung mehrerer Tauchmotorpumpen nebeneinander ist durch den Einbau von senkrechten Trennwänden die Wirbelbildung zwischen den Pumpen zu reduzieren. Der Platzbedarf für die Trennbauwerke aus Beton oder Blech ist bei der Planung zu berücksichtigen.
- Die Oberkante des Pumpensumpfs definiert das Ausschaltniveau der Pumpe(n).
- Die Pumpenvorlage ist von anderen Räumen gasdicht zu trennen, jedoch ist für eine ausreichende Entlüftung des Sammelraums bei maximalem Abwasserzulauf zu sorgen. (s. Kap. 3.7 Lüftung)
- Die Montageöffnungen des Pumpenraums sind unter Beachtung der Zugänglichkeit der Tauchmotorpumpen für Revisionen auszulegen.
- Schachtabdeckungen sind ausserhalb des Verkehrsraums anzuordnen und in der Belastungskategorie den maximal möglichen Belastungen am Einsatzort anzupassen. Schachtabdeckungen über Bauwerken mit elektromechanischer Ausrüstung (Pumpen, Schieber etc.) sind in verschraubter Bauweise auszuführen.

3.3.1. Material

Für die Bauwerke des Pumpwerks gilt grundsätzlich das Fachhandbuch Kunstbauten [15]. Es ist die Betonsorte G (= Tiefbaubeton T4) gemäss Tab. NA.5 und NA.6 der Norm SN EN 206 zu verwenden.

Abdeckungen von Einstiegs- und Montageöffnungen sind für Ein-Mann-Bedienung vorzusehen und möglichst leicht in Edelstahl mit Gasdruckfedern sowie klapp- und verschliessbar auszuführen. Bei Schächten mit kanalinduziertem Rückstau sind situationsbezogen rückstausichere verriegelte Schachtabdeckungen einzusetzen.

3.3.2. Dimensionierung des Nutzvolumens

Das Nutzvolumen einer Pumpenvorlage ist abhängig von der zulässigen Schalthäufigkeit und dem Förderstrom der grössten im Schacht verwendeten Pumpe. Bei zwei gleichen Pumpen und automatischem Pumpenwechsel bei jeder Einschaltung kann das Nutzvolumen halbiert werden. Die Schalthäufigkeit der Pumpe ist bauartbedingt vom gewählten Pumpenfabrikat abhängig und in der Betriebsanleitung definiert.

Das Nutzvolumen berechnet sich dabei wie folgt:

$$V_{\text{Nutz, Schacht}} = \frac{0.9 \cdot Q_{\text{Pump}}}{n \cdot Z}$$

V_{Nutz}	[m ³]	Nutzvolumen Pumpwerk
Q_{Pump}	[m ³ /h]	Dimensionierungszufluss
n	[-]	Anzahl der Pumpen
Z	[h ⁻¹]	Schalthäufigkeit pro h

3.4. Aufstellungsarten der Pumpen im Pumpwerk

Die nass oder trocken aufgestellten Pumpen erfordern unterschiedliche Bauwerke. Die Vor- bzw. Nachteile der Aufstellungsart in Bezug auf die Pumpentechnik werden im Kapitel 4.1.1 beschrieben.

3.4.1. Nassaufstellung mit Tauchmotorpumpen

Bei der Nassaufstellung sind die Pumpen als Tauchmotorpumpen in der Pumpenvorlage installiert, werden an einer Halterung mit Führungsrohren in den Pumpensumpf abgesenkt und über den Fusskrümmer an die fest installierte Druckleitung angeschlossen. Über jeder Tauchmotorpumpe sind Öffnungen (Schachtabdeckung, Gitterrost) ausserhalb der Fahrbahn anzuordnen, so dass die Pumpen für Revisionen an den Führungsrohren (oft mittels Bedienkran) aus dem Pumpwerk gezogen werden können. Tauchmotorpumpen sind im Pumpwerk vollständig überflutet und geben die Motorwärme an das umgebende Fördermedium ab. Pumpen in Nassaufstellung benötigen keine Saugleitung, da das Fördermedium von allen Seiten zuläuft.

3.4.2. Trockenaufstellung von Entwässerungspumpen

Bei der Trockenaufstellung ist ein Pumpwerk mit zwei Kammern zu konzipieren. Die Entwässerung wird in die nasse Pumpenvorlage eingeleitet und gespeichert, während die Pumpen in einem abgetrennten trockenen Raum (Pumpenraum) aufgestellt sind. Die

Pumpen ziehen über eine Saugleitung das Abwasser aus der Pumpenvorlage. Der Pumpenraum ist bis zum Aufstellort der Pumpen für den Unterhalt zugänglich zu gestalten (Leitern, Treppen). Die Pumpenvorlage ist für Reinigungs- und Spülarbeiten, Inspektionen und Entleerungen mit einer Öffnung in der Abdeckplatte auszustatten.

3.5. Zulauf

Der Zulauf in das Pumpwerk ist strömungsoptimiert zu gestalten. Jets, d. h. Zuflüsse mit hoher Strömungsgeschwindigkeit, die auf stehende oder langsam fließende Fördermedien treffen, sind zu vermeiden, da diese beim Auftreffen grosse instationäre Wirbelgebiete im Nach- bzw. Ablauf bilden. Der Zulauf kann mit Leitblechen als Prallwand oder mit T-Rohrstücken abgelenkt werden. Die Zugänglichkeit für den Unterhalt zum Abspritzen von Ablagerungen ist zu gewährleisten.

3.6. Ex-Zonen

Die Einteilung in Explosions-Zonen ist ein Hilfsmittel zum Schutz vor Explosionen. Anhand dieser Einteilung wird ersichtlich, wo wirksame Zündquellen verhindert werden müssen. Beispiele für die Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche in Zonen sind in dem SUVA-Merkblatt 2153d [17] (insbesondere in den Beispielen im Anhang, unter 6.1.2 Stapelbehälter) aufgeführt.

Bei der Strassenentwässerung können im Pumpwerk durch die Zuleitung von Leichtflüssigkeiten explosionsfähige Atmosphären entstehen. Die Bauwerke des Pumpwerks sind daher gemäss dem SUVA-Merkblatt in Ex-Zonen einzuteilen und zu kennzeichnen. Pumpensümpfe in der Strassenentwässerung gelten mindestens als Ex-Zone 2 und sind gemäss dem Merkblatt zu untersuchen. Gemäss der RiLi zur Störfallvorsorge [13] und gemäss ASTRA Factsheet Ex-Zonen [5] sind Pumpwerke explizit der Ex-Zone 2 zuzuordnen.

Einbauten in den explosionsgefährdeten Räumen der Ex-Zone 2 wie Pumpen oder Messtechnik müssen so beschaffen sein, dass von ihnen keine Explosionsgefahr ausgeht. Diese Forderung ist erfüllt, wenn explosionsgeschützte Tauchmotorpumpen eingesetzt werden.

Bei trocken aufgestellten Pumpen ist der Aufstellraum der Pumpen (Pumpenraum) keine Ex-Zone, wenn die Verbindungen zur Pumpenvorlage gasdicht verschlossen sind (z.B. Pressringdichtungen bei Rohrleitungen, usw.).

3.7. Lüftung

Der Be- und Entlüftung bei Pumpwerken ist in Hinblick auf Korrosions- und Geruchsprobleme besondere Beachtung zu schenken. Eine natürliche Lüftung mit Zu- und Abluftrohren ist zwingend notwendig, wenn die Luftzirkulation z.B. infolge vorgeschaltetem Schlamm-sammler unterbunden ist, oder wenn die zuführenden Grund- und Anschlussleitungen nicht belüftet sind. Eine wirksame Lüftung verhindert die Ansammlung korrosiver Gase. Eine wirksame natürliche Lüftung ist gegeben, wenn

- eine Quer-, Diagonal- oder eine andere gleichwertige Lüftung vorhanden ist

- Lüftungsöffnungen nicht verschliessbar sind
- bei Pumpensämpfen durch eingebaute Rohre eine Kaminwirkung erzeugt wird
- bei maximaler Pumpleistung die Zuluft mit gleichem Volumenstrom nachströmt (druckausgleichend)

Bei der Be- und Entlüftung ist ein Kurzschluss zwischen Zu- und Abluft auszuschliessen (diagonal anordnen).

Bei trocken aufgestellten Pumpen ist die Pumpenvorlage als Ex-Zone 2 von den anderen Räumen gasdicht zu trennen und nicht über die Lüftung zu verbinden. In der Pumpenvorlage ist auch bei maximalem Abwasserzulauf für einen Luftaustausch oberhalb des Sammelraums zu sorgen.

Eine technische Lüftung (eventuell auch mit Adsorptionstrockner) kann in Betriebsräumen gegen Feuchte und Schwitzwasser erforderlich sein.

Jede Zwangsbelüftung (mit Ventilatoren) erfordert die Berücksichtigung von Frostschutzmassnahmen. Eine Dauerbelüftung ist aus energetischen Gründen nicht sinnvoll.

3.8. Betriebsraum / Pumpenraum und Verteilkabine

Je nach Anlagengrösse der Pumpstation ist ein separates Betriebsgebäude für die Unterbringung der Armaturen und (trocken aufgestellten) Pumpen sowie der elektrischen Schalt- und Steueranlage vorzusehen.

Der Betriebsraum hat den Anforderungen für den Unterhalt zu genügen, insbesondere sind zu beachten:

- Bodenöffnungen über den Pumpen zur Demontage / Montage
- Krananlagen / Kranbahn und Hebmittel / Kettenzug für das Ausbringen der Pumpen
- Elektroverteilung mit erdverlegten Zuleitungen und Einführung im Sockelbereich unter Schaltschrank
- Hauptverteilung mit Energiemessung
- Raumlüftung

Der Pumpenraum ist gegenüber angrenzenden Betriebsräumen gas- und wasserdicht auszuführen.

Bei kleineren Anlagen können die wichtigsten anlagespezifischen Installationen in einer Verteilkabine untergebracht werden. Diese ist bezüglich Schutzes vor Überflutung idealerweise in Geländehochpunkten anzuordnen. Bei der Standortwahl für eine Verteilkabine ist zu berücksichtigen, dass die Kabine nicht direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist bzw. gegebenenfalls beschattet wird.

3.9. Zufahrt und Platz

Für den Unterhalt ist ein Zufahrtsweg für Spülwagen 5-Achser (40 t-Fahrzeuge) vorzusehen und nachzuweisen. Detaillierte Nachweise von Schleppkurven und Wendemöglichkeiten sind nach VSS nachzuweisen. Projektspezifische Reduktionen sind mit der Bauherrschaft zu klären (z.B. Rückwärtsfahrt anstelle Wendemöglichkeit, Unterhaltsbucht oder «kleine» Unterhaltsfahrzeuge wie 2-, 3- oder 4-Achser.

An der Pumpenvorlage ist mindestens ein Abstellplatz für den Spülwagen vorzusehen. Für die Mitarbeiter im Unterhalt ist ein Parkplatz / Abstellplatz (mind. 1 PW) zu projektieren.

Eine direkte Zufahrt bis zum Einbringschacht für das Versetzen der Komponenten mittels Krans ist auf den Abstellplatz sowie das Lieferfahrzeug abzustimmen (Standort Kran am Fahrzeug). In der Regel sind ca. 5 m bis zum Zentrum des Einbringschachtes möglich.

Zugänge zu Schächten mit technischer Ausrüstung (befahrbare Pumpen- oder Armaturenschächte) sowie Montageflächen, Standflächen für Fahrzeuge der Unterhaltsequipe usw.) sind grundsätzlich ausserhalb öffentlicher Verkehrsräume anzuordnen.

