



Wasserbauplan  
Beilage C.3.3

|                      |            |               |            |     |
|----------------------|------------|---------------|------------|-----|
| Gemeinde             | Bern       | Dossier-Datum | 22.05.2018 |     |
| Erfüllungspflichtige | Stadt Bern | Revidiert     |            |     |
| Gewässernummer       | 37         | Projekt-Nr.   |            |     |
| Gewässer             | Aare       |               |            |     |
|                      |            | Format        | A4         |     |
| Datum                | Rev.       | 22.05.2018    | Freigabe   | LAG |

## Hochwasserschutz Aare Bern Gebietsschutz Quartiere an der Aare

Unterlage

**Technischer Bericht Teil II**  
Abschnitt Matte im Bereich L4, L5, L6, R3  
KM 28.400 - KM 29.750

Projektverfassende

Generalplanerteam HWS Aarebogen:  
p.A.

**Emch+Berger AG Bern**

Seestrasse 7  
CH-3700 Spiez  
Tel. +41 33 650 75 75  
www.emchberger.ch



**IUB** Engineering

 **Flussbau AG** SAH  
dipl. Ing. ETH/SIA flussbau.ch

**Rolf Mühlethaler**  
Architekt BSA SIA

**w+s**  
Landschaftsarchitekten AG

Wasserbauplangenehmigung:

## Impressum

---

|  |  |
|--|--|
| Auftragsnummer                         | 599070 (Projektnummer Stadt Bern)  |
| Auftraggeber                           | Stadt Bern   |
| Datum                                  | 21. Juli 2017  |
| Version                                | 1.0  |
| Autoren<br>nach Firma,<br>alphabetisch | G. Lauber, HP Meier, A. Bucher (Emch+Berger AG)<br>S. Geisser, R. Künzi, (Flussbau AG SAH)<br>P. Billeter, J. Jenzer, M. Zahno (IUB Engineering AG)<br>R. Mühlethaler (Rolf Mühlethaler, Architekt BSA SIA)<br>T. Weber (w+s Landschaftsarchitekten AG)<br>D. Biaggi, E. Wüthrich (Geotechnisches Institut AG) |
| Freigabe                               | G. Lauber  |
| Verteiler                              | Dossier Wasserbauplan  |
| Datei                                  | J:\F_WNF_Fs07\BE.N.07120\300_ab_WBP\4_plan\43_baup\WBP-Dossier\Dossier_WBP_2017\Technische<br>Berichte WBP\HWS_Aare_WBP_Beilage_C.3.3.docx   |
| Seitenanzahl                           | 47   |
| Copyright                              | © <b>Generalplanerteam HWS Aarebogen</b> , p.A. Emch+Berger AG Bern  |

## INHALT

|  |           |
|--|-----------|
| <b>TEIL II Projektbeschreibung / Massnahmen Abschnitt Matte</b>                        | <b>1</b>  |
| <b>1 Ausgangslage / Projektannahmen</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Aufbau des Berichtes und Projektabschnitte</b>                                  | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Hydraulik</b>   | <b>2</b>  |
| 1.2.1 Hydraulische Modellierung  | 2         |
| 1.2.2 Projektziele   | 2         |
| 1.2.3 Schutzkoten  | 3         |
| <b>1.3 Geologischer Untergrund</b>   | <b>4</b>  |
| 1.3.1 Geologische und hydrogeologische Planungsgrundlagen                              | 4         |
| 1.3.2 Geologischer Überblick   | 5         |
| 1.3.3 Genereller Schichtaufbau   | 5         |
| 1.3.4 Hydrogeologie  | 7         |
| <b>1.4 Siedlungsentwässerung</b>   | <b>13</b> |
| <b>2 Massnahmenkonzept</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.1 Raumplanerische Massnahmen</b>  | <b>14</b> |
| <b>2.2 Gewässerunterhalt</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.3 Warnung, Alarmierung und Notfallplanung</b>                                     | <b>14</b> |
| <b>2.4 Bauliche Schutzmassnahmen</b>   | <b>15</b> |
| 2.4.1 Erhöhung der Abflusskapazität  | 15        |
| 2.4.2 Grundsätzliches zur Abdichtung der durchlässigen Flussufer und -sohle            | 15        |
| 2.4.3 Ableitung des Aare- und Hangwassers  | 16        |
| 2.4.4 Siedlungsentwässerung  | 17        |
| <b>2.5 Gestaltung</b>  | <b>18</b> |
| <b>3 Massnahmenplanung</b>   | <b>19</b> |
| <b>3.1 Massnahmen Gestaltung / Architektur</b>   | <b>19</b> |
| 3.1.1 Gestaltungsgrundsätze  | 19        |
| 3.1.2 Umsetzung Gestaltung   | 24        |
| <b>3.2 Variantenstudien und Entscheide</b>   | <b>26</b> |
| <b>3.3 Gewässerunterhalt und Notfallplanung</b>  | <b>27</b> |
| <b>3.4 Massnahmen Wasserbau / Bautechnik</b>   | <b>28</b> |
| 3.4.1 Geologie, Grundwasser und Geotechnik   | 28        |
| 3.4.2 Massnahmen gegen Aare-Grundwasserzutritte und Durchsickerung der<br>Schutzbauten | 30        |
| 3.4.3 Uferverbau und Ufergestaltung  | 32        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 3.4.4      | Ufererhöhungen  | 35        |
| 3.4.5      | Tychsteg  | 38        |
| 3.4.6      | Matteschwelle   | 38        |
| <b>3.5</b> | <b>Auswirkungen auf die Nutzung</b>                         | <b>39</b> |
| <b>3.6</b> | <b>Massnahmen Siedlungsentwässerung und Drainage</b>        | <b>40</b> |
| 3.6.1      | Ersatz und Zusammenlegung der RU Fricktreppe und Aarstrasse | 40        |
| 3.6.2      | Ersatz Regenüberlauf Weihergasse                            | 40        |
| 3.6.3      | Strassenentwässerung Aarstrasse                             | 41        |
| 3.6.4      | Neubau Pumpwerk Mattenbachmündung                           | 41        |
| 3.6.5      | Neubau Drainage   | 42        |
| 3.6.6      | Betrieb / Unterhalt   | 42        |
| <b>4</b>   | <b>Grundlagen</b>   | <b>43</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Berichte und Studien</b>                                 | <b>43</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Digitale Grundlagen</b>                                  | <b>43</b> |

## TEIL II Projektbeschreibung / Massnahmen Abschnitt Matte

### 1 Ausgangslage / Projektannahmen

#### 1.1 Aufbau des Berichtes und Projektabschnitte

Der Technische Bericht zum Dossier Wasserbauplan ist folgendermassen aufgeteilt:

|          |   |
|----------|---|
| Teil I   | Angaben zum Projekt und Ausgangslage  |
| Teil II  | Projektbeschreibung / Massnahmen pro Quartier <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abschnitt Marzili (L1 – L3)</li> <li>- <b>Abschnitt Matte links (L4 – L6) und Matte rechts (R3)</b></li> <li>- Abschnitt Langmauer (L7 – L8)</li> <li>- Abschnitt Dalmazi (R1 – R2)</li> <li>- Abschnitt Altenberg (R4)</li> </ul> |
| Teil III | Übergreifende Themen und Schlussfolgerungen   |

Im vorliegenden Berichtsteil werden die Massnahmen im **Abschnitt Matte links und rechts inkl. Tychsteg** behandelt. Das Kapitel 2 ist in allen Berichten zu den Quartieren (Teile II) identisch, ausser im Bereich Siedlungsentwässerung. Die Unterteilung des Projektperimeters ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1: Einteilung Projektabschnitte und –bereiche am linken (L) und rechten (R) Aareufer.

|              | Abschnitt    | Bereich                         | Kürzel          | Kilometrierung  |                      |
|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| Linkes Ufer  | Marzili      | Eichholz                        | L1              | 26.600 – 27.500 | Inkl. Schönausteg    |
|              |              | Gaswerk                         | L2              | 27.500 – 28.025 |                      |
|              |              | Marzilibad                      | L3              | 28.025 – 28.400 |                      |
|              |              | Abschnittsgrenze Dalmazibrücke  |                 | 28.400          |                      |
|              | Matte links  | Aarstrasse                      | L4              | 28.400 – 29.000 |                      |
|              |              | Tych                            | L5              | 29.000 – 29.090 | Inkl. Tychsteg       |
|              |              | Matte                           | L6              | 29.090 – 29.750 |                      |
|              |              | Abschnittsgrenze Untertorbrücke |                 | 29.750          |                      |
|              | Langmauer    | Münsterbauhütte                 | L7              | 29.750 – 30.100 |                      |
|              | Schütte      | L8                              | 30.100 – 32.600 |                 |                      |
| Rechtes Ufer | Dalmazi      | Dählhölzli                      | R1              | 26.600 – 27.570 |                      |
|              |              | Dalmaziquai                     | R2              | 27.570 – 28.400 | Inkl. Dalmazibrücke  |
|              |              | Abschnittsgrenze Dalmazibrücke  |                 | 28.400          |                      |
|              | Matte rechts | Matte rechts                    | R3              | 28.400 – 29.750 | Inkl. Untertorbrücke |
|              |              | Abschnittsgrenze Untertorbrücke |                 | 29.750          |                      |
|              | Altenberg    | Altenberg                       | R4              | 29.750 – 32.600 | Inkl. Altenbergsteg  |

## 1.2 Hydraulik

### 1.2.1 Hydraulische Modellierung

Für die Berechnung von Sohlenveränderungen, Wasserspiegellagen sowie für die Bestimmung von Schutzkoten entlang der Aare in Bern wurde ein eindimensionales Abfluss- und Geschiebetransportmodell mit dem Simulationsprogramm MORMO verwendet. Das Modell wurde im Rahmen der Erarbeitung des Vorprojekts erstellt und für das vorliegende Wasserbauprojekt überarbeitet und gemäss den aktuellen Massnahmen angepasst.

Das Modell wurde anhand von Hochwasserspuren, Sohlendifferenzen und Geschiebefrachten in der Periode von 1985 bis 2011 geeicht und anhand von Hochwasserspuren des Ereignisses vom Mai 2015 überprüft, um anschliessend die für die Projektierung des Hochwasserschutzprojekts Aare Bern relevanten Einzelereignisse zu simulieren. Die hydraulische Modellierung ist im Technischen Bericht Teil I sowie im Fachbericht Hydraulik und Geschiebe beschrieben.

### 1.2.2 Projektziele

Für das Hochwasserschutzprojekt wurden abschnittsbezogen unterschiedliche Massnahmenziele festgelegt. Dabei wird zwischen vollständigem Schutz (mit ausreichendem Freibord) und begrenztem Schutz (Abfluss bordvoll) unterschieden. Die Massnahmenziele werden abschnittsweise wie folgt definiert:

Tabelle 2: Massnahmenziele linke Uferseite. \* höhere Schutzkote massgebend.