Zugang und Transportweg

Ist mit dem Unterhaltsfahrzeug kein direkter Zugang zum Pumpschacht möglich und sind Transportwege für Komponenten auf Paletten oder dergleichen vorgesehen, so ist auf kurze Distanz vom LKW zum Abladestandort zu achten. Der Weg muss möglichst eben, flach und ohne vertikale Absätze sein. Anforderungen gemäss VSS für Rampen und Einfahrten beachten.

Nutzlasten

Aufgrund der stark unterschiedlichen Projekte / Ausgestaltung können keine verbindlichen Vorgaben zu den Lastannahmen genannt werden. Die konkreten Festsetzungen sind im Rahmen einer Nutzungsvereinbarung gemäss SIA 261 «Einwirkungen auf Tragwerke», Ziff. 8.2.2 mit dem Projektleiter TBA Kunstbauten abzustimmen

Beispiel mit Anforderungen Transportweg mit Stapler Ameise bis 1'000 kg Nutzlast

- Flächige Nutzlast von $q_k = 12 \text{ kN/m}^2$ (in der Regel 10...20 kN/m^2)
Auslegung Transportweg jedoch grundsätzlich nach SIA 261 für Fahrzeuge mit 3.5 t.

Dynamische Effekte sind zusätzlich zu berücksichtigen. Der Kontaktdruck der Räder ist vom Radtyp abhängig. Die maximal zulässige Belastung ist am Bauwerk gut sichtbar zu beschriften.

Freier Transportweg (minimale lichte Masse, in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp nachzuweisen), beispielsweise:

- Länge 1.80 m (Kurven, Kehren, Wenden)
- Breite 1.00 m
- Höhe 2.00 m
- Wenderadius 1.20 m

3.10. Druckleitung

Die Druckleitung nach den Pumpen ist gemäss den hydraulischen Erfordernissen auszulegen.

Die baulichen Anforderungen an Druckleitungen sind wie folgt definiert (siehe auch ASTRA Fachhandbuch T/U, Druckleitung 21 001 – 10432 [2]):

- frostsichere Verlegung, minimale Überdeckung in der Regel 0.80 m (je nach örtlichen Gegebenheiten)
- Verlegung mit Gefälle, sowie Hochpunkte mit Be- und Entlüftungsventilen in Schächten entlüften, Tiefpunkte mit Schächten zur Entleerung (zugänglich)
- für Spülvorgänge sind Rohrreinigungs-Öffnungen vorsehen (Vgl. auch 4.6.4)
- keine Verengung des Durchmessers in Fliessrichtung
- rückstaufreie Verlegung, d.h. die Sohle der Rückstauschleife über die Rückstau-ebene führen
- Projektierung von Endschächten, mit einem hydraulisch günstigen Übergang (abla-gerungsfrei) zwischen Druckleitung und Freigefällekanalisation (Übergang zu niedrigeren Fliessgeschwindigkeiten).
- Rohrmaterial, Wandstärke und Rohrumhüllung sind in Abhängigkeit von der Rohrstatik (SIA 190) und den Betriebszuständen festzulegen. Im Normalfall treten Drücke bis 3 bar auf, die Druckleitungen müssen aus Sicherheitsgründen auf einen Nenndruck von 10 bar ausgelegt sein. [2]
- Dichtheitsprüfungen sind nach SVGW Richtlinie W4 durchzuführen. [18]
- Druckleitungen und Schächte sind bei Bau georeferenziert einzumessen.

3.11. Weitere Bauwerke bei der Entwässerung von Unterführungen

Gemäss VSS Norm 40 361 [23] kann eine Behandlung des Strassenabwassers erforderlich sein (bzw. bei Nationalstrassen nach ASTRA 18005), um die Anforderungen des Gewässerschutzes, der Raumplanung oder andere lokale Bedingungen oder Bedürfnisse aus dem Unterhalt zu erfüllen.

Die nachfolgend aufgeführten Bauwerke können im Einzelfall auch in das Pumpwerk integriert werden. Bei Ölabscheidern, Rückhaltebecken und Stapelbecken sind die kantonalen Gewässerschutzvorgaben zu beachten.

3.11.1. Ölabscheider

Für den Rückhalt von wassergefährdenden Flüssigkeiten (Benzin, Öl) sind nach VSS Norm 40 361 [23] oder nach Teil 2 der Richtlinie Gewässerschutz an Strassen, Strassenentwässerung Kt ZH [12] im zentralen Schlammsammler Vorrichtungen zu installieren, welche die Leichtflüssigkeiten zurückhalten oder ein Ölabscheider als getrenntes Bauwerk vorzusehen.

Ölabscheider und Schlammsammler sind in Fliessrichtung immer vor dem Pumpwerk zu errichten.

3.11.2. Rückhaltebecken

Die Projektierung von Rückhaltebecken zur Retention bei Pumpwerken bzw. Unterführungen ist von den Rahmenbedingungen am Standort (Kanalnetz, Einleitbedingungen, Weiterleitung auf eine Behandlungsanlage, ev. Nutzung als Störfallvolumen) abhängig. (ASTRA Technisches Merkblatt Rückhaltebecken FHB T/U [2])

3.11.3. Stapelbecken

Bei der Strassenentwässerung von Tunneln sind Stapelbecken zu errichten, welche die anfallenden belasteten Abwässer, wie zum Beispiel Tunnelreinigungswasser, Löschwasser oder Havarieflüssigkeit, zwischenspeichern, bevor sie der geordneten Entsorgung mittels Saugfahrzeug zugeführt werden. (ASTRA Technisches Merkblatt Stapelbecken aus FHB Tunnel / Geotechnik) [1]

4. Technische Ausrüstung im Pumpwerk

4.1. Pumpen

4.1.1. Aufstellungsart nass oder trocken

Die Vor- und Nachteile der Nass- oder Trocken-Aufstellung sind gemäss der nachfolgenden Tabelle abzuwägen:

Aufstellung	Vorteile	Nachteile
Nass (Tauchmotorpumpe)	Gute Raumausnutzung, kompakte Bauwerke (z.B. Fertigteil-Beton-Schächten oder Kunststoff GFK / PE)	Schlechtere Zugänglichkeit für den Unterhalt
s. Kap. 3.4.1	Überflutungssicher	Pumpen mit Ex Schutz notwendig
	Investitionskosten niedriger	
Trocken (im getrennten Pumpenraum)	Gute Zugänglichkeit von Pumpen und Armaturen	Aufwendigeres Bauwerk notwendig für getrennten Pumpenraum
s. Kap. 3.4.2	Pumpen ohne Ex Schutz, da ausserhalb der Ex Zone installiert	
Archimedische Schneckenpumpen	Hohe Betriebssicherheit (einfache Bauart, niedrige Drehzahl)	Hoher Platzbedarf für Aufstellung mit flachem Winkel und Betontrug
s. Kap. 3.4.2	Pumpen ohne Ex Schutz, da Antrieb ausserhalb der Ex Zone installiert	

Tabelle 3: Vergleich «nass» und «trocken» aufgestellte Pumpen

Trocken aufgestellte Pumpen können vertikal oder horizontal angeordnet werden. Die horizontale Aufstellung ermöglicht einen tiefer liegenden Einschaltpunkt, die vertikale Aufstellung findet bei beengten Platzverhältnissen im Pumpenraum Anwendung.

4.2. Hydraulische Bemessung von Pumpen

Für die Förderhöhe zur Auslegung der Pumpen ist die Rohrkenlinie oder Anlagenkenlinie des Bauwerks zu bestimmen. Die Rohrkenlinie beschreibt graphisch den Zusammenhang zwischen der von der Pumpe zu leistenden Förderhöhe (H) und dem gewünschten Förderstrom (Q).

Die Förderhöhe H_{man} setzt sich zusammen aus:

- H_{geo} geodätische, statische Förderhöhe, Höhendifferenz zwischen saugseitigem und druckseitigem Wasserspiegel
- H_v Verlusthöhe, dynamische Förderhöhe als Gesamtheit aller Druckverluste (Armaturen, Formstücke und Rohrleitungen), abhängig von der Geschwindigkeit im Druckrohr
- H_{man} manometrische Förderhöhe = $H_{\text{geo}} + H_v$ (oder auch mit H_{tot} bezeichnet)

Die Pumpenkennlinie ist eine produktspezifische Förderhöhenkennlinie der inneren hydraulischen Verluste als Funktion des Förderstroms einer Pumpe und wird vom Hersteller der Pumpe übermittelt.

Der Betriebs- oder Arbeitspunkt der Pumpenanlage ergibt sich durch den Schnittpunkt von Anlagen und Pumpenkennlinie. Der Pumpenhersteller gibt mit der Pumpenkennlinie einen Bestpunkt (Punkt auf der Pumpenkennlinie mit dem höchsten Wirkungsgrad) sowie einen Arbeitsbereich an.

Besonderheiten beim Transport von Abwasser für eine hohe Betriebssicherheit:

- **Betriebspunkt in der Nähe des Bestpunkts**
Nach Auswahl der Pumpe mit der Vorgabe der Anlagenkennlinie hat der Betriebspunkt in der Nähe des Bestpunkts zu liegen, um einen energetisch günstigen Arbeitsbereich sowie eine effektive Förderung von in der Förderflüssigkeit enthaltenen Beimengungen (Feststoffe etc.) zu erhalten. Dauerhaftes Betreiben bei geringen Durchflussgeschwindigkeiten führt zu Verstopfungen in der Pumpe. Die Pumpen sind möglichst im rechten Drittel des Dauerbetriebsbereiches der Pumpenkennlinie zu fahren, um bei Verstopfungen genügend Druckreserve für eine Selbstreinigung zu haben.
- **Ausreichende Motorreserve vorsehen**
Der Feststoffanteil im Strassenabwasser kann variieren, daher sind Motorleistungsreserven im Rahmen von 15 % zu wählen.
- **Redundante Pumpe vorsehen**
In Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen sind immer mindestens 2 Pumpen vorzusehen, die abwechselnd oder zusammen, d.h. ohne stillstehendes Reserveaggregat, zu schalten sind. Die Pumpen sind in zyklisch abwechselnd und mit Spitzenlastzuschaltung zu steuern. Bei der Inbetriebnahme eines Pumpwerkes ist möglichst mit einer Pumpe „Verschleissvorlauf“ zu schaffen, um einen gleichzeitigen Ausfall aller Aggregate zu einem späteren Zeitpunkt weitestgehend auszuschliessen.
- **Auswahl des Pumpenlaufrads**
Das wichtigste Auswahlkriterium für die Form des Laufrads ist die Betriebssicherheit. Daneben spielen der Wirkungsgrad und Vorgaben für den freien Kugeldurchgang eine wichtige Rolle. In der Strassenentwässerung ist in der Regel mit geringeren Fasergehalt, aber mit Sand- und ev. Kalkanteilen (aus dem Sickerwasser) zu rechnen.

4.2.1. Auswahl der Pumpleistung und Betriebsweisen bei Pumpwerken

Der Zulauf bei Strassenentwässerungen ist je nach Regenereignis von wechselnden Zulaufmengen geprägt. Bei der Auswahl und der Steuerung von Pumpen gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, die Pumpleistung an die im Zulauf wechselnden Bedingungen anzupassen:

Einzelbetrieb / Parallelbetrieb von Pumpen

Der Parallelbetrieb von zwei oder mehreren Pumpen erhöht die Förderleistung der Pumpstation. Für den Parallelbetrieb können Pumpen mit einer Druckleitung pro Pumpe oder mit einer gemeinsamen Druckleitung dimensioniert werden. Bei einer gemeinsamen Druckleitung ist zu beachten, dass die Druckverluste bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten ansteigen. Die Förderleistung beim Parallelbetrieb mit gemeinsamer Druckleitung ist wesentlich geringer als die Summe der beiden Pumpen im Einzelbetrieb.

Drehzahlregelung

Eine drehzahlgeregelte Pumpe kann so gesteuert werden, dass stets nur die Fördermenge / Förderhöhe erzeugt wird, die tatsächlich benötigt wird. Die Drehzahlregelung ist hinsichtlich des Energieverbrauchs die rationellste und in Bezug auf die Pumpenbauteile die schonendste Möglichkeit zur Regelung. Die Drehzahlregelung wird am Motor mittels Frequenzumrichter ausgeführt. Mit Frequenzumrichtern kann die Stromaufnahme der Pumpe überwacht werden und Verschleiss oder Betriebsstörungen können frühzeitig erkannt werden.

Pumpen mit identischer oder mit gestaffelter Förderleistung

Für den Unterhalt ist der Einsatz von Pumpen mit identischer Förderleistung oft vorteilhaft. Bei Pumpwerken in grösseren Netzwerken mit zeitweise unterschiedlichen Förderwegen und daher grossen Betriebsschwankungen reichen die Regelmöglichkeiten von einer oder mehreren Pumpen im Pumpwerk nicht aus. Hier kommt eine Staffelung der Pumpenbaugrössen zum Einsatz, wie zum Beispiel eine leistungsstarke Hochlastpumpe (Spitzenlast).

4.3. Schaltprofil von Pumpen

Für die Steuerung der Pumpen werden die Ein- und Ausschaltpunkte vorgängig bei der Planung grob als Höhen in der Pumpenvorlage markiert, was den gestaffelten Lauf der Pumpen festlegt. Bei den Schaltintervallen sind die maximalen Einschaltungen einer Pumpe pro Stunde (abhängig vom Pumpentyp) zu beachten.

4.4. Hydraulische Bemessung bei Druckleitungen

Die Druckleitung ist nach der Pumpe auf eine wirtschaftliche Nennweite zu erweitern. Die Strömungsgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass Ablagerungen vermieden werden. Sie ist in Abhängigkeit der täglichen Förderzeit mindestens zwischen 0.5 und 1.0 m/s einzustellen. Folgende höchste Fliessgeschwindigkeiten gelten als Orientierung für Druckrohrleitungen bis 500 m Länge: DN 100 / 150 / 200 mit $v = 2.0 / 2.2 / 2.4$ m/s. Bei längeren Leitungen sind zur Vermeidung von Druckstössen geringere Geschwindigkeiten zu wählen. Die

Mindestnennweite für Druckrohrleitungen beträgt DN 80. Hinsichtlich der maximalen Aufenthaltzeit des Abwassers in der Rohrleitung ist auf 2 bis 3 Stunden zu orientieren.

4.5. Druckstossberechnung

Druckschläge in Rohrleitungen entstehen durch plötzliche Strömungsänderungen im Fördermedium. Das Starten und Stoppen von Pumpen mit Softstartern ermöglicht das sanfte Befüllen der Rohrleitungen während des Starts und verhindert einen Wasserschlag beim Stoppen. Beim Stromausfall in Pumpstationen mit langen Transportleitungen kann durch den Einsatz eines Druckschlagdämpfers ein möglicher Verschleiss oder ein allfälliger Schaden an Rohrleitung und Armaturen abgemildert werden. Der Einsatz eines Druckschlagdämpfers ist projektbezogen bei längeren Druckleitungen zu prüfen.

4.6. Armaturen

Armaturen sind nach Möglichkeit über dem maximalen Wasserspiegel des Pumpwerks überflutungsfrei anzuordnen. Die Zugänglichkeit zu den Armaturen ist mit Arbeitspodesten für Wartung / Unterhalt / Inspektionen zu ergänzen.

4.6.1. Absperrventile

An der Pumpe ist druckseitig zuerst ein Rückflussverhinderer und dann ein Absperrventil vorzusehen. Als Absperrventile sind bevorzugt weich dichtende Schieber oder Platten-schieber einzusetzen.

Unter Beachtung der gegebenen Randbedingungen (z.B. DN des Zulaufes, Geometrie, Platzverhältnisse, Einordnung des Pumpwerkes im Gelände) ist am Zulauf ebenfalls ein fest installierter Schieber oder Schütz anzuordnen. Bei trocken aufgestellten Pumpen ist die Saugseite immer mit Absperrschieber auszurüsten.

4.6.2. Rückflussverhinderer

Rückstauverschlüsse werden als Rückschlagklappen oder Kugelrückschlagventile nach der Pumpe zu Beginn der Druckleitung gegen Rückfluss eingesetzt. Steigleitungen über Rückschlagklappen sollen wegen möglicher Feststoffablagerungen unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten möglichst kurz gehalten werden. Rückschlagklappen mit Gegengewicht bieten den Vorteil, dass sie für besondere Betriebsfälle (Inbetriebnahme, Entleerung) entlastet werden können.

4.6.3. Druckschlagdämpfer

Druckschläge treten insbesondere bei langen Druckleitungen mit relativ kleinen Durchmessern auf und verursachen Schäden an den Armaturen und an der Druckleitung. Bei Druckschlagbehältern wird das dort enthaltene Luftpolster komprimiert, welches die Dämpfung übernimmt. Auch beim Ein- und Ausschalten von Pumpen werden Druckspitzen vermieden.

Druckschlagdämpfer sind prinzipiell oberhalb der Druckleitung anzuordnen. Druckschlagbehälter unterliegen der Europäischen Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU und die Herstellung sowie die Prüfung ist entsprechend der Richtlinie zu dokumentieren.

4.6.4. Rohrreinigungskästen

Rohrreinigungskästen sind im Verlauf der Druckleitung vorzugsweise an Tiefpunkten in Schächten einzubauen und dienen der Wartung und Reinigung von Abwasserdruckleitungen. Über den Rohrverschlussdeckel können Spülarmaturen (z.B. Rohrmolch) oder Inspektionskameras eingesetzt werden.

4.6.5. Innere Rohrleitungen im Pumpwerk

Bei der Rohrleitungsführung im Pumpwerk sind zu beachten

- Armaturen sind vertikal im Pumpschacht oberhalb des Wasserspiegels (überflutungsgeschützt, besser zugänglich) anzuordnen
- alternativ horizontal im separaten Armaturenschacht
- Steigleitungen über Rückschlagklappen sind kurz zu halten (Ablagerungen auf der Klappe)
- vor und nach Pumpen sind Entleerungen und Spülanschlüsse vorzusehen
- Einbindung von Steigleitungen in eine Sammelleitung sind strömungsgünstig auszubilden (mit Sattelstutzen, Einschweissbögen)
- für die erleichterte Montage / Demontage und für spannungsfreie Anschlüsse sind Pass- und Ausbaustücke oder Kompensatoren vorzusehen
- Halterungen sind als Festlager oder Gleitlager gemäss Ausdehnung und Rohrstatik auszuführen

4.7. Niveaumessungen

In Pumpwerken kommen unterschiedliche Messverfahren zur Niveaumessung zur Anwendung

- Radar oder Echosensoren (berührungslos) zum Messen von Niveauständen
- Tauchdrucksonde / Tauchdrucktransmitter / hydrostatische Seildrucksonden zum Messen von Niveauständen
- Schwimmerschalter / Schwimmerbirnen für Schaltpunkte
- Konduktive Stabsonden zum Messen von Hochalarm / Grenzstand

4.8. Erweiterte Messtechnik

Für eine erhöhte Automation sind am Pumpwerk weitere Messeinrichtungen möglich und sinnvoll

- Durchflussmessung
- Druckmessung
- Detektion von Leichtflüssigkeiten / Ölen auf der Wasseroberfläche
- Trübungsmessung (Ablagerungen)
- Kameraüberwachung mit Fernübertragung

5. Betriebs- und Sicherheitsausrüstung

Die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung ist den Anforderungen des Strasseninspektorat, bzw. speziell für Pumpwerke der Wegleitung Pumpwerke zu entnehmen [14]. Die Merkblätter der SUVA sind zu beachten.

5.1. Elektroinstallationen

5.1.1. Elektrischer Anschluss

In der Nähe der Pumpstation sind FI-geschützte Steckdosen mit zweckmässiger Stromstärke für eine Handlampe oder andere Hilfsmittel vorzusehen (240 V und 380 V).

5.1.2. Sicherheit / Signalisation

Nicht überflutungssichere elektrische Geräte, wie z. B. Schaltkasten und Alarmgeräte, müssen in trockenen und gut belüfteten Räumen überflutungssicher installiert werden.

Die Störfallorganisation muss ersichtlich sein. Ist eine Störmeldeeinrichtung vorgeschrieben, sind für Betriebsstörungen vorgesehene Alarmer mit Prioritäten mit dem Betriebspersonal und anderen angeschlossenen Organisationen abzusprechen.

5.1.3. Betriebsraum mit Überwachungs-/ Sicherheitseinrichtung

Ein Pumpwerk ist mit einem in der Nähe installierten Steuerschrank als zweckmässige Überwachungs-/ Sicherheitseinrichtung zu versehen. Mit der Steueranlage sind mindestens Betriebsstundenzähler, Impulszähler und Revisionsschalter für die Pumpen (Sicherheitsschalter nach SUVA), eine automatische Alarmvorrichtung, Kontrolllampen, Amperemeter und ein Anschluss an die Notstromversorgung vorzusehen.

5.1.4. Technische Ausrüstung

Die mechanische und elektromechanische Ausrüstung mit Handschiebern, Schiebern mit Elektroantrieb und Pumpen etc. müssen für die Wartung und den Unterhalt gut zugänglich sein.

5.2. Nebeneinrichtungen für Betrieb und Wartung

5.2.1. Frischwasserinstallationen

Für Revisionen und Unterhalt ist ein Schlauchanschluss für Reinigungsarbeiten (Typ ZAK) bei der Pumpenvorlage zu installieren. Es ist ein Handwaschbecken vorzusehen.

5.2.2. Krananlagen & Hebezeug

Anzahl, Tragkraft und Ausführung der Hebezeuge sind unter Berücksichtigung der entsprechenden baulichen sowie der maschinentechnischen Gegebenheiten für alle Pumpen (> 30

kg) zu bestimmen. Die benötigte Kranlast ist gemäss SIA 261/11 zu bestimmen. Die Einwirkungen der Krananlagen auf die Tragkonstruktion des Bauwerks sind zu beachten.

5.2.3. Lüftungsanlage

Für den Betriebsraum mit Steueranlage und eventuell trocken aufgestellten Pumpen ist eine kontrollierte Be-/Entlüftungsanlage idealerweise mit integrierter Entfeuchtung/Heizung vorzusehen.

5.2.4. Beleuchtung

Bei einem eigenen Betriebsraum muss der Zugang sowie der Innenraum des Schrankes beleuchtet sein. Nach Möglichkeit sind Betriebsraum und die abwasserführenden Kammern des Pumpwerks mit Deckenleuchten auszustatten.

5.3. Bauliche Anforderungen

Raumanforderungen

Diese sind projektspezifisch mit dem Projektleiter TBA festzulegen. Bei grösseren Pumpwerken sind in der Regel neben Zugängen und Einbringöffnungen, vier Schränke (Beleuchtung, Pumpe, Sonstiges, Alarm) und ein Schrank für Niederspannungsverteilung mit Messung 2.40 m x 0.40 m vorzusehen. Diese sind zudem doppelt als Reserveplatz im Idealfall auf der gegenüberliegenden Raumseite vorzuhalten. Weitere Ausrüstungen sind Lüftungstechnische Anlagen, Armaturen und Leitungen für Wasser mit Waschbecken und weitere Einrichtungen siehe nachfolgende Auflistungen. Eine Raumhöhe von 2.20 m sollte nicht unterschritten werden. Dabei ist projektspezifisch zu prüfen welche Höhe für die Schränke und deren Einbringung/ Aufstellung erforderlich sind.