\*\* Vollständiger Schutz bis 660 m<sup>3</sup>/s beinhaltet ein begrenzter Schutz für Abflüsse bis 700 m<sup>3</sup>/s.

| Abschnitt [km]  | Bereich                                     | Massnahmenziele   |
|-----------------|---|---|
| 28.400 – 28.530 | L4 Aarstrasse<br>(Teilabschnitt)            | Vollständiger Schutz bis 600 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>100</sub></i> ) und begrenzter Schutz für höhere Abflüsse bis 700 m <sup>3</sup> /s *  |
| 28.530 – 29.090 | L4 Aarstrasse<br>(Teilabschnitt)<br>L5 Tych | Vollständiger Schutz bis 660 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>300</sub></i> )**<br>(Arealenschutz Matte)   |
| 29.090 – 29.530 | L6 Matte<br>(Teilabschnitt)                 | Begrenzter Schutz bis 600 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>100</sub></i> ) durch fixe Massnahmen und vollständiger Schutz bis 660 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>300</sub></i> )** mit mobilen Massnahmen<br>(Arealenschutz Matte)  |
| 29.530 – 29.605 | L6 Matte<br>(Teilabschnitt)                 | Vollständiger Schutz bis 600 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>100</sub></i> ) und begrenzter Schutz für höhere Abflüsse bis 700 m <sup>3</sup> /s * durch fixe Massnahmen und vollständiger Schutz bis 660 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>300</sub></i> )** mit mobilen Massnahmen<br>(Arealenschutz Matte) |
| 29.605 – 29.640 | L6 Matte<br>(Teilabschnitt)                 | Begrenzter Schutz bis 600 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>100</sub></i> ) durch fixe Massnahmen und vollständiger Schutz bis 660 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>300</sub></i> )** mit mobilen Massnahmen<br>(Arealenschutz Matte)  |
| 29.605 – 29.750 | L6 Matte<br>(Teilabschnitt)                 | Vollständiger Schutz bis 660 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>300</sub></i> )**<br>(Arealenschutz Matte)   |

Tabelle 3: Massnahmenziele rechte Uferseite. \* höhere Schutzkote massgebend.

| Abschnitt [km]  | Bereich                            | Massnahmenziele  |
|-----------------|------------------------------------|--|
| 28.400 – 29.640 | R3 Matte rechts<br>(Teilabschnitt) | Keine Massnahmen vorgesehen  |
| 29.640 – 29.750 | R3 Matte rechts<br>(Teilabschnitt) | Vollständiger Schutz bis 600 m <sup>3</sup> /s ( <i>HQ<sub>100</sub></i> ) und begrenzter Schutz für höhere Abflüsse bis 700 m <sup>3</sup> /s * |

### 1.2.3 Schutzkoten

Auf der Basis der hydraulischen Modellierung (vgl. Kap. 1.2.1) und gemäss den in Kapitel 1.2.2 beschriebenen Massnahmenzielen werden für das linke und rechte Ufer der Matte Schutzkoten gemäss Tabelle 4 berechnet. Entlang der Matte wurden für die linksseitigen Ufer zwei massgebende Schutzkoten bestimmt. Gemäss Stadtratsbeschluss (SRB) 2012-611 ist "um die Matte die Freibordhöhe durch vor Ort verfügbare mobile Massnahmen zu gewährleisten". Der vollständige Schutz bis zu einem *HQ<sub>300</sub>* soll mit mobilen Massnahmen gewährleistet werden. Die Schutzkoten für das rechte Ufer sind in der Tabelle 5 zusammengestellt. Für Berechnungsdetails wird auf den Technischen Bericht Teil I sowie den Fachbericht Hydraulik und Geschiebe verwiesen.

Tabelle 4: Massgebende Schutzkoten für die linke Aareseite im Abschnitt Matte. Projektkoten für fixe Massnahmen sind grün hinterlegt, Projektkoten für mobile Schutzmassnahmen sind blau hinterlegt.

\* in km 28.440 wird die Schutzkote auf 502.86 angehoben, um den Arealschutz in der Matte sicher zu stellen.

| km     | 550 bordvoll   | 600 bordvoll   | 600 Freibord   | 660 Freibord   | 700 bordvoll   |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        | <i>m ü. M.</i> |
| 28.403 | 502.13         | 502.35         | 502.76         | 503.04         | 502.72         |
| 28.440 | 502.19         | 502.41         | * 502.78       | 503.37         | 502.76         |
| 28.547 | 502.04         | 502.29         | 502.90         | 503.18         | 502.64         |
| 28.650 | 501.45         | 501.68         | 502.57         | 502.85         | 502.02         |
| 28.740 | 501.14         | 501.32         | 502.06         | 502.36         | 501.73         |
| 29.151 | 500.15         | 500.36         | 500.63         | 500.90         | 500.77         |
| 29.234 | 500.07         | 500.29         | 500.57         | 500.84         | 500.71         |
| 29.289 | 499.99         | 500.19         | 500.50         | 500.76         | 500.59         |
| 29.361 | 499.90         | 500.13         | 500.43         | 500.70         | 500.52         |
| 29.430 | 499.84         | 500.06         | 500.36         | 500.63         | 500.47         |
| 29.481 | 499.78         | 500.00         | 500.30         | 500.58         | 500.42         |
| 29.539 | 499.69         | 499.91         | 500.23         | 500.51         | 500.32         |
| 29.591 | 499.62         | 499.84         | 500.17         | 500.45         | 500.25         |
| 29.640 | 499.54         | 499.75         | 500.10         | 500.38         | 500.17         |
| 29.704 | 499.48         | 499.68         | 500.03         | 500.30         | 500.08         |
| 29.743 | 499.48         | 499.69         | 500.02         | 500.29         | 500.09         |

Tabelle 5: Massgebende Schutzkoten für die rechte Aareseite im Abschnitt Matte, Projektkoten für fixe Massnahmen sind grün hinterlegt.

| km     | 550 bordvoll   | 600 bordvoll   | 600 Freibord   | 660 Freibord   | 700 bordvoll   |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        | <i>m ü. M.</i> |
| 28.403 | 502.13         | 502.35         | 502.76         | 503.04         | 502.72         |
| 28.440 | 502.09         | 502.31         | 502.73         | 502.99         | 502.66         |
| 28.547 | 501.94         | 502.19         | 502.56         | 502.83         | 502.54         |
| 28.650 | 501.35         | 501.58         | 502.31         | 502.59         | 501.92         |
| 28.740 | 501.14         | 501.32         | 502.06         | 502.36         | 501.73         |
| 29.151 | 500.15         | 500.36         | 500.63         | 500.90         | 500.77         |
| 29.234 | 500.07         | 500.29         | 500.57         | 500.84         | 500.71         |
| 29.289 | 499.99         | 500.19         | 500.50         | 500.76         | 500.59         |
| 29.361 | 499.90         | 500.13         | 500.43         | 500.70         | 500.52         |
| 29.430 | 499.94         | 500.16         | 500.65         | 500.93         | 500.57         |
| 29.481 | 499.88         | 500.10         | 500.59         | 500.88         | 500.52         |
| 29.539 | 499.79         | 500.01         | 500.53         | 500.82         | 500.42         |
| 29.591 | 499.72         | 499.94         | 500.48         | 500.77         | 500.35         |
| 29.640 | 499.54         | 499.75         | 500.10         | 500.38         | 500.17         |
| 29.704 | 499.48         | 499.68         | 500.03         | 500.30         | 500.08         |
| 29.743 | 499.48         | 499.69         | 500.02         | 500.29         | 500.09         |

### 1.3 Geologischer Untergrund

#### 1.3.1 Geologische und hydrogeologische Planungsgrundlagen

Die nachfolgenden Ausführungen wie auch die in Kapitel 3.4.1 dargelegten Überlegungen beziehen sich im Wesentlichen auf folgende Grundlagen:

- Geologisch-geotechnische Vorabklärungen (Kellerhals und Häfeli AG, 2007): Bericht mit Grundwasser-Isohypsenplänen, geologischen Längen- und Querprofilen, Bohrprofilen. [7]
- Grundwassermessungen und hydrographische Daten zur Aare: Zusammenführung diverser Datensätze bestehend aus eigenen Messungen (vgl. untenstehende Aktennotizen), Messungen der Stadt Bern in Zusammenarbeit mit dem Büro Kellerhals und Häfeli AG, Datenlieferungen BAFU und AWA.
- Abklärungen Dr. U. Gruner betreffend: Grundwasserpumpen und Drainagewirkung von Leitungen in der unteren Matte sowie neue Erkenntnisse zur Geologie im Bereich Mattenenge. Präsentation an der Sitzung vom 24.9.2014.
- Berichterstattungen der Geotechnisches Institut AG zu diversen Untersuchungsetappen 2013-2014, jeweils als Aktennotizen zuhanden des Planerteams verfasst:
  - Nr. 01 vom 18.12.2013: Repräsentative Grundwasserstände.
  - Nr. 02 vom 3.4.2014: Grundwasseruntersuchungen im Bereich des Tychs.
  - Nr. 04 vom 17.7.2014: Hydrogeologische Untersuchungen im Bereich der „Verzweigung Aare-Tych“.
  - Nr. 05 vom 27.8.2014: Matte – Isohypsenplan „reguläres Sommerhochwasser“ und Modellberechnungen Drainagemengen.

- Nr. 07 vom 23.9.2014: Matte – Ergänzungen zur Aktennotiz Nr. 05 (neuer Isohypsenplan).

Die hier nicht aufgeführten Aktennotizen Nr. 03 und Nr. 06 betreffen das Marziliquartier bzw. das Gebiet Langmauer-Altenberg.

### 1.3.2 Geologischer Überblick

Das heutige Mattequartier gehörte vor dessen Besiedlung und der Korrektur des Flusslaufs zum natürlichen Sedimentationsraum der Aare. Je nach Materialzufuhr und Strömungsverhältnissen kamen Kiese, Kiessande oder feinkörnigere Sedimente zur Ablagerung. Zur Altstadt hin und bei der Englischen Anlage wird der Taleinschnitt im Wesentlichen durch glaziolakustrische Moränen flankiert.

In der Matte wurde der ursprüngliche fluviatile Sedimentationsraum im Zuge der anthropogenen Tätigkeiten stark modelliert. Auffallend sind die bis zu mehreren Metern mächtigen künstlichen Auffüllungen und Schüttungen. Diese weisen eine starke Variabilität in der Zusammensetzung auf.

### 1.3.3 Genereller Schichtaufbau

Abbildung 1 zeigt ein zusammenfassendes geologisches Sammelprofil. Oberflächennah präsentieren sich die Schichtverhältnisse überall sehr ähnlich:

- Ab Terrain stehen **künstliche Auffüllungen** und Schüttmaterialien an. Ziegelbruchstücke, Sandsteinblöcke (alter „Bauschutt“) und bearbeitete Holzstücke zeugen von der anthropogenen Herkunft.
- Lokal sind unter diesen Auffüllungen feinkörnige Überschwemmungssedimente anzutreffen.
- Ab einer Tiefe von durchschnittlich knapp 4 m treten die gut durchlässigen **Aareschotter** auf. Diese bestehen aus sauberen bis schwach siltigen Kiesen mit unterschiedlichem Sandanteil. Die Mächtigkeit beläuft sich je nach Bohrung auf 4 bis 6 m. Gegen den nordwestlichen Hangfuss zu gehen diese grobkörnigen Ablagerungen stellenweise in mässig durchlässige Sande über.

Unterhalb der Aareschotter ergibt sich bezüglich des Schichtaufbaus kein einheitliches Bild mehr. Geologisch betrachtet drängt sich eine Zweiteilung des Mattequartiers auf (vgl. Abbildung 2):

- Im **oberen Mattequartier** wurden in den bis in Tiefen von 30 m reichenden Bohrungen ausschliesslich quartäre Lockergesteinsablagerungen vorgefunden. Im Liegenden der Aareschotter stehen so genannte **Rückstausedimente** an. Tonlagen, Silt- und Feinsandschichten prägen diese unter niedrigerenergetischen Bedingungen abgelagerten Sedimente. In vier Bohrungen hat man in grösserer Tiefe wiederum fluviatile Kiese angetroffen. Die genaue laterale Verbreitung dieser **tiefer liegenden Schotter** kann nicht abschliessend beurteilt werden.
- Im **unteren Mattequartier** sind die Aareschotter teilweise ebenfalls von Rückstausedimenten unterlagert. Das Besondere ist hier aber das Vorkommen der **Oberen Meeressmolasse**. Die Felsoberfläche steigt entlang der Aare bis auf Koten von 494 m ü.M. an (ca. 5.5 m unter Terrain). Entlang der Mattenenge verläuft eine schmale Kiesrinne (Aareschotter), die in den Fels einerodiert ist<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Mitt. Dr. U. Gruner vom 24.9.2014