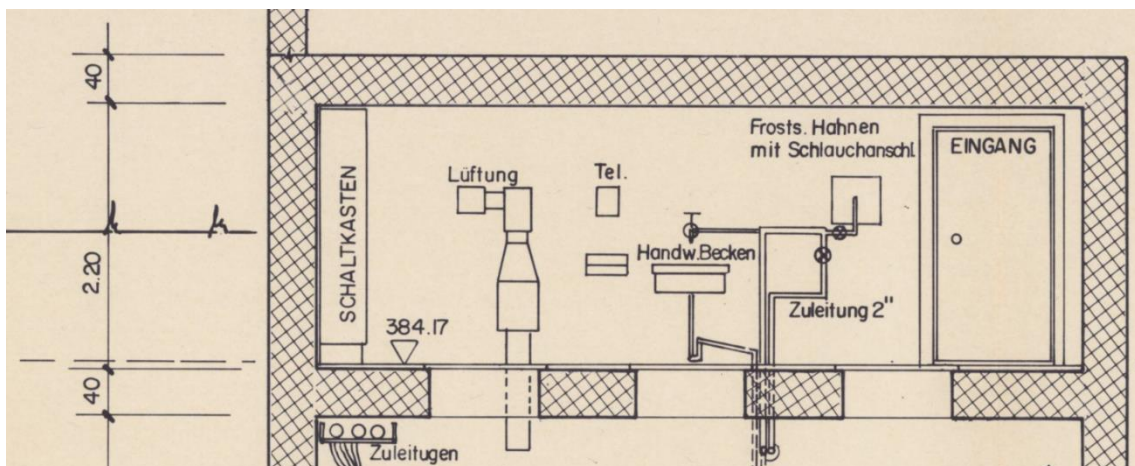


Abbildung 11: Schnitt durch einen Betriebsraum mit entsprechenden Armaturen und Einrichtungen

Die Pumpenvorlage sowie Pumpenraum und Betriebsraum sind gegen Durchdringen von Feuchtigkeit vollkommen geschützt auszuführen, Ausführung gemäss SIA Norm 272, Dichtigkeitsklasse 2.

Gebäude

Bodenbelastung:	Auslegung je nach Nutzung und Unterhaltszuständen im Minimum 5 kN/m ² . Je nach Transportmittel sind zusätzlich noch Achslasten gemäss der Norm SIA 261 Kap. 9 zu berücksichtigen. Bei Schachtabdeckungen explizit Lage und Belastungsklasse beachten
Überzug / Anstrich	keine zusätzlichen Anforderungen

Boden, Decken und Wände

Deckenlast:	Je nach Zugänglichkeit (vgl. Kapitel 3.9) sind die Nutzlasten der Fahrzeuge und Hebemittel, sowie Krane und Kranbahnen zu berücksichtigen
Beschichtung	Abwasserberührende Oberflächen (Pumpenvorlage oder Retentionsbecken) sind mit einem ölabweisenden Anstrich zu versehen.

Türen

Anforderungen Eingangs- und Innen-Türen (1-flügelig) "Standard"

Mauerlicht (Beton roh):	1.02 m x 2.12 m
Breite (licht):	0.95 m x 2.05 m
Brandschutz:	EI 30

Anforderungen Transport- und Innen-Türen (2-flügelig) "Transportwege"

Mauerlicht (Beton roh):	1.50 m x 2.24 m
Breite (licht):	1.42 m x 2.20 m
Brandschutz:	EI 30

Es ist durch den Projektverfasser festzulegen, ob Türen mit Stahlzargen (Erdung erforderlich) oder mit Holzrahmen (wenn unbewittert) möglich sind. Dabei sind folgende allgemeine Anforderungen zu berücksichtigen:

- Einflügelige Türen sind bis zu einer Breite von rund 1.20 m möglich, darüber hinausgehende Breiten sind zwingend zweiflügelig auszuführen
- Türen werden mit verdeckten Bändern oder mit sicheren Bolzen (verhindern Heraus schlagen durch mechanische Kraftanwendung) ausgeführt
- Öffnung von Türen in Fluchrichtung ausführen
- Mechanisch selbstverriegelnde Tür mit Schliessarm oder Gleitschiene inkl. Panikfunktion
- Tür aussen mit Knauf und innen mit einem Drücker sowie Schloss für Kaba 8 Zylinder.

Erdung



Es sind bauseits ein angeschlossene Erdfestpunkte vorzubereiten. Diese sind 1 m ab Fertigboden nach Angaben des BSA-Projektverfassers zu positionieren.

Thermische Isolation

Die thermische Isolation ist projektbezogen festzulegen und mit dem Projektleiter TBA zu klären.

Wasserversorgung

Es ist ein Wasseranschluss erforderlich.

Einrichtung

Schmutzschleuse (Teppich, Gitterrost oder dergleichen), abschliessbare Leiter, Pult, Stuhl, Besen und Eimer, Notleuchte, Feuerlöscher, usw.

Brandmeldeanlagen

Es werden keine Brandmeldeanlagen installiert oder gefordert.

5.4. Beispiele (Pumpwerk Wanne, Hinwil)

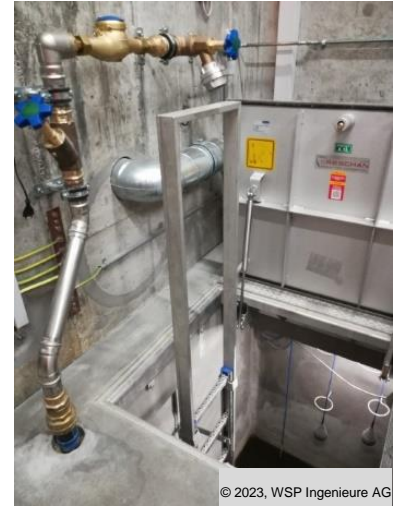


© 2023, WSP Ingenieure AG

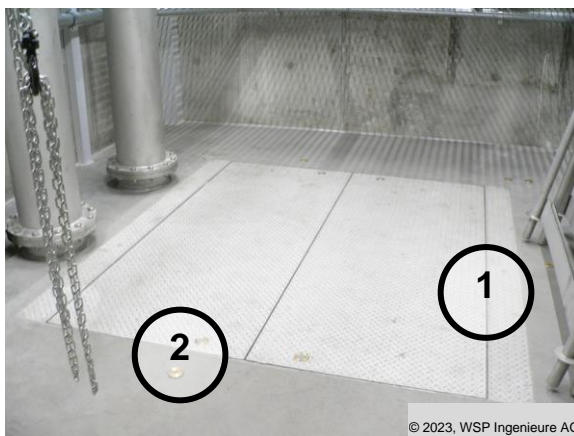
Abbildung 12: Bsp. Ausrüstung / Armaturen Betriebsraum über Pumpenschacht, Pumpwerk Wanne, Hinwil

Legende:

1. Kranbahn
2. Handfahrwerk mit Flaschenzug und Zugkette
3. Gasdichtes, niveaugleiche Schachtabdeckung zum Pumpenschacht
4. Druckentlastung Pumpenschacht
5. Raumbelüftung mit Absorptionsentfeuchter und Lüftungsrohren für Zu- und Fortluft
6. Druckleitung ab Tauchpumpen
7. Wasserhahn und Waschbecken



Abbildungen 13: Beispiel geöffnete Schachtabdeckung, geöffnete Absturzsicherung, ausgezogene Leiter



Abbildungen 14: Beispiel steckbares Geländer und gasdichte Durchführungen, Pumpwerk Wanne, Hinwil

Legende:

1. Steckbares Geländer
2. Bodenhülsen (abgedeckt)
3. Durchführung Druckentlüftung mit Dichtmasse
4. Kabeldurchführung mit Pressring



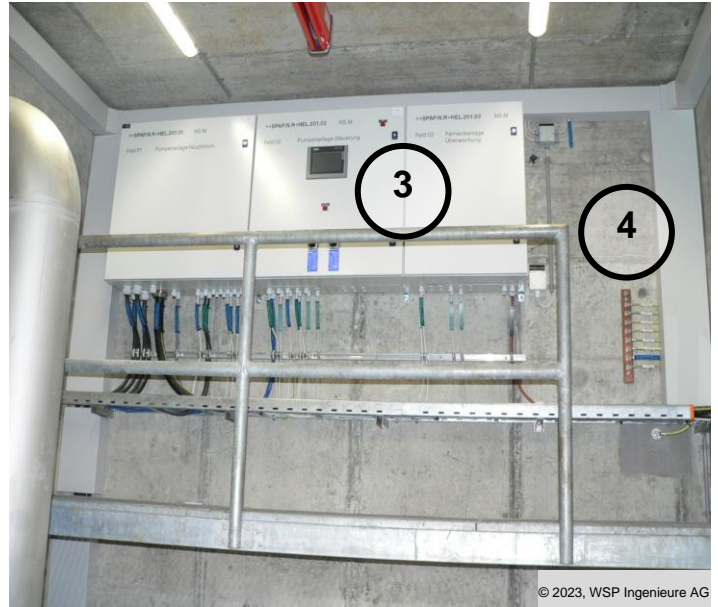
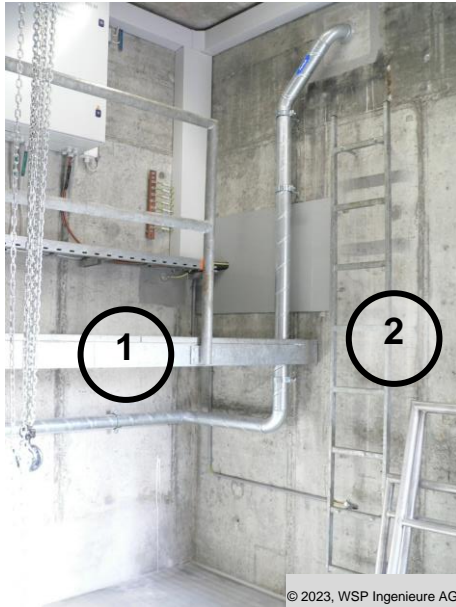
Abbildung 15: Beispiel Sanitärinstallation im Betriebsraum über Pumpenschacht, Pumpwerk Wanne, Hinwil

Legende:

1. Haupthahn
2. Wasserzähler
3. Hahn mit Schlauchanschluss (Storz-Kupplung)
4. Druckreduzierventil
5. Kaltwasserhahn und Waschbecken



Abbildung 16: Aufgeräumte Sensorik (z.B. Schwimmerbirnen) und Potentialausgleich (Erdung) an Leiter



Abbildungen 17: Podest und Steuerung, Pumpwerk Wanne, Hinwil

Legende:

1. Podest in Stahlbau
2. Zugang zum Podest (via Leiter)
3. Hochliegende Schaltgerätekombination
4. Potentialausgleichsschiene (Erdung)

6. Unterhalt

6.1. Allgemeines

Dieser Abschnitt beschreibt, wie die Anlage betrieben werden soll und welche Vorgaben und Regelungen für ihre ordentliche Verwaltung gelten.

6.2. Organisation

Der Geltungsbereich einer Betriebsanweisung muss räumlich und soweit im Einzelfall notwendig hinsichtlich der betroffenen Personen eindeutig geregelt sein, um eine klare Abgrenzung der Anlagenteile und des Personenkreises sicherzustellen.

Neue MitarbeiterInnen sind über die für ihren Tätigkeitsbereich geltende Betriebsanweisung zu unterrichten. Bei Änderungen sind alle betroffenen MitarbeiterInnen zu unterrichten. Dieses ist jeweils zu dokumentieren.