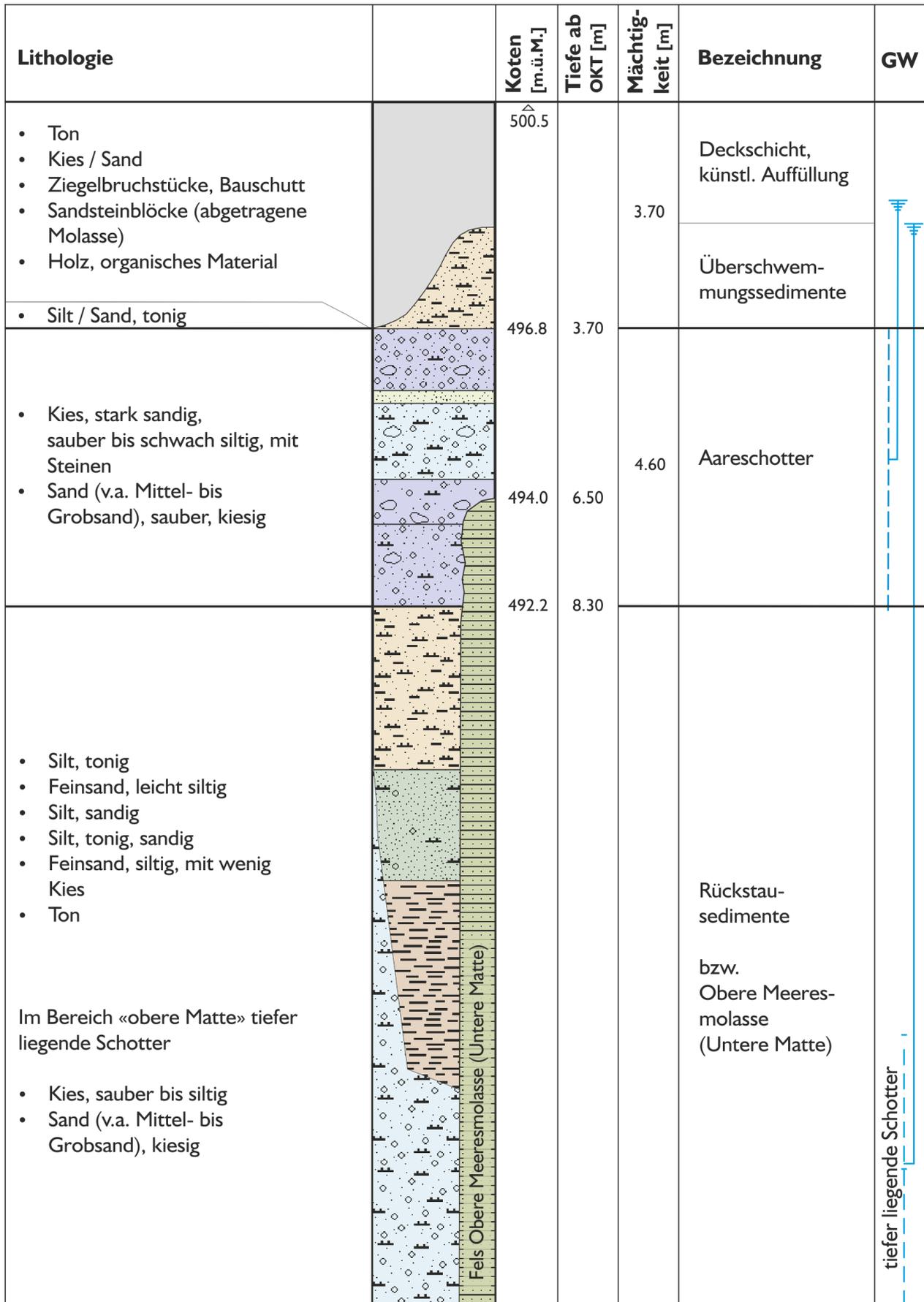
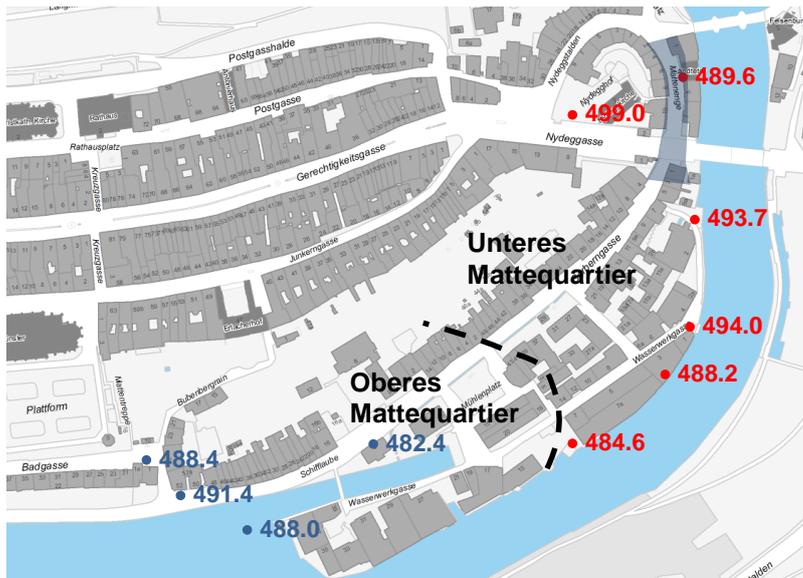


Abbildung 1: Sammelpprofil Matte.



**Legende**

- 494.0 Oberkante Fels (Obere Meeresmolasse)
- 488.0 Oberkante tiefer liegender Schotter (mindestens 5 m mächtig)
- Kiesrinne Matteneuge

Abbildung 2: Aufteilung des Mattequartiers nach geologischen Kriterien.

**1.3.4 Hydrogeologie**

**Planerischer Gewässerschutz**

Die Matte befindet sich im Gewässerschutzbereich B (Abbildung 3). Der Aarelauf ist dem Bereich A<sub>0</sub> zugeordnet. Trinkwasserfassungen von öffentlichem Interesse mit entsprechenden Grundwasserschutz zonen sind keine vorhanden.

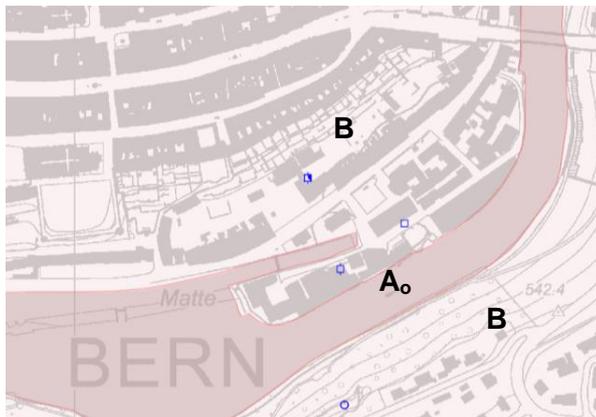


Abbildung 3: Auszug aus der kantonalen Gewässerschutzkarte. Quelle: [6].

**Grundwassernutzungen**

Gemäss der Zusammenstellung des kantonalen Amtes für Wasser und Abfall AWA verfügen im Bereich Matte die nachfolgend aufgeführten Fassungen über eine Konzession. Zudem finden sich gemäss dem 2014 erstellten Inventar von U. Gruner weitere, jedoch nicht konzessionierte Grundwasser-Pumpen im Bereich Matte am linken Aareufer. Diese Pumpen sind allerdings nur im Hochwasserfall im Einsatz (Trockenhaltung von Untergeschossen). Das Inventar der Grundwassernutzungen ist für das Bauprojekt zu aktualisieren.

Tabelle 6: Grundwassernutzungen in der Matte.

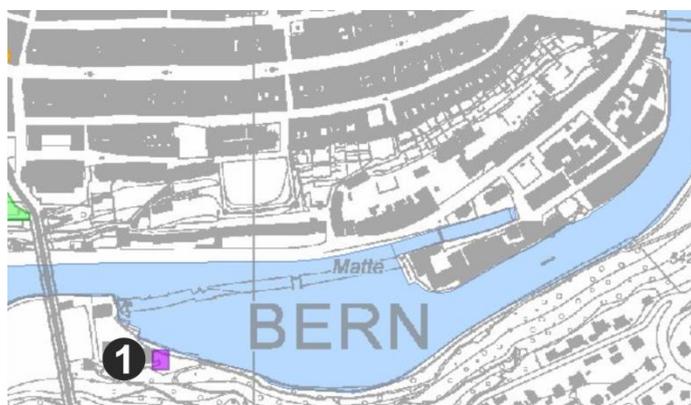
| Lauf-Nr. | Standort            | Ufer   | Koordinaten          | Kategorie                                 | Gewässer    | l/min |
|----------|---------------------|--------|----------------------|---|-------------|-------|
| 832      | Kraftwerk<br>Matte  | Links  | 601'370 /<br>199'490 | Kühlwasser                                | Grundwasser | 100   |
| 1525     | Turnhalle<br>Matte  | Links  | 601'255 /<br>199'555 | Heizen                                    | Grundwasser | 185   |
| 3529     | Gerberngasse<br>13A | Links  | 601'441 /<br>199'614 | Heizen                                    | Grundwasser | 64    |
| 3732     | Aarstrasse 66       | Links  | 600'780 /<br>199'445 | Kühlwasser                                | Aare        | 1'190 |
| 2770     | Bärenpark           | Rechts | 601'524 /<br>199'528 | Nachspeisung<br>Wasserbecken<br>Bärenpark | Grundwasser | 1'200 |

### Kataster der belasteten Standorte

Im Bereich der baulichen Massnahmen ist rechtsseitig der Aare ein belasteter Standort verzeichnet: der Pistolenstand Schwellenmätteli (Standort-Nr. 0351- 0590, Abbildung 4). Er ist gem. Altlastenverordnung AltIV, Art. 8, weder überwachungs- noch sanierungsbedürftig, wurde aber, da er im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht tangiert wird, bisher noch nicht untersucht.

Um die Vorgaben gem. Art. 3 der AltIV zu erfüllen, sind bei der weiteren Planung des Wasserbauprojektes vorhandene Unterlagen zum Standort beizuziehen und allenfalls projektbezogene Abklärungen vorzunehmen. Es gilt eine allfällige Sanierung des Standortes nicht wesentlich durch das Projekt zu erschweren. Falls im Zuge der baulichen Massnahmen belastetes Material zu Tage tritt, ist dieses gemäss Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) zu entsorgen. Es ist in den genannten Untersuchungen darzulegen, ob der Aushubvorgang eine Verschlechterung gegenüber dem Ist-Zustand herbeiführen könnte und falls ja, welches die Gegenmassnahmen wären.

Die Entscheidung über das definitive Vorgehen fällt als Aufsichtsbehörde das Amt für Wasser und Abfall.



Belasteter Standort im Bereich der baulichen Massnahmen:

- ❶ Pistolenstand Schwellenmätteli:  
Schiessanlage  
weder überwachungs- noch sanierungsbedürftig,  
keine Untersuchungen vorhanden,  
Priorität für Untersuchungen bei  
Bauvorhaben / Umnutzung

Abbildung 4: Auszug aus dem kantonalen Kataster der belasteten Standorte. Quelle: [6].

### **Hauptgrundwasservorkommen in den Aareschottern (Aare-Grundwasser)**

Die im Mittel 4.6 m mächtigen Aareschotter bilden den eigentlichen Grundwasserleiter. Die Kiese und Kiessande weisen hohe Durchlässigkeiten auf ( $k_{\infty} = 5E-03$  m/s). Der Druckwasserspiegel des Aare-Grundwassers reicht meist bis in die überliegenden, geringdurchlässigen Auffüllungen. Die Verhältnisse sind somit als halbgespannt bis gespannt zu bezeichnen.

Abbildung 5 zeigt die komplexen Strömungsverhältnisse bei Nieder- und Hochwasserständen auf. Die Speisung des Grundwasservorkommens erfolgt hauptsächlich durch Randzuflüsse, die von der Altstadt ins Mattequartier strömen. Ebenfalls strömt Grundwasser entlang der Aarstrasse in östliche Richtung. Dieses wird zusätzlich durch infiltrierendes Flusswasser gespeist. Die Potenzialdifferenzen zwischen Fluss- und Grundwasser von ca. einem Meter entlang der Aarstrasse und der oberen Schifflaube deuten darauf hin, dass diese Infiltrate relativ moderat ausfallen. Aus hydrogeologischer Sicht sind zwei Gebiete von besonderem Interesse:

- Oberes Mattequartier: Das in den Aareschottern zirkulierende Grundwasser unterströmt den Tych in südliche Richtung und exfiltriert anschliessend in die Aare. Dies gilt sowohl für Nieder-, Mittel- als auch für reguläre Sommerhochwasserstände.
- Unteres Mattequartier: Bei Hochwasserhältnissen werden mehrere Grundwasserpumpen in Betrieb genommen. Die Summe dieser Entnahmemengen erzeugt eine Senke beziehungsweise einen lang gezogenen Absenkrichter. Nachgewiesenermassen sind auch Verluste in undichte Leitungen (inkl. Mattenbach) mit im Spiel. Die Pumpmengen und die Leitungsverluste können zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht quantifiziert werden. Die Senke ist der Grund für eine Infiltration von Aarewasser in den Grundwasserleiter unter Hochwasserbedingungen (bei Niederwasserständen exfiltriert auch hier das Grundwasser in die Aare, bzw. ein Teil strömt entlang der „Kiesrinne Mattenenge“ Richtung Läuferplatz).



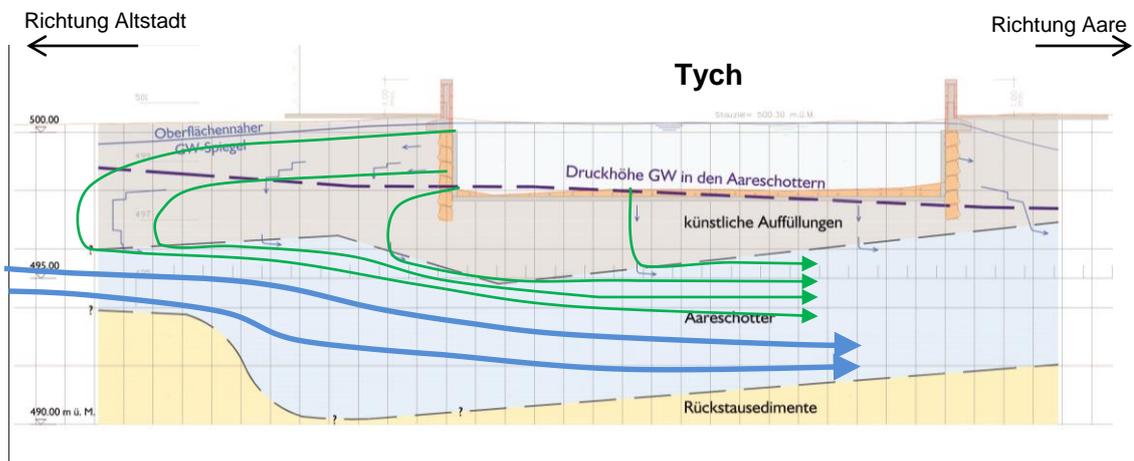
Legende

- ① Wenig Aarewasser infiltriert ins Grundwasser
- ② Das in den Aareschottern zirkulierende Grundwasser unterströmt den Tych
- ③ Grundwasser exfiltriert in die Aare
- ④ Bei Nieder- und Mittelwasser strömt etwas Grundwasser durch die Kiesrinne Richtung Nord
- ⑤ Bei Hochwasser infiltriert in der unteren Matte Aarewasser in den Grundwasser-Leiter
- ⑥ Bei Hochwasser bewirken diverse Pumpen und Leitungsverluste eine Senke

Abbildung 5: Isohypsen des Hauptgrundwasservorkommens in den Aareschottern.

### Sekundäre Grundwasservorkommen

Die **künstlichen Auffüllungen um den Tych** herum sind weitgehend wassergesättigt. Um die genauen Strömungsverhältnisse erfassen zu können, wurden mehrere Bohrungen abgeteuft, die mit Mehrfachpiezometern ausgestattet sind. Jedes einzelne Piezometer erlaubt die Messung des Grundwasserstands in einem bestimmten Tiefenintervall nach dem „Orgelpfeifenprinzip“. Die Ergebnisse zeigen, dass die Grundwasserströmung innerhalb der künstlichen Auffüllungen eine in die Tiefe gerichtete Vertikalkomponente aufweist. Tychwasser sickert durch undichte Wandstellen in die umliegenden künstlichen Auffüllungen. Innerhalb der Auffüllungen strömt das Wasser einerseits weg vom Tych, andererseits sickert es den darunter liegenden Aareschottern zu. Die sich daraus ergebende Unterströmung des Tychs ist hydraulisch nur möglich, wenn die Infiltrate aus dem Tych relativ gering sind. Abbildung 6 zeigt die Kompilation des anhand der Messdaten konstruierten hydrogeologischen Querprofils mit den Ergebnissen der numerischen Grundwassermodellierung (vgl. Kapitel 3.4.1)



#### Legende

-  Strömungspfeile Tychinfiltrate
-  Strömungspfeile „echtes Grundwasser“ in den Aareschottern

Abbildung 6: Darstellung der Unterströmung des Tychs.

Ein weiteres sekundäres Grundwasservorkommen ist in den oben erwähnten, tiefer liegenden Schottern anzutreffen. Das Grundwasser ist gespannt. Die zwischen Ende Juli und Mitte September 2014 erhobenen Loggerdaten (Grundwasserstände und Temperatur) belegen, dass eine nennenswerte hydraulische Verbindung zwischen dem Grundwasservorkommen in den tiefer liegenden Schottern und dem Hauptvorkommen in den Aareschottern ausgeschlossen werden kann<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Mitt. Dr. U. Gruner vom 24.9.2014

### Schwankungsverhalten

Wie aus Abbildung 7 hervorgeht, liegt bei praktisch allen Messstellen im Hauptgrundwasservorkommen eine absolute Parallelität zwischen dem Schwankungsverhalten der Aare und demjenigen des Grundwassers vor. Dies erfolgt unabhängig davon, ob die Aare als Vorfluter wirkt oder (temporär) Aarewasser in den Grundwasserleiter infiltriert. Das Grundwasser weist folglich ein „importiertes alpines Regime“ auf: Die Tiefwasserstände sind im Winter, die regulären Hochwasserstände in den Sommermonaten Juni bis Anfang August zu verzeichnen. In Richtung der nördlichen Begrenzung des Grundwasservorkommens schwächt sich der Aare-Einfluss allmählich ab.

Nur bei wenigen Messstellen ist dieses Grundmuster nicht oder nur beschränkt gültig: Bei sehr hohen Grundwasserständen, wie sie im Sommer 2014 beobachtet wurden, erzeugen Pumpen, die sich in der näheren Umgebung der Messstellen befinden, eine Absenkung oder ein Verharren des Grundwasserstandes auf einer mehr oder weniger konstanten Kote. Grundsätzlich sind jedoch auch diese Messstellen einem „importierten alpinen“ Regime zuzuordnen.

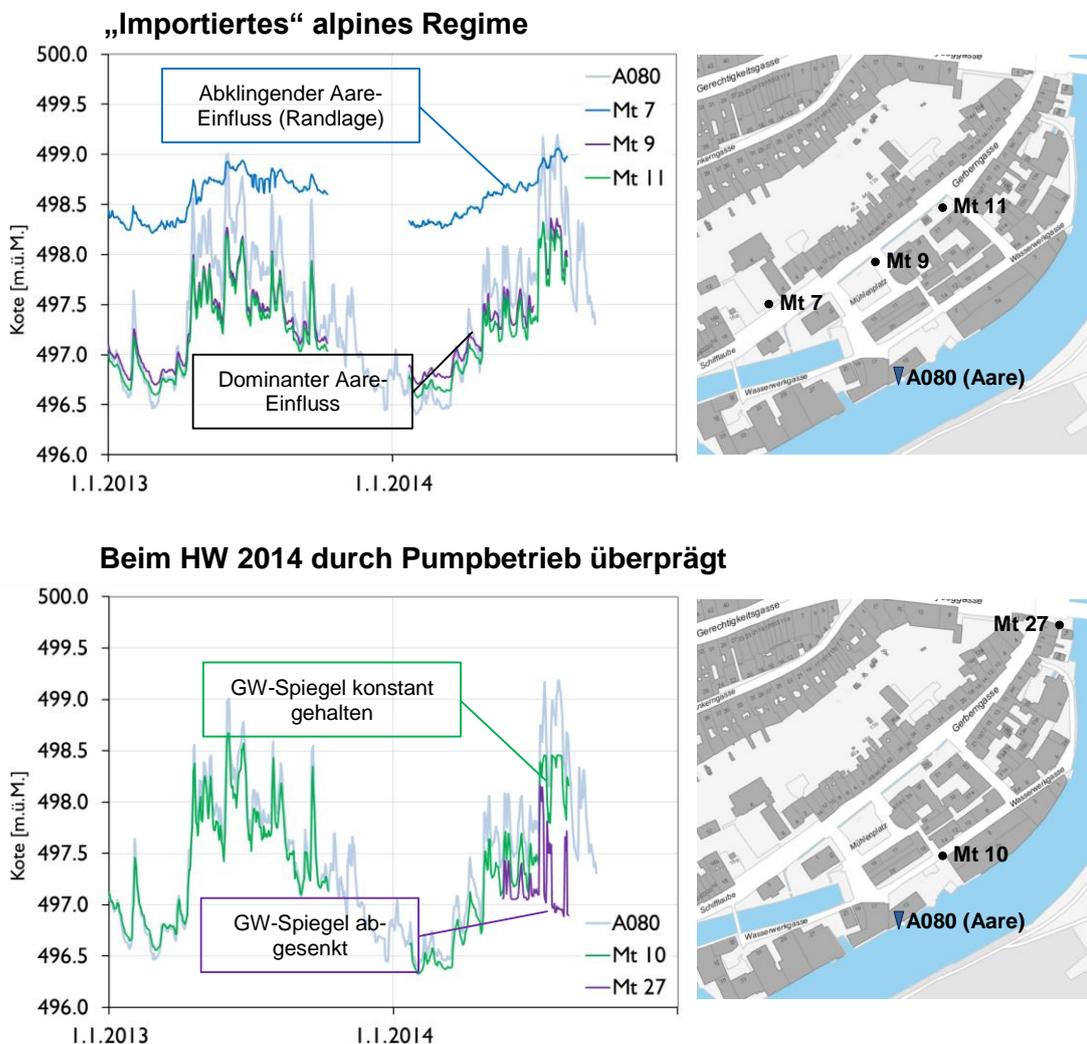


Abbildung 7: Schwankungsverhalten des Grundwassers im Vergleich zum Aarepegel (kantonale Messstation A080-Matte).

## 1.4 Siedlungsentwässerung

Die Siedlungsentwässerung im Bereich Aarstrasse und Matte lässt sich in drei Hauptgebiete unterteilen:

- Teileinzugsgebiet „Matte“ mit:
  - o Sammlung des Schmutzabwassers im Pumpwerk Mattenenge ( $Q_{\text{pump}} = 90 - 100 \text{ l/s}$ ) und Weiterleitung in Richtung Pumpwerk Langmauer
  - o Entwässerung von Regenabwasser über verschiedene Regenwasserleitungen resp. Mattenbach in die Aare (heute bereits nahezu 100% Trennsystemgebiet)
- Teileinzugsgebiet „Aarstrasse“ mit:
  - o Zufluss von Abwasser von Teilgebieten der Altstadt und Drosselung durch 2 Regenüberläufe (RU Aarstrasse und RU Fricktreppe), welche hydraulisch und lagemässig ungünstig sind
  - o Sammlung des Abwassers in der Aarstrasse und Ableitung „gegen Aare-Fließrichtung“ zum Sulgenbachstollen (Beginn Liegenschaft Bundesrain 20, Verwaltungsgebäude des Bundes)
  - o Strassenentwässerung Aarstrasse mit Stichleitungen in Aare
- Teileinzugsgebiet „Weihergasse“ mit:
  - o Zufluss von Abwasser von Teilgebieten der Altstadt und Drosselung durch Regenüberlauf (RU Weihergasse)
  - o Teilweise Trennsystemgebiet mit Direktableitung des Regenabwassers in die Aare

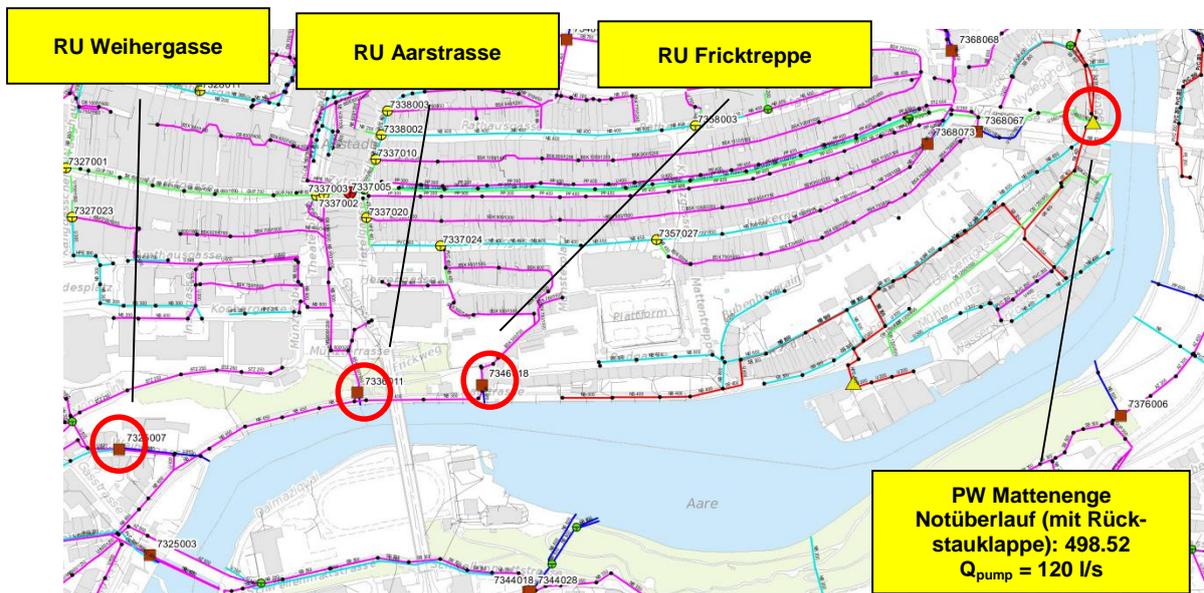


Abbildung 8: Kanalisationsnetz im Abschnitt Aarstrasse und Matte mit Sonderbauwerken.