Der Betreiber hat die organisatorischen Detailregelungen mit Abgrenzung von Aufgaben und Tätigkeiten festzulegen. Dazu zählt Management von Personaleinsatz, Umfang und Häufigkeit der Betriebsüberwachung, Notwendigkeit und Umfang der Dokumentation von Betriebsvorgängen und eine wirtschaftliche Betriebsführung.

6.3. Anlage und Betrieb

Die wichtigsten Merkmale und Eigenschaften der Pumpenanlage sind in kurzer und übersichtlicher Form zu benennen. Dazu gehört ein Betriebshandbuch mit Lagebeschreibung, Lageplan, Einzugsgebietsplan, Ausstattung und technischen Grunddaten.

Was den Betrieb angeht, sind die verschiedenen Möglichkeiten der Anlagesteuerung zu erläutern. Auch besondere Betriebszustände, wie z.B. Ausserbetriebnahmen oder Saisonbetrieb, sind zu erläutern.

Von den hier behandelten Betriebsstörungen muss der Katastrophenfall abgegrenzt werden. Für diese gelten örtliche Katastrophenschutzpläne. Der Katastrophenfall wird in dieser Richtlinie nicht behandelt.

Beim Auftreten von Betriebsstörungen muss sichergestellt sein, dass das Betriebspersonal in der Lage ist, die erforderlichen Massnahmen auf der Grundlage konkreter Anweisungen zielgerichtet durchzuführen. Dazu gehört: Erfassen und Bewerten der Auswirkung der Betriebsstörung, Einleitung von Sofortmassnahmen, Dokumentation, Behebung der Betriebsstörung, Kostenerfassung der Schäden und Vorsorgemassnahmen für Betriebsanweisungen.

Betriebsstörungen können unterschiedliche Ursachen haben. Aus diesem Grund kann nicht für jede Betriebsstörung eine entsprechende Handlungsanweisung vorgegeben werden. In

diesem Zusammenhang ist für solche Notfälle auch die Zusammenarbeit verschiedenster Stellen darzulegen, sofern diese für die Erhaltung bzw. Wiederherstellung des Betriebs erforderlich sind.

Bei Ausserbetriebnahmen sind die an Alarmierungen angeschlossenen Organisationen vorgängig zu informieren.

6.4. Instandhaltung

Der Umfang der Instandhaltungsarbeiten, die Intervalle und die betriebliche Aufgabenzuordnung sind mit dem Unterhalt TBA festzulegen. Die durchgeführten Arbeiten müssen dokumentiert werden.

Für jede Pumpanlage sind die Objekte, -verfahren und -intervalle der Inspektion und Wartung festzulegen.

Nach Havariefällen ist die Funktion der Anlagenkomponenten unabhängig von den Intervallen der nachfolgenden Tabellen zu prüfen.

Inspektionsarbeiten

Anlagenteil	Art der Inspektionsarbeit	Intervall	
Bauwerke	- Pumpenvorlage	Sichtkontrolle auf Verschmutzung Schwimmstoffe usw.	1 Jahr
		Sichtkontrolle auf Verschmutzung, Sichtkontrolle Bauzustand (Abplatzungen, Risse, Korrosion, Fugen usw.)	5 Jahre
	- Maschinenraum	Sichtkontrolle auf Verschmutzung, Dichtheit, Feuchte	1 Jahr
		Bauzustand (Abplatzungen, Risse, Korrosion, Fugen usw.)	5 Jahre
	- Hochbau	Sichtkontrolle Bauzustand (Abplatzungen, Risse, Korrosion, Fugen, Putz, Anstrich, Dichtheit der Dächer, Türen und Fenster, Geländer, Beschilderung usw.)	5 Jahre
- Aussenanlage	Sichtkontrolle Bauzustand (Vegetation, Verkehrswege, Treppen, Einfriedung, Schlösser)	1 Jahr	
Maschinentechnik			

Anlagenteil	Art der Inspektionsarbeit	Intervall
- Pumpen	Sicht- und Funktionskontrolle (Laufgeräusche, Schwingungen, Temperatur, Gehäuse, Lager, Ölstände, Fettvorräte, Spannung der Keilriemen), Probelauf	14 Tage (wenn ohne Fernüberwachung)
- Pumpenantriebe	Sicht- und Funktionskontrolle (Geräusche, Schwingungen, Lagertemperatur, Fettvorräte), Probelauf	14 Tage (wenn ohne Fernüberwachung)
- Pumpensteuerung	Funktionskontrolle anhand der aufgezeichneten Messwerte, Kontrolle der Stromaufnahme, Probelauf, Kontrolle Betriebsstundenzähler	14 Tage (wenn ohne Fernüberwachung)
- Armaturen	Sicht- und Funktionskontrolle (Zustand, Gängigkeit) der Klappen und Schieber	1 Jahr
- Rohrleitungen	Sichtkontrolle (Zustand, Dichtheit)	1 Jahr
- Hebe- und Anschlagmittel	Sicht- und Funktionskontrolle	1 Jahr bzw. nach gesetzl. Vorschriften
- Lüftung	Sicht- und Funktionskontrolle	1 Jahr
Druckleitung		
- Be- und Entlüftungsventil	Sicht- und Funktionskontrolle (Wasseraustritt, Geräusche Ausenanlage)	6 Monate
- Hinweisschilder	Sichtkontrolle	1 Jahr
- Druckleitung	Druckprobe	10 Jahre
Elektrotechnische Ausrüstung		
- Messtechnik	Sichtkontrolle des Messwertempfängers der Füllstandsmessung Saugraum, Funktionskontrolle anhand der Messwertaufzeichnung	2 Monate
- Fernüberwachungsanlage	Funktionskontrolle durch Simulation einer Störung und Kontrolle im Meldebuch	2 Monate
- Messwertaufzeichnung	Funktionskontrolle anhand von Ganglinienaufzeichnungen, Protokollen	2 Monate
- Beleuchtung	Sichtkontrolle und Funktionskontrolle	2 Monate

Anlagenteil	Art der Inspektionsarbeit	Intervall
- Heizung	Funktionskontrolle	1 Monat
- Schaltanlage	Sichtkontrolle (Verschmutzung, Feuchtigkeit, Erwärmung)	2 Monate
- Prüfung elektrische Anlage	Wiederkehrende Prüfung der elektrischen Anlage nach Betriebs-sicherheitsverordnung (BtrSichV) durch befähigte Personen	Laufend im Rahmen der Inspektions- und Wartungspläne
- Blitzschutz	Sichtprüfung Umfassende Prüfung	2 Jahre 4 Jahre
- Potenzialausgleich	Prüfung Potenzialausgleich	1 Jahr

Tabelle 4: Inspektionsarbeiten am Pumpwerk

Wartungsarbeiten

Anlagenteil	Art der Inspektionsarbeit	Intervall
Bauwerke		
- Pumpenvorlage	Reinigung der Wände, Absaugen der Schwimmstoffe, bei verdichtetem Schlamm teilweise mit Pickel	Nach Bedarf mindestens jährlich
- Maschinenraum	Reinigung der Böden, Maschinen, Armaturen und Rohrleitungen	6 Monate
- Hochbau	Reinigung der Böden, Reinigung der Fenster	6 Monate
- Aussenanlage	Grünpflege, Gehölzschnitt	Nach Bedarf
Maschinentechnik		
- Pumpen	Ölvorlagebehälter auf Füllstand prüfen und Schmiermittel ergänzen Ölwechsel	1 Monat 3 Jahre
- Pumpenantriebe	Prüfen und ggf. Nachspannen der Keilriemen, Reinigen der Motorgehäuse	1 Monat
- Schieber	Spindel und Schieberplatte reinigen und dünn mit Schmiermittel einreiben	6 Monat
Elektrotechnische Ausrüstung		
- Messtechnik	Reinigung und Kalibrierung der Messwertnehmer der	1 Jahr

Anlagenteil	Art der Inspektionsarbeit	Intervall
	Füllstandsmessungen im Saugraum und im Zulaufschacht	
- MID	Wartung des Messwertaufnehmers durch Hersteller (Wartungsvertrag)	1 Jahr
- Schaltanlage	Reinigung der Schaltschränke, ggf. Nachziehen der Klemmen	Mindestens jährlich

Tabelle 5: Wartungsarbeiten am Pumpwerk

7. Ergänzende Berechnungsmethoden

7.1. Regenspende nach Hörler & Rhein (GEP)

Hörler und Rhein [29] haben 1962 eine Auswertemethode für Regendaten der ganzen Schweiz entwickelt. Erstmals wurden aus den Messdaten der verschiedenen Regionen Regenintensitätskurven mit einem einheitlichen statistischen Auswerteverfahren abgeleitet. Sie ermittelten eine Formel für die Anwendung in der Praxis, in der die Regenintensität als Produkt mit nur noch zwei Variablen dargestellt wird: der Regendauer T und der Wiederkehrperiode z.

$$r(T, z) = G * \left(\frac{15 + B}{T + B} \right) * (1 + C \log_{10}(z))$$

r Regenintensität $\left[\frac{mm}{h} \right]$ oder $\left[\frac{l}{s*ha} \right]$ mit Umrechnung $r \left[\frac{l}{s*ha} \right] = 2.78 * r \left[\frac{mm}{h} \right]$

T: Regendauer [h]

z: Jährlichkeit [-]

B: Ortskonstante

C: Ortskonstante

G: Ortskonstante

7.2. Regenspende aus dem hydrologischen Atlas

Auch diese Methode ist wie bei Talbot (gemäss der VSS Norm 40 350) standortabhängig, jedoch detaillierter über Landeskoordinaten mit einer grossen Datenbasis extremer Punktregen mit unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperiode.

Diese Methode wurde kürzlich durch Meteo Schweiz im Auftrag des Bundes in einer interaktiven Onlineplattform modelliert, jedoch sind die Szenarien noch unvollständig. Mit dem Online-Tool HYDROmaps [7] kann man den Niederschlag nach beliebigem Ort,

Regendauer und Wiederkehrperiode direkt auslesen.

In den Fallbeispielen werden die Berechnungen deshalb noch nicht mit dem Online-Tool durchgeführt, sondern analytisch mit den Formeln der Berechnungsmethode.

Die Berechnungen basieren auf vier Parametern, die standortabhängig (via Landeskoordinaten LV03) sind:

- A: 100-jährlicher 1-Stundenwert [mm] oder [mm/h]
- B': 100-jährlicher 24-Stundenwert [mm]
- C: 2.33-jährlicher 1-Stundenwert [mm] oder [mm/h]
- D': 2.33-jährlicher 24-Stundenwert [mm]

Diese Werte können visuell direkt in der Karte abgelesen oder über die Tabelle, siehe Tafel 2.4 und Tabelle «Extreme Punktregen» in HYDROmaps [7] ermittelt werden. Die Tabelle gibt Auskunft zu den Parametern für die Berechnung der Extremalverteilung.

Eingangswerte

T : Wiederkehrperiode in Jahren [-]
 t : Messintervall [h]

Ergebnis

$i_{t,T}$: mittlere Intensität eines T -jährlichen Ereignisses mit einem Zeitintervall von t Stunden (mm/h)

Für die Berechnung werden die folgenden Konstanten ermittelt:

$$B = B'/24$$

$$D = D'/24$$

$$a = 0.315 * \ln(B/A)$$

$$b = 0.315 * \ln(D/C)$$

$$\text{Mit } y(T) = -\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))$$

Die Regenspende wird je nach Angabe der Tabellen «Extreme Punktregen» in HYDROmaps [7] berechnet:

Formel für 1. Extremalverteilung:

$$i_{t,T} = C * t^b + 0.248 * (A * t^a - C * t^b)(y(T) - 0.577)$$

Formel für 2. Extremalverteilung:

$$i_{t,T} = C * t^b * \exp\left(0.248 \left(\ln \frac{A * t^a}{C * t^b}\right)(y(T) - 0.577)\right)$$

Beispielsweise für einen Standort Wangenstrasse in Dübendorf Landeskoordinaten LV03 (N = 1'250'700, E = 2'689'560) gemäss Tafel 2.4 und Standortstabelle („Extreme Punktregnen“ [7]):

- A: 59 mm
- B': 161 mm
- C: 19 mm
- D': 54 mm

Als Ergebnis mit der Formel der 2. Extremalverteilung gilt für eine Niederschlagsdauer von 15 Minuten die Punktregenintensität mit einer 10-jährlichen Wiederkehrperiode $i_{(15,10)} = 77.8 \frac{mm}{h}$.