Durch Entlastungsleitungen der drei Regenüberläufe sowie den diversen Regenabwasserleitungen kann Aarewasser in das Kanalisationsnetz zufließen. Durch den Zufluss von Aare-Wasser werden das Kanalisationsnetz und die ARA zusätzlich belastet. Bei einem Aare-Pegel, welcher höher als das Terrain liegt, kann insbesondere durch die Regenabwasserleitungen Aarewasser in die Umgebung entweichen.

## **1.5 Regionaler Richtplan Aareschlaufen**

Im regionalen Richtplan Aareschlaufen wird empfohlen, den Hotspot Bärenpark in 2. Priorität zu entwickeln.

Die vorgeschlagenen Massnahmen betreffen aufgrund ihrer Lage den HWS Bern nicht.

Der Projektbericht Renaturierung sieht auf der Strecke zwischen Schwellenmätteli und Bärenpark einen strukturierten Blockwurf vor, Um den Biber zu fördern, wird eine flächige Weidenpflanzung sowie im Hinblick auf die Amphibienförderung die Öffnung und Fassung der bestehenden Entwässerungsleitung vorgeschlagen. Diese Empfehlungen wurden im vorliegenden Projekt nicht aufgenommen. Bollensteine und Asthaufen werden im Projekt Parkpflegewerk Englische Anlagen Eingang finden.

## **2 Massnahmenkonzept**

### **2.1 Raumplanerische Massnahmen**

Als Grundlage für die raumplanerischen Massnahmen bei Naturgefahren dienen Gefahrenzonenpläne, welche auf dem Gefahrenkataster und der Gefahrenkarte beruhen. Raumplanerische Massnahmen folgen dem Grundsatz, dass Gefahrengebiete wenn möglich gemieden werden und das Schadenpotential nicht weiter ansteigt. Das Ausmass der Gefährdung hat dabei Auswirkung auf die Nutzungen im betroffenen Gebiet (z.B. Bauverbot im roten Gefahrenbereich / erhebliche Gefährdung). Weiter können sowohl in roten als auch in blauen Gefahrenbereichen (erhebliche bis mittlere Gefährdung) Bauvorschriften für gefährdete Objekte erlassen werden (z.B. erhöhte Zugänge oder dichte Türen, mobile Massnahmen wie Dammbalken).

Die Raumplanung schafft zudem die Grundvoraussetzung, um Gewässern in Zukunft mehr Freiräume zu schaffen, bzw. diese zu erhalten und zu schützen. Anhand der Gewässerräume werden diese Freiräume definiert und sollen Flussaufweitungen und Flussrevitalisierungen in Zukunft ermöglichen.

### **2.2 Gewässerunterhalt**

Gemäss dem Wasserbaugesetz WBG umfasst der Gewässerunterhalt alle Massnahmen, um das Gewässer, die zugehörige Umgebung und die Wasserbauwerke in gutem Zustand zu erhalten. Der Gewässerunterhalt beinhaltet dabei Räumungs- und Reinigungsarbeiten, Erneuerungsarbeiten geringen Ausmasses an Wasserbauwerken, die Pflege und das Ersetzen von standortgerechten Bestockungen und die Pflege von Böschungen und Uferunterhaltswegen.

### **2.3 Warnung, Alarmierung und Notfallplanung**

Im Rahmen des integralen Risikomanagements kommen in den Bereichen Vorsorge, Vorbereitung und Einsatz Notfallplanungen zum Zuge. Darin werden mögliche Ereignisabläufe im Voraus durchgespielt, Erfahrungen dokumentiert und Notfallkonzepte erarbeitet. Durch die Warnung und Alarmierung wird der eigentliche Einsatz mit Rettung, Schadenwehr und Notmassnahmen ausgelöst.

## **2.4 Bauliche Schutzmassnahmen**

### **2.4.1 Erhöhung der Abflusskapazität**

Bei Hochwasserabflüssen der Aare über rund 440 m<sup>3</sup>/s steigt der Wasserspiegel im Projektperimeter über die Ufer. Weil die innerstädtischen und topographischen Randbedingungen der Aare in Bern keine Alternative bieten, kann der Abflussquerschnitt an den meisten Stellen lediglich nach oben mittels Ufererhöhung vergrössert werden. Alternative Massnahmen wie Sohlenabsenkungen (Fischökologie) oder Aufweitungen (Platzverhältnisse) sind nicht möglich, da damit die Stabilität der angrenzenden Bauten und der Flusssohle beeinträchtigt wäre. Die Hochwassersicherheit bis zum Bemessungsabfluss von 600 m<sup>3</sup>/s inklusive Freibord nach KOHS-Empfehlungen bzw. bis zum EHQ-Abfluss von 700 m<sup>3</sup>/s wird folglich durch Ufererhöhungen mittels Ufermauern und Dämmen erreicht.

### **2.4.2 Grundsätzliches zur Abdichtung der durchlässigen Flusssufer und -sohle**

Die durchlässigen Aareufer führten in der Vergangenheit schon mehrfach zu Schäden an umliegenden Gebäuden. Im Hochwasserfall kommt der Wasserspiegel der Aare höher als das umliegende Terrain zu liegen. Eine Schadensbegrenzung/-vermeidung bedingt deshalb einen ausreichenden Abflussquerschnitt, eine möglichst dichte Gerinneberandung (Abbildung 9, V1 – Abdichtung) oder eine Drainage, die den Grundwasserspiegel hinter den Schutzmauern und -dämmen genügend absenkt. Aufgrund des hydrostatischen Wasserdrucks werden ansonsten die Ufer durch- und unterströmt (Abbildung 9, Ausgangslage Ufererhöhung). Die Untergrundbeschaffenheit im Projektgebiet ist sehr inhomogen und reicht von dichten bis sehr durchlässigen, kiesig, sandigen Schichten zu künstlichen Auffüllungen.

Da eine Abdichtung der natürlichen Flusssohle (Variante V1 – Abdichtung, Abbildung 9) in dieser Grösse kaum realisierbar ist und aus Gewässerschutzgründen nicht in Frage kommt, nutzt man bei der Variante V2 – Dichtwand (Abbildung 9) die nächst tieferliegende, natürliche, dichte Schicht (Fels, falls vorhanden oder weniger durchlässige Schichten wie z.B. sog. Rückstausedimente) und bindet die „dichten“ Uferwände darin ein. Die Variante V2 kann bzw. muss durch seitliche Drainagen ergänzt werden. Damit kann Grundwasser abgeführt werden, welches durch die Dichtwand an der Exfiltration in die Aare gehindert wird. In gewissen Abschnitten reicht aber bereits eine Drainage alleine aus, um den Grundwasserspiegel genügend tief zu halten (Variante V3).

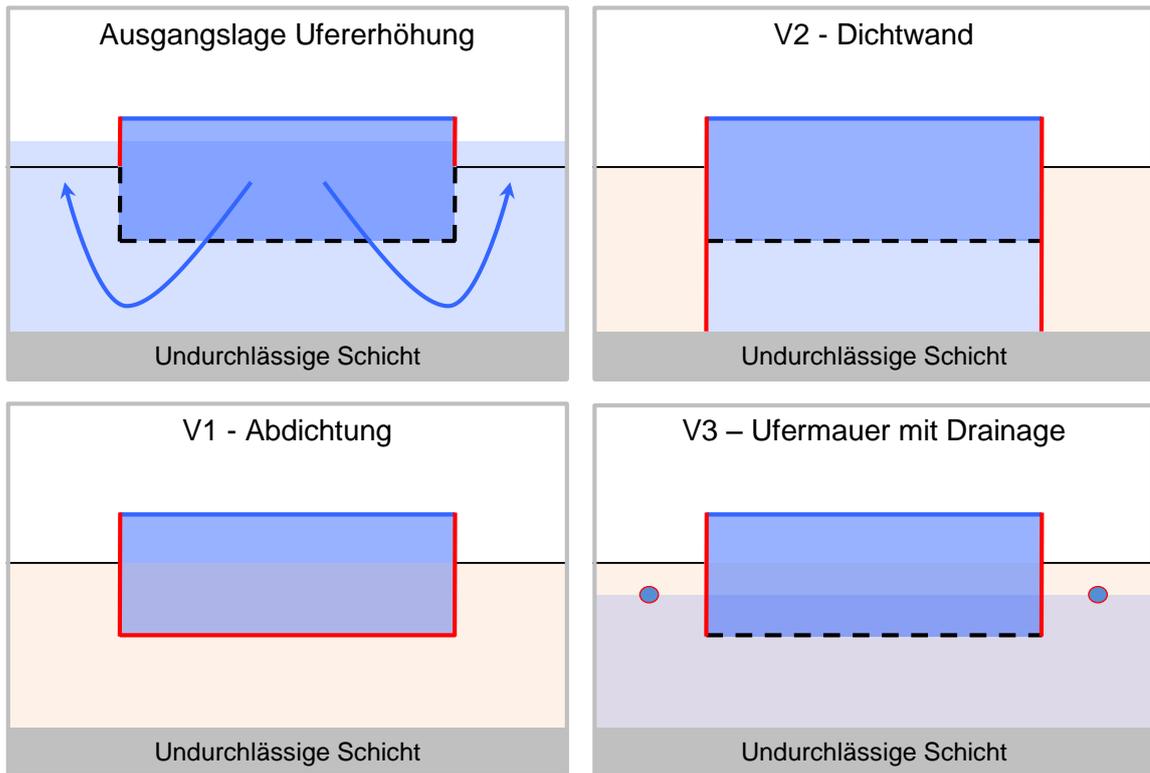


Abbildung 9: Prinzip der Abdichtung (rot: dichte Massnahme).

Die durch grosse Uferdurchlässigkeit bedingten hohen Grundwasserstände während einem Hochwasser können zu einer Gefährdung der Standsicherheit umliegender Bauwerke (Auftrieb und hydraulischer Grundbruch) führen. Mit den obigen Massnahmenvariante V2 und V3 lässt sich diese Beeinträchtigung reduzieren.

Abdichtungsmassnahmen werden aber nur dort vorgesehen, wo dies der Aufbau des Baugrunds erlaubt und wo die Wirkung der Massnahme in guter Relation zu den Kosten steht. Dies ist nur in der Matte im Abschnitt zwischen dem Grundablass der Schwelle und der Nydeggbücke der Fall. In allen übrigen Abschnitten wird auf eine Dichtwand verzichtet und die Absenkung des Grundwasserspiegels landseitig der Hochwasserschutzdämme und -wände geschieht wie erwähnt über ein parallel zur Schutzbaute verlaufende Drainage (Variante 3).

### 2.4.3 Ableitung des Aare- und Hangwassers

In den Abschnitten mit genügend Abstand zwischen Gebäuden und Aare, genügend dichtem Aarebett (z.B. im Tych), vorherrschender Exfiltration oder lediglich geringer Infiltration kann auf eine Dichtwand verzichtet werden. Einerseits sinken dadurch die Kosten und andererseits kann, bei Normalwasserstand der Aare, das allfällige Hangwasser frei in den Vorfluter abfliessen. In diesen Fällen reicht die Anordnung einer landseitigen Drainage (siehe oben). Diese Drainagen in den Abschnitten Gaswerk, Dalmazi, Aarstrasse / Tych, Altenberg und Langmauer werden oberhalb der Mittelwasserspiegel der Aare und damit auch oberhalb des mittleren Grundwasserspiegels angeordnet.

Die Anordnung einer Dichtwand unterbindet die hydraulische Beziehung zwischen Aare und Grundwasser. Damit Grundwasser hinter einer Dichtwand nicht aufgestaut wird und zu Schäden führt, muss dieses durch eine entsprechend dimensionierte Drainage abgeleitet werden. Deshalb wird im vorliegenden Projekt hinter der Dichtwand eine Drainage

angeordnet. Das Drainagewasser muss bei einem Hochwasserereignis in die Aare gepumpt werden. Hierzu sind bestehende Pumpwerke anzupassen und zusätzlich neue Pumpwerke zu erstellen. Bei Niederwasser erfolgt die Ableitung im freien Gefälle, wozu Entlastungsöffnungen mit Rückschlagklappen auf verschiedenen Höhenknoten vorgesehen werden. Das Prinzip ist in Abbildung 10 dargestellt.

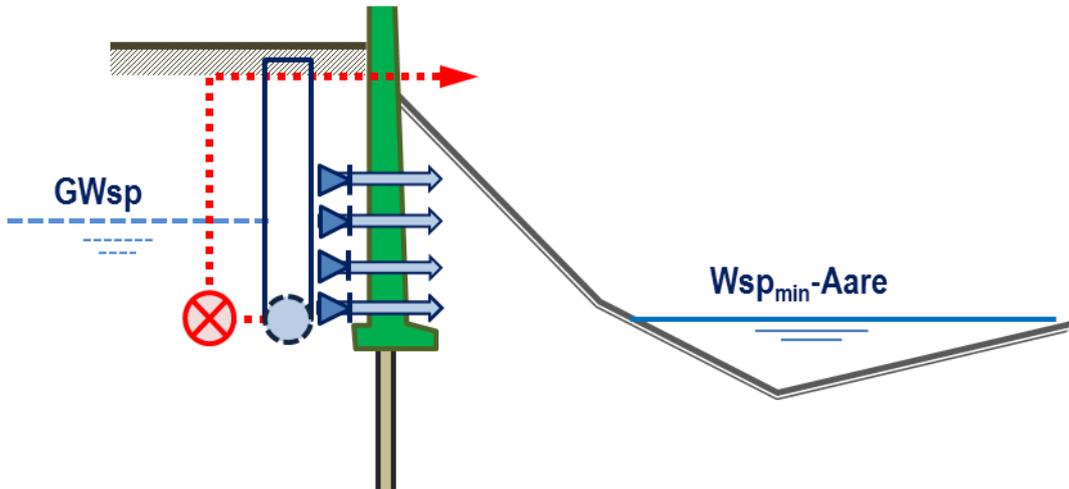


Abbildung 10: Prinzipskizze der Grundwasserdrainage. Blau = Normalsituation wenn Grundwasserspiegel GWsp höher als Aare-Wasserspiegel (Exfiltration des Grundwasser-Trägers in die Aare). Rot = Hochwassersituation.

Die vorgeschlagene Lösung des Grundwasserproblems wurde mit dem Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (GSA, heute AWA) an mehreren Sitzungen in den Jahren 2008 und 2014 besprochen. Sie wird aus heutiger Sicht als machbar beurteilt.

Bis anhin sind keine projektverbindlichen Isohypsenpläne des Grundwassers (für Mittel-, Hoch- und Niedrigwasserstände) erstellt worden. Spätestens angesichts des Bauprojekts müssen solche Pläne, für die genaue Planung von Drainageleitungen oder Einbauten ins Grundwasser ( $A_u$ ) vorliegen. Deren Erstellung ist somit im Rahmen der folgenden Projektschritte zwingend vorzusehen.

#### 2.4.4 Siedlungsentwässerung

Durch die drei Entlastungsleitungen der Regenüberläufe und die diversen Regenabwassersysteme kann Aarewasser je nach Pegel in das Kanalisationsnetz zufließen. Durch den Zufluss von Aarewasser werden das Kanalisationsnetz und die ARA zusätzlich belastet. Je nach Fließverhältnissen von Aare und Kanalisationsnetz besteht das Risiko, dass Abwasser aus dem Kanalnetz in die Umgebung entweicht und Liegenschaften geflutet werden können.

Um auch bei Hochwasser einen sicheren und störungsfreien Siedlungsentwässerungsbetrieb zu gewährleisten, werden die drei Regenüberläufe aufgehoben. Anstelle der beiden RU Fricktreppe und RU Aarstrasse wird ein neuer über Aare-Hochwasser-Niveau liegender Regenüberlauf erstellt. Der RU Weihergasse wird aufgehoben und über Aare-Hochwasser-Niveau neu erstellt.

Bei der Mattenbachmündung wird ein neues Pumpwerk erstellt, welches bei Aare-Hochwasser das anfallende Regenabwasser und Drainageabwasser in die Aare pumpt.

Dafür muss das Regenabwassernetz im Bereich Mattenenge und Wasserwerkgasse angepasst werden. Das übrige Regenabwassernetz kann übernommen werden. Das Strassenabwasser der Aarstrasse wird neu in 2 Sammelleitungen gefasst, wobei eine Sammelleitung an eine bestehende Regenabwasserleitung in der Matte angeschlossen wird und die andere im Bereich Fricktreppe in die Aare eingeleitet wird.

Durch die Dichtwand um die Matte wird das Drainagenetz so konzipiert, dass es den Grundwasserpegel bei einem „heute mittleren Grundwasserstand“ hält. Dafür wird entlang der Dichtwand und der Gerbergasse ein Drainagenetz erstellt. Bei tieferem Aarepegel kann das Drainagewasser im Freispiegel in die Aare geleitet werden. Bei höherem Aarepegel fliesst das Drainagewasser in das Pumpwerk und wird in die Aare gepumpt.

Untersuchungen der Pumpenzyklen des (Schmutzabwasser-)Pumpwerkes Mattenenge haben ergeben, dass dieses bei höherem Aarepegel und somit höherem Grundwasserpegel mehr Betriebsstunden aufweist. Im Hochwasser von Juli 2014 wurde ca. drei Mal so viel Wasser gefördert wie im März 2014 (bei Aare-Niederwasser), obwohl die Untersuchungstage während regenfreier Tage lagen. Es besteht die Vermutung, dass über undichte Leitungen und Sickerleitungen um die Liegenschaften Grundwasser über das Schmutzabwassernetz abgeleitet wird.

## 2.5 Gestaltung

### Entwurfsparadigmen

Um das Projekt Hochwasserschutz zu verstehen, ist es zunächst erforderlich, die gestalterische Qualität der historischen Wasserbaumassnahmen zu erkennen und zu akzeptieren. Eindrückliche historische Referenzen sind beispielsweise im Bereich des Klösterlis und der Untertorbrücke vorhanden. Auch in den anderen Abschnitten der Hochwasserschutzbauten wird mit bereits vielfach vorhandenen, vertrauten Elementen gearbeitet: mit Böschungsmauern, Liegepritschen, Uferwegen etc. Dadurch wird durchwegs eine Verselbständigung der gestalterischen Elemente vermieden.

Die baulichen Eingriffe sind in keinem Fall reine Wasserbaumassnahmen, sondern setzen ausnahmslos Synergien frei. Insgesamt wird über weite Abschnitte des Uferbereichs die Aufenthaltsqualität und Attraktivität des Flussraums gesteigert.

Die Hochwasserschutzbauten sind, obwohl sie gestalterisch auf unterschiedliche Art in Erscheinung treten, ja teilweise "unsichtbar" sein werden, nach einem Gesamtsystem konzipiert. Dieses System bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Variation und Anpassung an kleinräumige Kontexte. Die Idee, die Hochwasserschutzmassnahmen im gesamten Gemeindegebiet nach einem einheitlichen Grundgedanken auszurichten, soll zur ästhetischen Qualität des Projekts beitragen.

### Gestalterisches Weiterentwicklungspotential

Die "harten" gestalterischen Elemente des Hochwasserschutzes sind die Lage der Schutzbauten, ihre ingenieurtechnischen Anforderungen und ihre Dimensionen, konkret die Brüstungshöhe. Die Materialentscheide, die Standorte von Abgängen, Fragen der Detailgestaltung und Bepflanzung können innerhalb eines beträchtlichen gestalterischen Spielraums verfeinert werden; sie sind "weich", modifizierbar, kontextualisierbar. Mit diesen Elementen können nach Bedarf spezifische, kleinteilige Situationen geschaffen wer-

den. Die Modifikationsmöglichkeiten an der Schutzmauer ermöglichen somit eine Vertiefung des Ausdrucks und von Massstabsfragen nach Bedarf.

### **Bewusstsein schaffen**

Aus technischer Sicht bewirken sämtliche Baumassnahmen des Projekts Hochwasserschutz eine verstärkte Trennung zwischen Fluss und Uferbereichen. In der räumlichen Wahrnehmung hingegen wird die Beziehung zwischen Stadt und Fluss intensiviert, indem neue Aufenthalts-, Bewegungs- und Erholungsmöglichkeiten unmittelbar am Wasser geschaffen werden. Dies gilt für die verstärkten Abschnitte der Uferwege und für die Aarstrasse, die als Promenade ausgebaut wird.

Insgesamt wird der Fluss durch seine Präsenz stärker ins Bewusstsein der Bevölkerung gerückt. Das Bewusstsein für seine Qualitäten, aber auch für sein Schadenspotential wird gefördert. Die sinnliche Konfrontation mit den Elementen trägt zur Bewusstwerdung der Klimaproblematik und ihrer Auswirkungen bei. Im Unterschied zu einer Stollenlösung, welche das Problem ausblendet, bietet das Projekt Hochwasserschutz einen baulichen Beitrag zur emotionalen und intellektuellen Bewältigung unserer Gegenwartsprobleme.

## **3 Massnahmenplanung**

### **3.1 Massnahmen Gestaltung / Architektur**

#### **3.1.1 Gestaltungsgrundsätze**

Die Stadt Bern ist unter anderem wegen ihrer gewundenen Aare einzigartig. Das Herumführen der Aare um die Stadt Bern, auch im Hochwasserfall, gehört zum Selbstverständnis dieser, dem UNESCO-Weltkulturerbe angehörenden Stadt. Damit dies in Zukunft für Mensch und Gebäude schadenfrei in voller Dimension erfolgen kann (kein Restwasser wie bei der Stollenlösung), bedarf es einer nachhaltigen Idee, welche die Entwicklungsgrundsätze der Stadt Bern, den differenzierten Schutz der zum Teil erhaltenswerten resp. schützenswerten Gebäudesubstanz, die Personensicherheit, die baurechtlichen Belange, die Gefahrenkarte, die ökologischen Auflagen, die versicherungstechnischen Anforderungen mit dem Natur-, Heimat- und Denkmalschutz in Einklang bringt. Die komplexe Aufgabenstellung wird als Chance verstanden, funktionale, technische und städtebauliche Werte in gewinnbringende Verbindung zu setzen. Im Gegensatz zum Vorprojekt bleibt im vorliegenden Bauprojekt die Zugänglichkeit zur Aare wie heute beschränkt auf wenige Stellen. Die konsequente Zugänglichkeit zum Wasser im Bereich der Matte (Oberer und Unterer Quai) liess sich nicht halten und einer breiten Akzeptanz zuführen. Ausgehend vom heutigen Erscheinungsbild mit einem leicht vor den Gebäuden angesetzten schrägen Blocksatz, beschränkt sich der Hochwasserschutz auf die Erfüllung der funktionalen und technischen Anforderungen, ohne Mehrwert für die Gesellschaft im Sinn einer wieder gewonnenen Zugänglichkeit zum Wasser.

Zwischen dem Marzili und der Matte wird mit der hochwasserschützenden Kalk- und Sandsteinmauer der äusserst attraktive Spazierweg (Quaipromenade) unter Schatten spendenden Bäumen wieder hergestellt. Die Hochwasserschutzmassnahmen wurden abschnittsgerecht bezüglich Quartier- und Stadtbild, Technik und Wirtschaftlichkeit sorgfältig abgewogen. In der Folge wird im Bauprojekt im Dalmaziquartier nur ein reduzierter

Hochwasserschutz vorgesehen. Das Gleiche gilt im Altenberg ab dem Altenbergsteg flussabwärts.

Technische und städtebauliche Interventionen stehen grundsätzlich immer in direktem Zusammenhang mit den Hochwasserschutzmassnahmen. Ob bei der Felsenburg, beim Läuferplatz, entlang der Aarstrasse oder der Langmauer; historische Mauern prägten und prägen den Flussraum in der Stadt Bern. Zahlreiche gestalterisch unkontrollierte, der Not gehorchende Betonmauern säumen zusätzlich den Aarelauf zwischen dem Dalmazi / Marzili-Quartier, der Matte und dem Altenberg. Mit dem Hochwasserschutzprojekt entsteht die Chance, diese unschönen Mauern berntypisch und hochwasserschutzwirksam gestalterisch in das Konzept einzubinden.

Mit den vorgeschlagenen Natursteinen wie Sandstein, Tuffstein, Kalkstein und Granit, wird die selbstverständliche Verschmelzung mit der der Stadt Bern eigene und spezifische Materialisierung angestrebt. Der Steinbearbeitung wird je nach städtebaulicher Wertung im Sinn einer differenzierten Oberflächenbehandlung grosse Beachtung geschenkt. Im Vordergrund stehen stadträumliche, technische, funktionale und nutzungsspezifische Zusammenhänge, welche den augenfälligen architektonischen Kontrast und Effekt ablehnen. Vielmehr wird eine Analogie zu den prägenden, historischen wie aktuellen stadtbestimmenden Elementen von Bern angestrebt.