8. Fallbeispiele

8.1. Fallbeispiel 1: Unterführung Dietlikon, Bahnhofstrasse

8.1.1. Vergleich der Regenintensität $i(10;10)$ bei verschiedenen Berechnungsansätzen

Für das Fallbeispiel 1 mit der Unterführung Dietlikon, Bahnhofstrasse werden verschiedenen Berechnungsmethoden für den Abfluss aus dem Einzugsgebiet verglichen, um die unterschiedlichen Ergebnisse der Berechnungsmethoden darzustellen. Die Berechnung erfolgt zunächst mit den klassischen Werten für eine Überprüfung und Neubemessung der Kanalisation gemäss der generellen Entwässerungsplanung (GEP) (Jährlichkeit z bzw. $t = 10$ Jahre, Regendauer $T = 10$ min).

Im Beispiel wird ferner ersichtlich, welchen Einfluss die Parameter Regenintensität und Abflussmenge auf das Retentionsvolumen eines Pumpwerks bei der Unterführung haben.

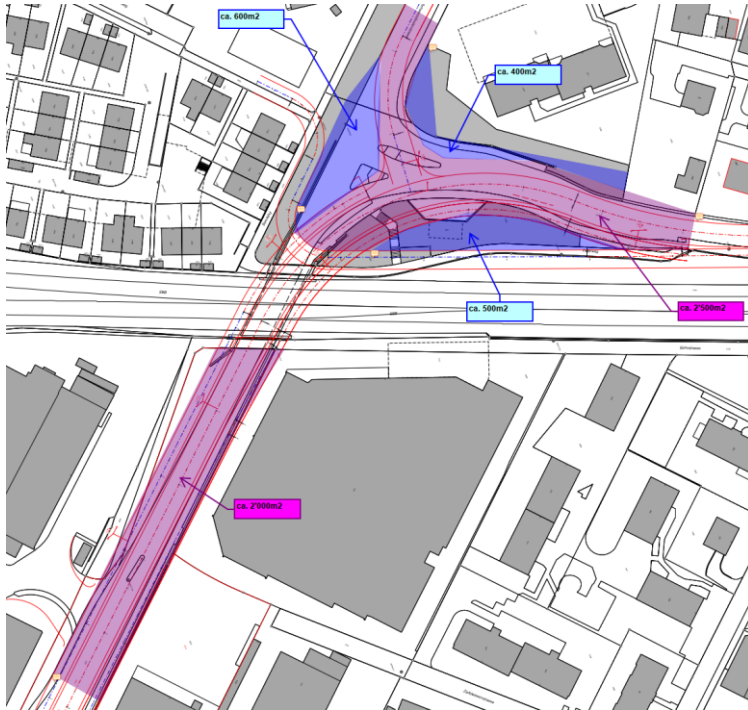


Abbildung 18 : Fallbeispiel 8.1 UF Dietlikon, Bahnhofstrasse

Für das Einzugsgebiet gelten je nach Art der Befestigung oder Bodentyp der benachbarten Flächen verschiedene Abflussbeiwerte:

Strassenfläche (pink/ violett, Asphalt): $A_{red} = (2'500 \text{ m}^2 + 2'000 \text{ m}^2) * 0.8 = 3'600 \text{ m}^2$

Angrenzende Entwässerungsflächen (blau, Schotterrasen, lehmiger Sand): $A_{red} = (500 \text{ m}^2 + 400 \text{ m}^2) * 0.3 + 600 \text{ m}^2 * 0.4 = 510 \text{ m}^2$

Total Fläche Einzugsgebiet: $A_{red} = 4'110 \text{ m}^2$

Regenintensität nach Hörler & Rhein:

Wiederkehrintervall z					B	G	C	H
z in Jahren	1	2	5	10	min	$\text{l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$	-	mm a^{-1}
Ortskonstante K(z) in $\text{l min}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ s}^{-1}$								
Bern	4000	4984	6484	7796	12	148	0.95	1028
Davos	1950	2438	3159	3762	10	78	0.93	999
Locarno	7068	8446	10418	12044	23	186	0.69	1822
Sion	1050	1360	1780	2160	6	50	1.06	588
Zürich	3036	3664	4569	5313	8	132	0.75	1044

Abbildung 19 - Ortskonstanten für die Berechnung der mittleren Regenintensität in Funktion des Wiederkehrintervalls und der Regenabschnittdauer nach Hörler & Rhein

$$r(T, z) = G * \left(\frac{15 + B}{T + B} \right) * (1 + C * \log_{10}(z))$$

Für $z = 10, T = 10, B = 8, G = 132$ und $C = 0.75$ erhält man $r = 295 \frac{l}{s * ha}$

Regenintensität nach Talbot:

$$i(t, T) = \frac{a_T}{t + b_T}$$

Für $T = 10, a_{10} = 45.66, b_{10} = 0.247$ und $t = 10 \text{ min}$ erhält man $i = 110.4 \frac{mm}{h} = 307 \frac{l}{s * ha}$

Regenintensität nach hydrologischem Atlas:

Dietlikon, Bahnhofstrasse Landeskoordinaten LV03 (N = 252'445, E = 688'967)

Laut Tafel 2.4 und Standortstabelle („Extreme Punktregen“ [7]):

- A: 61 mm
- B': 163 mm
- C: 19 mm
- D': 53 mm

Laut Tabelle, 1. Extremalverteilung anwenden:

$$B = \frac{B'}{24} = 6.8 \frac{mm}{h}$$

$$D = \frac{D'}{24} = 2.2 \frac{mm}{h}$$

$$a = 0.315 * \ln\left(\frac{B}{A}\right) = -0.691$$

$$b = 0.315 * \ln\left(\frac{D}{C}\right) = -0.678$$

$$y(T) = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)$$

$i_{t,T} = C * t^b + 0.248 * (A * t^a - C * t^b) * (y(T) - 0.577)$ Formel für 1. Extremalverteilung

$$\text{Ergebnis: } i_{10,10} = 124.8 \frac{mm}{h} = 347 \frac{l}{s * ha}$$

Für eine Jährlichkeit von $t = 10$ Jahre und einer Regendauer von $T = 10$ Minuten ergibt die Methode des hydrologischen Atlas eigentlich die intensivste Regenintensität. Hörler & Rhein sowie Talbot liegen nahe beieinander um die 300 l/s*ha .

Hörler & Rhein Anwendung GEP	Talbot Anwendung: VSS	Hydrologischer Atlas Grundlage für Mete- oSchweiz Regendaten
$295 \frac{l}{s * ha}$	$307 \frac{l}{s * ha}$	$347 \frac{l}{s * ha}$

Tabelle 6: Vergleich der Regenintensitäten bei verschiedenen Berechnungsmethoden für den Regen $r_{(10,10)}$

8.1.2. Vergleich der Regenintensität i (15;1) bei verschiedenen Berechnungsansätzen

Ergänzend werden die Berechnungsansätze bei der Jährlichkeit 1 und die Regendauer 15 Minuten (klassische Werte für Dimensionierung der Strassentwässerung) verglichen, um die unterschiedlichen Ergebnisse der Berechnungsmethoden darzustellen. Je nach Einstufung der Unterführung zu einem Schutzziel ist mit einer akzeptierten Überstauhäufigkeit die Berechnung in der Jährlichkeit anzupassen.

Regenintensität nach Hörler & Rhein:

$$r(T, z) = G * \frac{15+B}{T+B} * (1 + C \log_{10}(z)) \quad \text{Berechnungsformel nach Hörler \& Rhein}$$

Für $z = 1, T = 15, B = 8, G = 132$ und $C = 0.75$ resultiert die Regenspende $r = 132 \frac{l}{s * ha}$

$$Q_{Zufluss} = A_{red} * r = 4'110 m^2 * \frac{132}{10'000} \frac{l}{s * m^2} = 54.3 \frac{l}{s} = 0.0543 \frac{m^3}{s}$$

Regenintensität nach Talbot:

Das Fallbeispiel Dietlikon befindet sich gemäss VSS Norm 40 350 in der Region Mittelland.

$$i(t, T) = \frac{a_T}{t+b_T} \quad \text{Berechnungsformel nach Talbot}$$

Für $T = 1, a_1 = 23.61, b_1 = 0.219$ und $t = 15$ min resultiert die Regenintensität $i = 50.3 \frac{mm}{h}$ und

die Regenspende $r = 140 \frac{l}{s * ha}$

$$Q_{Zufluss} = A_{red} * r = 4'110 m^2 * \frac{140}{10'000} \frac{l}{s * m^2} = 57.5 \frac{l}{s} = 0.0575 \frac{m^3}{s}$$

Hörler & Rhein Anwendung GEP	Talbot Anwendung: VSS	Hydrologischer Atlas Grundlage für Mete- oSchweiz Regendaten
$132 \frac{l}{s * ha}$	$140 \frac{l}{s * ha}$	Keine Auswertung für $z = 1$ Jahr

Tabelle 7: Vergleich der Regenintensitäten bei verschiedenen Berechnungsmethoden für den Regen r (15,1)

8.1.3. Vergleich der Regenintensität $i(10,50)$ bei verschiedenen Berechnungsansätzen

Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt ergänzend die Regenintensitäten für der verschiedenen Methoden bei der Jährlichkeit 50 Jahre und der Regendauer 10 min.

Hörler & Rhein Anwendung GEP	Talbot Anwendung: VSS	Hydrologischer Atlas Grundlage für Mete- oSchweiz Regendaten
$384 \frac{l}{s * ha}$	Keine Berechnung möglich (nur bis Jährlichkeit $z = 20$)	$514 \frac{l}{s * ha}$

Tabelle 8: Vergleich der Regenintensitäten bei verschiedenen Berechnungsmethoden für den Regen $r(10,50)$

Die detaillierte Berechnung kann dem nachfolgenden Kapitel entnommen werden

8.1.4. Effektive Dimensionierung des Pumpwerks mit $z = 50$ Jahre (hohes Schutzziel)

Für Bauwerke mit einem hohen Schutzziel (Spezialfälle) wird eine hohe Jährlichkeit ($z = 50$) angesetzt und die verschiedenen Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Regenintensität verglichen. Das Schutzziel der Schutzklasse 3 (vgl. Tabelle 1 in Kapitel 2.3.4) wird gewählt, da die Unterführung für den motorisierten Individualverkehr (MIV) einen Zubringer zum Bahnhof darstellt. Zudem wird eine fixe Abflussleistung der Pumpe vorgängig mit 40 l/s festgelegt.

Zusätzlich wird ein 20-minütiger Stromausfall betrachtet, bei dem kein Abfluss durch das Pumpwerk stattfindet.

Regenintensität nach Hörler & Rhein:

Für $z = 50, T = 15, B = 8, G = 132$ und $C = 0.75$ erhält man $r = 300 \frac{l}{s * ha}$

$$Q_{Zu} = A_{red} * r = 4'110 m^2 * \frac{300}{10'000} \frac{l}{s * m^2} = 123 \frac{l}{s} = 0.123 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{Retention} = Q_{Zufluss} - Q_{Abfluss}$$

Vorgabe zur Pumpleistung des Pumpwerks: $Q_{Ab} = 40 \frac{l}{s}$.