Jedes Quartier, jeder Flussabschnitt bedarf einer sorgfältigen historischen und technischen Analyse. Darauf aufbauend, wurden abschnittsweise die gestalterischen und technischen Massnahmen für einen nachhaltigen Hochwasserschutz erarbeitet. Im Dalmazi-Quartier und im Altenberg (ab dem Altenbergsteg) zeigte sich aufgrund vertiefter Betrachtungen, dass ein integraler Hochwasserschutz einem vertretbaren Kosten-/ Nutzenverhältnis nicht standhält, jedoch der Faktor Hochwasserstollen Thun zu berücksichtigen ist. Dieser offene Projektierungsprozess, unter Mitwirkung aller Instanzen wie auch der direkt betroffenen Bevölkerung, prägte diese Entwicklungsarbeit, welche auch im weiteren Verlauf verfeinert und präzisiert werden wird.

### **Bern ist eine Stadt an der Aare**

Die wirtschaftliche Entwicklung von Bern ist bis ca. 1860 (Inbetriebnahme der Eisenbahn) untrennbar mit der Aare verbunden. Grosse Anlegestellen und Werkplätze an der Schifflaube und unterhalb der Marmorsäge waren eindruckliche Warenumsschlagplätze für die bedeutende Schifffahrt.

Während in den Quartieren Marzili, Dalmazi, Altenberg und Langmauer der direkte Zugang zum Wasser noch heute für alle möglich ist und entsprechend genutzt wird, haben in der Matte erst ab ca. 1890 direkt an die Uferkante der Blocksatzverbauungen gebaute Gewerbehäuser diese Tradition verbaut. Wo noch bis in das 20. Jahrhundert grosszügige Umschlagplätze für den Warenumsschlag direkt am Wasser lagen, wo auf dem "Inseli" parkähnliche Gärten direkt am Wasser der Öffentlichkeit zugänglich waren, verwehren heute private Gewerbe- und Wohnbauten mit privatisierten Aussenräumen dieses öffentliche Interesse des allgemeinen Zugangs zur Aare. Auch entlang der Aarstrasse ermöglichten Maueröffnungen den direkten Zugang zum Wasser.

Die aus technisch-pragmatischen Folgerungen geborene Idee des Hochwasserschutzes "direkt am Wasser", generiert das Potential, das Wasser, die Aare, auch in der Matte und bei der Aarstrasse der Bevölkerung wieder zugänglich zu machen und verstärkt in die

Wahrnehmung zu rücken. Damit verbunden war eine Stufung der Hochwasserschutzmassnahme in räumlich differenziert wahrnehmbare Schichten.

### **Häuser am Wasser**

Diverse ausgewählte Häuser stehen in Bern im Wasser. Der Pulverturm, das Pelikanhaus, die Gebäude in der Mattenenge und die Felsenburg sind die wichtigsten Beispiele dafür. Die Konzeption des Hochwasserschutzes respektiert und integriert diese Sonderstellungen als bereichernde Differenzierungen innerhalb des Flussraumes. Diese Gebäude verfügen ihrer Exponierung entsprechend über die notwendige Robustheit zur Aufnahme der Abdichtungsmassnahmen an und in ihrer Bausubstanz.

### **Sandstein - Kalkstein - Tuffstein - Granit**

Ein differenzierter Blick in die Stadtmauern legt offen, dass Bern von einer Vielzahl verschiedener Natursteine geprägt ist. Tuffstein, Granit, Kalkstein und Sandstein in verschiedensten Varianten kamen aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften, aber auch wegen den zeitabhängigen Transportmöglichkeiten zum Einsatz.

Vorgesehen ist die Anwendung der bernotypischen Natursteine entsprechend ihrer Eigenschaften. Im Vordergrund stehen Berner Sandstein, Solothurner Kalkstein, Oberländer Kalkstein, aber auch Granit und Tuffstein. Die genaue Spezifikation der Steinsorten und welche Steinbrüche zum Einsatz kommen, wird Gegenstand genauerer Abklärung in den nächsten Projektphasen sein. Je nach städtebaulicher Exposition erfahren die Natursteinmauern eine differenzierte Oberflächenbeschaffenheit. Insbesondere in der Matte wird eine raue, uneinheitliche Struktur des Sandsteins angestrebt. Toni P. Labhart konnte als Berater und Begleiter für den Evaluationsprozess der Natursteine gewonnen werden.

Im Rahmen des Vorprojektes wurde die durchgängige, quartierübergreifende Materialisierung in den bernotypischen Natursteinen in Frage gestellt. Bei der Dampfzentrale, im Marzili und bei der Felsenburg sind im Bauprojekt die Schutzmauern in Beton vorgesehen. Im Bereich Schwellenmätteli sind die Schutzmassnahmen in Beton bereits erfolgt. Obwohl in Bezug auf die präferierte Materialisierung der Hochwasserschutzmauern immer auf den städtebaulichen Kontext hingewiesen wird, wird dennoch in Diskussionen immer wieder die Frage aufgeworfen, ob dennoch Mauern in hochwertigem Beton anstelle von Sandstein möglich wären. In der Folge wurden daher die beiden Mauertypen einander gegenübergestellt (vgl. Tabelle 7) und nebst den städtebaulichen und ästhetischen Aspekten auch noch mit weiteren Kriterien wie z.B. Lebensdauer, Unterhalt etc. verglichen. In der Gesamtbetrachtung kann festgestellt werden, dass auch in der vertieften Prüfung die Vorteile des Sandsteins gegenüber dem Beton mehrheitlich überwiegen.

Tabelle 7: Argumentation Materialisierung der Mauern. Farbcodierung: grün = positiv, gelb = negativ.

| Beschrieb   | Sandstein / Sandsteinmauer  | Hochwertiger Beton  |
|---|---|---|
| Herkunft / Produktion                                   | Ostermundigen   | Agglomeration Bern  |
| Kapazität / Vorrat                                      | Unbeschränkt  | Unbeschränkt  |
| Liefersicherheit  | Frühzeitige Bestellung und Vorlaufzeit für Produktion nötig, danach Lieferung auf Abruf.  | Keine Vorlaufzeit, Lieferung auf Abruf.   |
| Transporte  | Die Quadersteine können als volle Ladung antransportiert und im Umschlagplatz zwischengelagert werden. Das gibt je nach Örtlichkeiten Zwischentransporte mit Dumper oder Pneulader.   | Unter dem Strich ist der Transportaufwand bei Beton oder Quadersteine etwa Vergleichbar, evtl. bei Betonmauer eher grösser, da Armierung und Schalung zusätzlich zum Beton auch Transporte verursachen.   |
| Erstellungsdauer vor Ort                                | Ab Foundation = zügiger Fortschritt (in ca. 20 Tagen 100 m Mauer bei 1 m Höhe und guter Zugänglichkeit). Der Fortschritt kann durch mehrere Baugruppen beliebig erhöht werden.  | Längere Vorbereitungszeit (Schalung, Bewehrung, Ausschalung, etc.) und je nach Bauablauf eventuell leicht längere Erstellungsdauer als mit Sandsteinblöcken.  |
| Lebensdauer   | Weit über 100 Jahre   | 60 – 80 Jahre   |
| Unterhalt   | Erfahrungsgemäss keinen Unterhalt, nach ca. 20 Jahren Kontrolle der Fugen und eventuell ausbessern. Bei mechanischer Beschädigung sanierbar und danach kaum sichtbar, schöner Alterungsprozess.   | Kein Unterhalt (Abplatzungen durch Frosteinwirkung möglich).<br>Bei mechanischer Beschädigung sanierbar, Reparatur bleibt jedoch sichtbar. Alterungsprozess aus ästhetischer Sicht eher problematisch.  |
| Life-Cycle  | Ressourcenschonend, wiederverwendbar, anpassungsfähig. Ergänzungen allgemein und insbesondere in der Höhe ohne grosse Aufwendungen und Zusatzkosten möglich. Korrekturen und Ergänzungen innert kürzester Zeit nicht mehr sichtbar.   | Recycling teilweise wiederverwendbar. Anpassungen und Ergänzungen unter grossen Aufwendungen und Zusatzkosten möglich. Meist stehen Abriss und Neubau im Vordergrund. Korrekturen und Ergänzungen bleiben sichtbar und sind somit ästhetisch unbefriedigend.  |
| Frostsicherheit   | frostsicherer Sandstein (hoher Quarzitgehalt)   | frost-tausalzbeständiger Beton  |
| Konstruktion und Statik                                 | Gut   | Sehr gut  |
| Graffitienschutz  | Ja  | Ja  |
| Wettbewerbssituation Anbieter                           | Wettbewerb leicht eingeschränkt (wenig Steinbrüche)   | Keine Wettbewerbseinschränkung  |
| Kosten (Bereich Matte und Aarstrasse, exkl. Fundamente) | Total Fr. 18'530'000.--   | Total Fr. 15'250'000.--   |
| Gestaltung / Städtebau                                  | Die Sandsteinmauern <b>nehmen Bezug</b> zur Stadt Bern, welche vorwiegend aus Sandstein gebaut ist. In <b>vergleichbaren Städten</b> wie z.B. in Hamburg wurden die Mauern für den Hochwasserschutz in für diese Stadt typischen Bricks erstellt. In Bern stehen in <b>unmittelbarer Nähe</b> der neuen Mauern bestehende Gebäude und Mauern aus Sandstein. An vielen Stellen befanden sich schon früher <b>Wehr-Mauern</b> aus Sandstein. Zeugen als Relikte sind noch vorhanden. Die neuen Sandsteinmauern werden im <b>städttebaulichen Kontext</b> nicht als Hochwasserschutzmassnahmen gelesen, sondern als <b>Quaimauern, Sitzelemente im Park, Gartenmauern</b> verstanden. Sie werden zu wohltuenden und nutzbaren <b>Gestaltungselementen im öffentlichen Raum</b> . Es entsteht für die Stadt über den Schutz hinaus ein überzeugender <b>Mehrwert</b> . Die Schutzmassnahmen sind einem „ <b>Jahrhundert-Bauwerk</b> “ gleichzusetzen. Sie müssen auch nach 50 und mehr Jahren in gestalterischer Hinsicht überzeugen und ein selbstverständlicher Teil der Stadt Bern sein. | Betonmauern werden hauptsächlich als ein <b>funktionales Element</b> gelesen wie z.B. jenes einer Stützmauer. Bei einer <b>freistehenden Betonmauer</b> stellt sich die Frage der Funktion und Gestaltung sofern kein Hochwasser besteht. Als ein gestalterisches Element, im schönsten Kleid, kann sie nicht erklärt werden, da der <b>Bezug zur näheren Umgebung fehlt</b> . Im Endbereich des Tychs wird die heute bestehende Betonmauer als Hochwasserschutz gelesen. Doch als <b>Gestaltungselement</b> vermag sie nicht zu überzeugen. Zurzeit stehen vieler Orts einzelne Betonmauern, welche einst als Sofortmassnahmen gegen das Hochwasser erstellt wurden. Sie wirken störend und <b>abweisend</b> . Alleine die Länge der Matte und der Aarstrasse beträgt <b>über 1.4 km</b> . Dies alles in Beton? Vom gegenüberliegenden Ufer her betrachtet und je nach Wasserstand ist die Mauer über <b>3 m hoch sichtbar</b> . Es handelt sich also beim Hochwasserschutz <b>nicht um punktuelle Eingriffe</b> sondern um <b>zusammenhängende, weit ausgedehnte Massnahmen</b> , welche das gewohnte <b>Bild des Aareraumes und jenes der Stadt</b> massgeblich beeinflussen werden. Ob das Jahrhundertbauwerk in Beton nach 10, 50 Jahren endlich Teil der Stadt werden kann wird stark bezweifelt. |

## Ökologie

Innerhalb der begrenzten Möglichkeiten im urbanen Raum wird den ökologischen Aspekten grosse Beachtung geschenkt. Im Besonderen im Gaswerkareal wird die Möglichkeit zu grösseren ökologischen Ausgleichsmassnahmen genutzt. Die begradigten Ufer werden aufgebrochen, um der Aare wieder mehr Raum zu gewähren. Im Bereich der Englischen Anlagen kann in beschränkter Masse durch die Abflachung der Ufer eine ökologische Aufwertung erzielt werden.