Mit der Methode von Hörler & Rhein werden Regenereignisse mit $z = 50$ Jahre und Regendauern T von 10 - 30 min berechnet und das maximale Retentionsvolumen ermittelt. Bei einer Regendauer von 15 min ist im Fallbeispiel das maximale Retentionsvolumen von 75 m³ erforderlich.

Eingangswerte

Regenanfall:

Wiederkehr- periode z	Orts- Koeffizient G	Orts- Konstante B	Orts- Konstante C	Term $1 + C * \log_{10}(z)$ h(z)	Term $G * (15 + B) * h(z)$ K(z)	Einzugs- fläche A_{z,z}	Förderleistung Pumpe Q
Jahre	[l/s*ha]	min	-	-	-	ha	l/s
50	132	8	0.750	2.274	6905	0.411	40.0

Eingangswerte

Pumpenleistung:

$$r(T, z) = G * \frac{15 + B}{T + B} * (1 + C \log_{10}(z)) \quad \text{Formel nach Hörler \& Rhein}$$

Berechnung maximales Retentionsvolumen:

Regen- dauer T	Regenasseranfall			Pumpleistung		Stau- volumen Δ V(T)
	r(T)	q(T)	Vr(T)	q(T)	Vq(T)	
min	l/(s x ha)	l/s	m²	l/s	m²	m³
0	863	355	0	40	0	0
5	531	218	65	40	12	53
10	384	158	95	40	24	71
15	300	123	111	40	36	75
20	247	101	122	40	48	74
25	209	86	129	40	60	69
30	182	75	134	40	72	62

Maximales Volumen

Tabelle 9: Berechnungsbeispiel für das maximale Retentionsvolumen am Pumpwerk (Methode nach Hörler & Rhein)

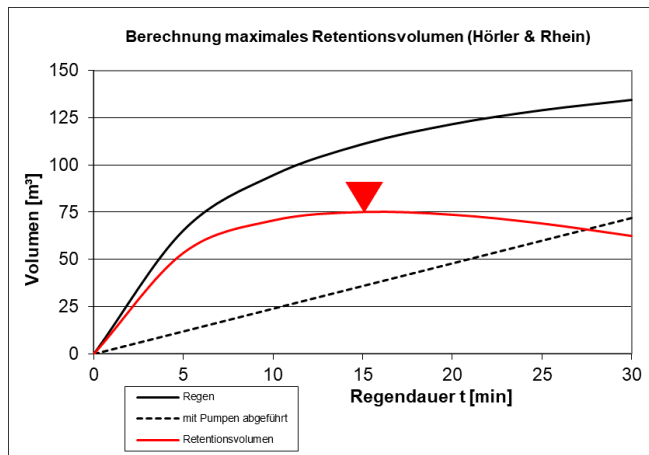


Abbildung 20: Retentionsvolumen bei Berechnung mit verschiedenen Regendauern, Wiederkehrperiode = 50 a

Für einen Stromausfall und Ausfall der Pumpen soll ein Retentionsvolumen über 20 min (Reaktionszeit eines Havariedienstes) bei der Jährlichkeit z = 1 Jahr bereitgestellt werden.

$$V_{\text{Stromausfall}} = q(20 \text{ min}) * 20 \text{ min} = 48.8 \frac{l}{s} * 20 \text{ min} * 60 \frac{s}{min} = 59 \text{ m}^3$$

Mit diesen beiden Berechnungen ist das Volumen zur Retention beim 50-jährigen Regenergebnis nach Hörler Rhein mit 75 m³ grösser und ist für das Fallbeispiel massgebend.

Regenintensität nach Talbot:

Aufgrund der Datenlage der Methode von Talbot können nur Regenintensitäten bis zu einer Jährlichkeit von 20 Jahren berechnet werden.

Regenintensität nach hydrologischem Atlas:

Dietlikon, Bahnhofstrasse Landeskoordinaten LV03 (N = 252'445, E = 688'967) gemäss Tafel 2.4 und Standortstabelle („Extreme Punktregen“ [7]):

- A: 61 mm
- B': 163 mm
- C: 19 mm
- D': 53 mm

Laut Tabelle ist die 1. Extremalverteilung anzuwenden und mit den Regendauern von 10 - 30 min der Regenzufluss und das maximale Retentionsvolumen zu ermitteln.

Berechnung maximales Retentionsvolumen:

Regen- dauer T	Regenwasseranfall			Pumpleistung		Stau- volumen $\Delta V(T)$
	r(T)	q(T)	Vr(T)	q(T)	Vq(T)	
min	l/(s x ha)	l/s	m ²	l/s	m ²	m ³
1	2521	1036	62	40	2	60
5	829	341	102	40	12	90
10	514	211	127	40	24	103
15	388	159	144	40	36	108
20	318	131	157	40	48	109
25	273	112	168	40	60	108
30	241	99	178	40	72	106

Maximales
Volumen

Tabelle 10: Berechnung maximales Retentionsvolumen mit dem hydrologischen Atlas für Fallbeispiel 1 und z=50 Jahre

Auch mit einer grösseren Jährlichkeit liefert die Methode des hydrologischen Atlas entsprechend konservativere Resultate.

8.1.5. Retentionsvolumen für Havarie, Tunnelreinigung und Löschwasser

Das Retentionsvolumen für Havarie, Tunnelreinigung und Löschwasser ist analog dem ASTRA FHB T/G [4] für ein Stapelbecken zu berechnen.

8.2. Fallbeispiel 2: Personenunterführung Wallisellen, Schönenhof

Reduzierte Fläche (F_{red}) = 2200 m² (Abbildung 5 vom Einzugsgebiet)

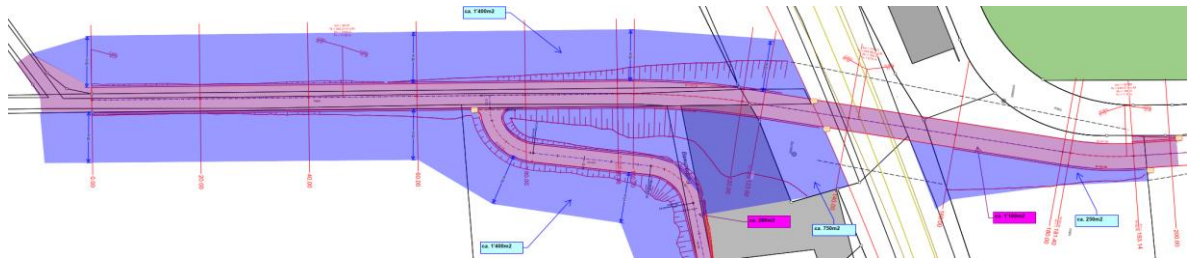


Abbildung 21 - Fallbeispiel 8.2 PU Wallisellen, Schönenhof

Für das Einzugsgebiet gelten je nach Art der Befestigung oder Bodentyp der benachbarten Flächen verschiedene Abflussbeiwerte

Strassenfläche (pink/violett, Asphalt) $A_{red} = (1'100 \text{ m}^2 + 200 \text{ m}^2) * 0.8 = 1'040 \text{ m}^2$

Angrenzende Entwässerungsflächen (blau, Schotterrasen)
 $A_{red} = (250 \text{ m}^2 + 750 \text{ m}^2 + 1'400 \text{ m}^2 + 1'400 \text{ m}^2) * 0.3 = 1'140 \text{ m}^2$

Total Fläche Einzugsgebiet $A_{red} = 2'180 \text{ m}^2$

Regenintensität nach Talbot $r_{(15,1)} = 140 \frac{l}{s*ha}$

$$Q_{Regen} = A_{red} * r = 2'180 \text{ m}^2 * \frac{140}{10'000} \frac{l}{s * m^2} = 31 \frac{l}{s} = 0.031 \frac{m^3}{s}$$

Die Pumpleistung wird bei 85% des Zulaufs $r(15;1)$ festgelegt: $Q_{Ab} = 26 \frac{l}{s}$.

Die Berechnung des Retentionsvolumens erfolgt beispielhaft mit den verschiedenen Methoden.

8.2.1. Retentionsvolumen eines Pumpwerks mit z = 5 Jahre

Bei der Unterführung Wallisellen handelt es sich um eine Personenunterführung. Als Schutzklasse wird die Unterführung als Schutzklasse 1 definiert (vgl. Tabelle 1 Kapitel 2.3.4). Um ein wirtschaftlich verhältnismässiges Retentionsvolumen am Pumpwerk zu erhalten, wird in Abstimmung mit der Bauherrschaft die Jährlichkeit 5 Jahre festgelegt. Dadurch wird ein kurzfristiger Aufstau des Regenabflusses an der Fahrbahnoberfläche der Unterführung bei stärkeren Regenereignissen (Jährlichkeit >5 Jahre) toleriert.

Regenintensität nach Talbot:

Das Fallbeispiel Wallisellen befindet sich gemäss VSS Norm 40 350 in der Region Mittelland.

$$i(t, T) = \frac{a_T}{t + b_T} \quad \text{Berechnungsformel nach Talbot}$$

Für $T = 5$, $a_1 = 39.02$, $b_1 = 0.241$ und $t = 15$ ergibt die Regenintensität i

$$= 79.5 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \quad \text{und} \quad r = 221 \frac{\text{l}}{\text{s} * \text{ha}}$$

Mit der Methode von Talbot werden Regenereignisse mit $z = 5$ Jahre und Regendauern T von 10 - 30 min berechnet und das maximale Retentionsvolumen ermittelt. Bei einer Regendauer von 15 min ist im Fallbeispiel das maximale Retentionsvolumen von 20 m³ erforderlich.

Hydraulische Berechnung von Retentionsvolumen

Eingangswerte Regenanfall:

Eingangswerte Pumpenleistung:

Wiederkehrperiode T Jahre	Orts-Koeffizient für	Orts-Koeffizient a ₁	Orts-Koeffizient b ₁	Einzugsfläche F _{z.z.} ha	Förderleistung Pumpe Q l/s
10.0	Mittelland / Tessin	45.66	0.247	0.218	26.0

$$r(t, T) = 2.78 \times \frac{a_T}{t + b_T} \quad \text{Formel von Talbot nach VSS 40 350}$$

Berechnung maximales Retentionsvolumen:

Regendauer t min	Regenwasseranfall		Pumpleistung		Retentionsvolumen Δ V(t) m ³
	r(t) l/(s x ha)	Vr(t) m ³	q(t) l/s	Vq(t) m ³	
0	513.91	0.0	26.0	0.0	0.0
5	384.26	25.1	26.0	7.8	17.3
10	306.85	40.1	26.0	15.6	24.5
15	255.40	50.1	26.0	23.4	26.7
20	218.73	57.2	26.0	31.2	26.0
25	191.26	62.5	26.0	39.0	23.5
30	169.93	66.7	26.0	46.8	19.9

Maximales Volumen

Analog wird mit der Methode von Hörler & Rhein vorgegangen und bei der Jährlichkeit von $z = 5$ Jahre das maximale Retentionsvolumen ermittelt.

Regenintensität nach Hörler & Rhein

$$r(T, z) = G * \left(\frac{15 + B}{T + B} \right) * (1 + C \log_{10}(z))$$

Für $z = 5$, $T = 10$, $B = 8$, $G = 132$ und $C = 0.75$ erhält man $r = 257 \frac{\text{l}}{\text{s} * \text{ha}}$

$$Q_{Zu} = A_{red} * r = 2'180 \text{ m}^2 * \frac{257}{10'000} \frac{\text{l}}{\text{s} * \text{m}^2} = 56 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0.056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Bei der Regendauer von 10min ist im Fallbeispiel bei dieser Methode das grösste Retentionsvolumen erreicht und in der Bilanz zwischen Zulauf und Ablauf (mit Pumpen) ist ein Retentionsvolumen von 18 m³ notwendig.

Zusätzlich ist das Retentionsvolumen bei Stromausfall zu betrachten

Retentionsvolumen nach 2.5.1 nach VSS (Methode nach Talbot) :
Stromausfall: Zufluss aus r(20;1) Regen während 20 min als Notfallvolumen 31 m³

In diesem Beispiel ist das Retentionsvolumen bei Stromausfall grösser und für die Dimensionierung massgeblich.

8.2.2. Vergleich der Regenintensität i (20;5) bei verschiedenen Berechnungsansätzen

Analog dem Fallbeispiel 1 wird beim Fallbeispiel 2 der Zufluss mit den verschiedenen Berechnungsmethoden ausgeführt und verglichen.

Regenintensität nach Hörler & Rhein

$$r(T, z) = G * \left(\frac{15 + B}{T + B} \right) * (1 + C \log_{10}(z))$$

Für $z = 5, T = 20, B = 8, G = 132$ und $C = 0.75$ erhält man $r = 165 \frac{l}{s * ha}$

Regenintensität nach Talbot:

Das Fallbeispiel Wallisellen befindet sich gemäss VSS Norm 40 350 in der Region Mittelland.

$$i(t, T) = \frac{a_T}{t + b_T} \quad \text{Berechnungsformel nach Talbot}$$

Für $T = 5, a_1 = 39.02, b_1 = 0.241$ und $t = 20$ ergibt die Regenintensität $i = 68 \frac{mm}{h}$ und $r = 189 \frac{l}{s * ha}$

Regenintensität nach hydrologischem Atlas:

Wallisellen Schönenhof Landeskoordinaten LV03 (N = 251'935, E = 688'665)

Laut Tafel 2.4 und Standortstabelle („Extreme Punktregen“ [7]):

- A: 61 mm
- B': 163 mm
- C: 19 mm
- D': 53 mm

Laut Tabelle, 1. Extremalverteilung anwenden:

$$B = \frac{B'}{24} = 6.8 \frac{mm}{h}$$

$$D = \frac{D'}{24} = 2.2 \frac{mm}{h}$$

$$a = 0.315 * \ln\left(\frac{B}{A}\right) = -0.691$$

$$b = 0.315 * \ln\left(\frac{D}{C}\right) = -0.678$$

$$y(T) = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) = 1.5$$

$i_{t,T} = C * t^b + 0.248 * (A * t^a - C * t^b) * (y(T) - 0.577)$ Formel für 1. Extremalverteilung

Ergebnis: $i_{20,5} = 60.7 \frac{mm}{h} = 168.7 \frac{l}{s * ha}$

Tabelle 11 zeigt ergänzend die Regenintensitäten für der verschiedenen Methoden bei der Jährlichkeit 5 Jahre und der Regendauer 20 min.

Hörler & Rhein Anwendung GEP	Talbot Anwendung: VSS	Hydrologischer Atlas Grundlage für Mete- oSchweiz Regendaten
$165 \frac{l}{s * ha}$	$189 \frac{l}{s * ha}$	$169 \frac{l}{s * ha}$

Tabelle 11: Vergleich der Regenintensitäten bei verschiedenen Berechnungsmethoden für den Regen $r_{(20,5)}$

8.2.3. Speicherkanal für Einleitung in ARA

Nach der RiLi 2 des TBA KT Zürich [12] sind Speicherkanäle für Einleitungen in die Kanalisation zur ARA in speziellen Fällen vorzusehen, wo Strassenabwasserreinigungsanlagen nicht erstellt werden können. Der Ablauf in die Kanalisation ist als gedrosselter Ablauf zur ARA auf 1 - 2 l/s einzustellen. Der Speicherkanal hat zulaufseitig eine Entlastung in einen Vorfluter.

Mit der Zuflussmenge aus der Berechnung nach VSS (Talbot) unter 8.2.2

$$Q_{Zu} = F_{red} * r = 2'180 * \frac{189}{10'000} = 41.2 \frac{l}{s} = 0.041 \frac{m^3}{s}$$

Die Ablaufmenge des gedrosselten Ablaufs ist mit 1 - 2 l/s bei einem Zulauf von 41 l/s wenig relevant.

Das erforderliche Volumen des Speicherkanals ergibt sich nach der RiLi 2 des TBA KT Zürich [12] aus der Multiplikation der Regenspende (8 mm oder 10 mm) mit der Strassenfläche, ohne Reduktion der Strassenfläche mit Abflusskoeffizienten. Die Berechnung des Zuflusses ist bei der überschlägigen Berechnung nicht relevant.

$$V_{\text{Speicherkanal}} = 0.008 m * 5'100 m^2 = 40.8 m^3$$

8.2.4. Berechnung des Retentionsvolumen bei der Einleitung in einen Vorfluter

Das Retentionsvolumen berechnet sich aus der Differenz der Zuflussmenge und der Abflussmenge.

$$Q_{Retention} = Q_{Zufluss} - Q_{Abfluss}$$

In diesem Fallbeispiel soll ein 15-minütiges einjähriges Regenereignis komplett versickert werden und für grössere Regenereignisse eine Retention geschaffen werden.

Nach VSS (Talbot) entspricht die Zuflussmenge für ein 15-min einjähriges Regenereignis

$$Q_{Zu} = 30.5 \frac{l}{s} = 0.0305 \frac{m^3}{s}$$

Für die Dauer von 15 Minuten errechnet sich das Retentionsvolumen zu

$$V_{Retention} = 60 \frac{s}{min} * 15 min * 0.0305 \frac{m^3}{s} = 27.5 m^3$$

Das Retentionsvolumen wird mit mehreren Regenereignissen mit höherer Jährlichkeit überprüft:

- Regenspende mit $z = 5$ Jahre, $T = 20$ min:

Die Berechnung nach Talbot ergibt: $Q_{Zu} = F_{red} * r = 2'180 * \frac{189}{10'000} = 41.2 \frac{l}{s}$.

Die Zulaufmenge ergibt $V_{Zu} = 60 \frac{s}{min} * 20 min * 0.0412 \frac{m^3}{s} = 49.4 m^3$

Das Retentionsvolumen von $27.5 m^3$ ist nicht ausreichend. Die Differenz wird in den Vorfluter abgeführt.

$$Q_{Ab} = Q_{Zu} - Q_{Ret} = 49.4 m^3 - 27.5 m^3 = \mathbf{22 m^3}$$

- Regenspende mit $z = 10$ Jahre, $T = 10$ min:

Die Berechnung nach Talbot ergibt: $Q_{Zu} = F_{red} * r = 2'180 * \frac{307}{10'000} = 66.9 \frac{l}{s}$.

Die Zulaufmenge ergibt $V_{Zu} = 60 \frac{s}{min} * 10 min * 0.0669 \frac{m^3}{s} = 40.1 m^3$

Das Retentionsvolumen von $27.5 m^3$ ist nicht ausreichend. Die Differenz wird in den Vorfluter abgeführt.

$$Q_{Ab} = Q_{Zu} - Q_{Ret} = 40.1 m^3 - 27.5 m^3 = \mathbf{12.7 m^3}$$

- Regenspende mit $z = 50$ Jahre, $T = 20$ min:

Die Berechnung nach Hörler & Rhein ergibt: $Q_{Zu} = F_{red} * r = 2'180 * \frac{247}{10'000} = 53.8 \frac{l}{s}$.

Die Zulaufmenge ergibt $V_{Zu} = 60 \frac{s}{min} * 20 min * 0.0538 \frac{m^3}{s} = 64.5 m^3$

Das Retentionsvolumen von $27.5 m^3$ ist nicht ausreichend. Die Differenz wird in den Vorfluter abgeführt.

$$Q_{Ab} = Q_{Zu} - Q_{Ret} = 64.5 m^3 - 27.5 m^3 = \mathbf{37.1 m^3}$$



Aus diesen Resultaten ist ersichtlich, dass die Regendauer mehr Einfluss auf die abzufliessende Regenmenge in den Vorfluter hat als die Jährlichkeit selbst.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abhängigkeiten und Einordnung Richtlinie zu rechtlichen sowie publizistischen Dokumenten	7
Abbildung 2: Konzept Strassenentwässerung	13
Abbildung 3: Intensität-Dauer-Jährlichkeit-Kurve.....	14
Abbildung 4: Schweizer Karte und Koeffizienten zur Regenintensität nach Talbot, Wiederkehrperiode = 1	15
Abbildung 5: Retentionsfilterbecken [11]	17
Abbildung 6: Mulden-Rigolen-System [11].....	17
Abbildung 7: Visualisierung des Berechnungsbeispiels.....	20
Abbildung 8: Kombiniertes Pumpwerk mit Blech 8 mm zur Abtrennung Schlammammelraum	23
Abbildung 9: Schlammesammler [21]	24
Abbildung 10: Zonen der Pumpenvorlage [21]	25
Abbildung 11: Schnitt durch einen Betriebsraum mit entsprechenden Armaturen und Einrichtungen	38
Abbildung 12: Bsp. Ausrüstung / Armaturen Betriebsraum über Pumpenschacht, Pumpwerk Wanne, Hinwil	41
Abbildungen 13: Beispiel geöffnete Schachtabdeckung, geöffnete Absturzsicherung, ausgezogene Leiter.....	42
Abbildungen 14: Beispiel steckbares Geländer und gasdichte Durchführungen, Pumpwerk Wanne, Hinwil	42
Abbildung 15: Beispiel Sanitärinstallation im Betriebsraum über Pumpenschacht, Pumpwerk Wanne, Hinwil	43
Abbildung 16: Aufgeräumte Sensorik (z.B. Schwimmerbirnen) und Potentialausgleich (Erdung) an Leiter	43
Abbildungen 17: Podest und Steuerung, Pumpwerk Wanne, Hinwil.....	44
Abbildung 18 : Fallbeispiel 8.1 UF Dietlikon, Bahnhofstrasse	52
Abbildung 19 - Ortskonstanten für die Berechnung der mittleren Regenintensität in Funktion des Wiederkehrintervalls und der Regenabschnittdauer nach Hörler & Rhein	52
Abbildung 20: Retentionsvolumen bei Berechnung mit verschiedenen Regendauern, Wiederkehrperiode = 50 a.....	56
Abbildung 21 - Fallbeispiel 8.2 PU Wallisellen, Schönenhof	58

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Risikomatrix zur Festlegung der massgebenden Jährlichkeit in Abhängigkeit von der Bauwerksklasse	16
Tabelle 2: Berechnungsbeispiel für das maximale Retentionsvolumen am Pumpwerk	20

Tabelle 3: Vergleich «nass» und «trocken» aufgestellte Pumpen	32
Tabelle 4: Inspektionsarbeiten am Pumpwerk	48
Tabelle 5: Wartungsarbeiten am Pumpwerk.....	49
Tabelle 6: Vergleich der Regenintensitäten bei verschiedenen Berechnungsmethoden für den Regen $r_{(10,10)}$	53
Tabelle 7: Vergleich der Regenintensitäten bei verschiedenen Berechnungsmethoden für den Regen $r_{(15,1)}$	54
Tabelle 8: Vergleich der Regenintensitäten bei verschiedenen Berechnungsmethoden für den Regen $r_{(10,50)}$	55
<i>Tabelle 9: Berechnungsbeispiel für das maximale Retentionsvolumen am Pumpwerk (Methode nach Hörler & Rhein).....</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 10: Berechnung maximales Retentionsvolumen mit dem hydrologischen Atlas für Fallbeispiel 1 und $z=50$ Jahre</i>	<i>57</i>
Tabelle 11: Vergleich der Regenintensitäten bei verschiedenen Berechnungsmethoden für den Regen $r_{(20,5)}$	61