Den Kiesbänken in der Matte, beim Inseli und im Bereich Wasserwerkergasse wird grosse Beachtung geschenkt. Insbesondere der wichtige Äschenlaichplatz wird in gleicher Dimension aufrechterhalten. Auch die Kiesbänke im Altenberg bleiben erhalten. Im Bereich Aarstrasse werden neue Baumreihen vorgeschlagen. Die bewachsenen Uferpartien in den Bereichen Dalmazi, Marzili, Altenberg und Englische Anlagen bleiben wo immer möglich erhalten.

Dort wo der Uferverbau und die Ufersicherung erneuert werden müssen, kommt eine bernspezifische Kombination aus Blocksatz (Trockenmauer mit offenen Fugen) und Blockwurf mit Nischenverbauungen in Holz für den Rückzug der Fische zur Anwendung. In einer engagierten Auseinandersetzung mit den städtebaulichen (UNESCO-Weltkulturerbe) und ökologischen Anforderungen konnte eine ortsspezifische Lösung erarbeitet werden.

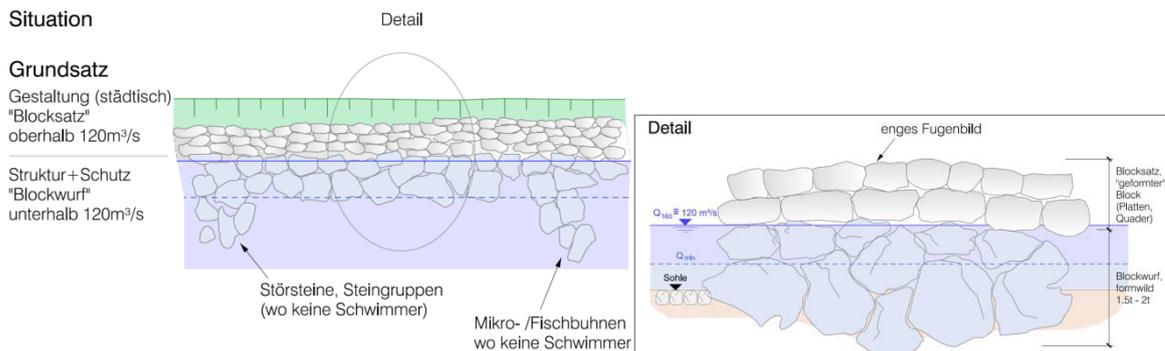


Abbildung 11: Prinzipskizze Aareufer Bern.

## Gestaltungsregeln

- Die einzelne Gebäudesubstanz wie auch das Gebäudeensemble (Matte) wird integral als Ganzes geschützt.
- Der Hochwasserschutz wird direkt bei der "Quelle" gewährleistet.
- Abdichtungsmassnahmen an Gebäuden kommen in der Mattenenge, in den Bereichen Langmauer (Pelikanhaus) und Felsenburg zur Anwendung.
- Von der Stadtseite sind Brüstungsmauern nie höher als 1 Meter erlebbar.
- Die direkte öffentliche Zugänglichkeit zum Wasser wird mittels temporär verschliessbarer Öffnungen gewährleistet.
- Mit dem politischen Entscheid (SRB 2012-611) wurde beschlossen, in der Matte die Mauer um die Freibordhöhe zu reduzieren.
- Als sichtbare Materialien kommen bernstypische Natursteine (Sandsteinquader, Tuffstein, Kalkstein, Granit) sowie Beton im Marzili und bei der Felsenburg zum Einsatz.

- Neue Uferverbauungen werden im oberen Teil in Blocksatz (schräge, offenfugige Trockenmauer in Naturstein), im unteren Teil in kleinmassstäblichem Blockwurf mit integrierten Holzverbauungen ausgeführt.

### 3.1.2 Umsetzung Gestaltung

#### L4 - Aarstrasse

Das Schwanenmätteli bleibt mit seinem wertvollen Baumbestand erhalten. Der Hochwasserschutz verläuft als freistehende Sandsteinmauer von der Dalmazibrücke entlang des Gehweges bis an das östliche Ende der Parkanlage. Bestehende Durchgänge bei den Wegen werden mit mobilen Hochwasserschutz-Einrichtungen versehen. Auf diese Weise kann das Schwanenmätteli im Hochwasserfall überflutet werden. In der Fortsetzung wird die Hochwasserschutz-Mauer entlang der Strasse bis zum Tych geführt. Nach dem Rückbau der Trottoirauskragung wird, in Anlehnung an die 1885er-Jahre, auf historischen Kalkstein-Fundamenten die Sandsteinbrüstung entlang der Aarstrasse wieder hergestellt. In regelmässigen Abständen sind Not-Ausstiegsmöglichkeiten vom Wasser mit neuen Treppenleitern vorgesehen.

Mit dem Wegfall der Trottoir- resp. Strassenbegrenzung entsteht eine attraktive Promenade zwischen dem Marzili und der Matte. Nur 3 cm hohe Randsteine markieren die funktionalen Bereiche des Strassenquerschnittes. Eine Baumreihe in einem durchgehenden Kopfsteinpflasterstreifen spendet Schatten und stärkt die nunmehr die Fussgängerinnen und Fussgänger priorisierende Aare-Promenade. Der Beginn der Baumreihe beim Waschhaus ist so angesetzt, dass Interventionen der Feuerwehr und der Zugang für die Schwemmholzentnahme sichergestellt sind. Die Verbindung Matte - Badgasse - Schlängeler - Casino - Marzili - Dalmazi erfährt durch die neue Promenade eine erhebliche städtebauliche Aufwertung. Diese Arbeiten erfolgen im Rahmen eines separaten Drittprojekts und sind nicht Gegenstand des aktuellen Projekts.

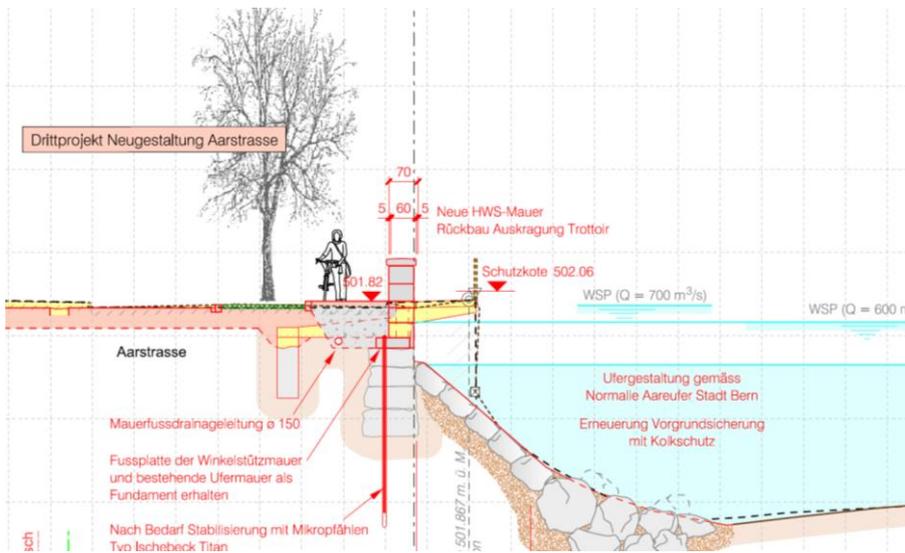


Abbildung 12: Auszug aus Beilage B.3.3 bei km 28.740 mit Drittprojekt Neugestaltung Aarstrasse.

#### L5 - Tych

In Fortsetzung der Aarstrasse wird die robuste Sandsteinbrüstung um den Tych geführt. Die Brüstung wirkt als standfeste Barriere und verhindert die direkte Durchströmung des Mattequartiers, wie es 2005 in voller Wucht und Geschwindigkeit geschehen ist. Die Wanne des Tychs aus gemauertem Kalkstein inkl. des gestuften Kronenabschlusses

bleibt erhalten. Die Sandsteinmauer setzt in Analogie zur Aarstrasse direkt auf dem Strassenniveau an. Zusammen mit den Brunnenanlagen entstehen rund um die solitären Matteschulhäuser stimmige Platzanlagen mit Kopfsteinpflaster. Die heute in Beton provisorisch geschützte Rechenanlage zur Entnahme von Schwemmgut wird in gleicher Grösse in Sandstein neu aufgebaut. Das hochwassersichere Schiebeter bleibt im Normalfall geschlossen und kann temporär für die Ver- und Entsorgung geöffnet werden. Die linke Seite der Tych-Mauer wird in Bezug auf Überlast tiefer als auf der rechten Seite ausgebildet.

Der bestehende Tychsteg wird integral angehoben. Aus der Sandsteinmauer heraus wird zur Höhenüberwindung analog den vor Ort angetroffenen Materialien beidseitig eine Treppenanlage in Granit ergänzt.

### **L6 - Matte**

Ausgangslage der Projektidee bildet eine über Jahre entstandene, interaktive Zusammenarbeit aller am Projekt beteiligten Amtsstellen und Planer sowie nicht unmassgeblich der ENHK (Eidgenössische Natur- und Heimatschutzkommission) und der EDK (Eidgenössische Denkmalschutzkommission). Der Prozess war geprägt vom Ringen um das für Bern spezifische Verhalten im Umgang mit den hohen Auflagen an das Stadtbild (UNESCO Weltkulturerbe) und nicht weniger wichtig an die Ökologie.

Im Grundsatz besteht die Bernspezifische Hochwasserschutzmassnahme für die Matte in einem vierteiligen Aufbau:

- bis auf die Kote 120 m<sup>3</sup>/s (= Q<sub>160</sub>, Niedrigwasserstand im Sommer) wird mit einem moderaten Blockwurf mit Kalksteinen den ökologischen Anliegen konsequent Rechnung getragen. Nischen aus Holz bieten den Fischen Unterschlupf und Rückzug.
- Ab der Kote von 120m<sup>3</sup>/s bis auf ca. 450m<sup>3</sup>/s trägt eine schräge, graue Kalkstein-Trockenmauer mit offenen Fugen, gemäss den heute in Bern typischen Uferverbauungen den städtebaulich- denkmalpflegerischen Anforderungen an ein homogenes Stadtbild Rechnung. Spontane Vegetation nistet sich sukzessive in den schrägen Mauern ein.
- Die schräge Trockenmauer schliesst an die nunmehr gegenüber dem Vorprojekt wesentlich reduzierte Hochwasserschutzmauer aus Sandstein an, welche einen kleinen Teil der Dichtwand zeigt. Der Abschlussstein ist seitlich bündig mit den Mauern ausgebildet, oben nach aussen abgeschrägt. Als Material ist oberhalb der Wasserlinie eines Abflusses von ca. 250 m<sup>3</sup>/s ebenfalls Sandstein vorgesehen, im Bereich der ständigen Wasserstandschwankungen kommt Kalkstein zum Einsatz.
- Mobile Massnahmen in Form von systemgarantierten Dammbalkensystemen vervollständigen im Hochwasserfall ad hoc und temporär das Dichtsystem. Die inneren Hülssen zur Aufnahme der vertikalen Pfosten des Dammbalkensystems werden in der Mauerkrone bündig eingelassen.

Geometrisch referenziert sich die Hochwasserschutzmassnahme in der Matte an den vom Regierungsrat 1889 genehmigten Uferverbauungsplan. In klarer gerader, resp. gebogener Form begründete die heute noch gut erkennbare Uferverbauung die städtebauliche Entwicklung des Gewerbequartiers der Matte.

Pragmatisch wird die Mauer resp. die Bohrpfahlwand dort angesetzt, wo sie technisch mit angemessenem Aufwand effizient errichtet werden kann. Mit einem Abstand von

2.5 m zu den zum Teil fragilen Bauwerken ist die minimale Distanz für die technischen Bohrgeräte gegeben. Die 2.5 m stellen ebenfalls die von der Feuerwehr geforderte minimale Zugangsbreite für Interventionen und die Montage der mobilen Dammbalken dar. Damit wird ein integraler Schutzgedanke verfolgt, welcher die Infrastruktur, die wertvolle Gebäudesubstanz (inkl. Gründung), das unter Schutz stehende Ensemble des Gewerbequartiers und nicht zuletzt die Menschen vor den unmittelbaren Gefahren des Hochwassers, aber auch vor den mittel- und langfristigen, schleichenden Schäden an der Gebäudesubstanz schützt. Im Raum zwischen der Mauer und den Häusern werden in abschliessbaren Behältern (System Felsenau) die örtlichen Lager für die Dammbalken platziert.

Wo heute keine ausreichend hohe Mauern bestehen werden diese bis auf die Wasserspiegelhöhe von  $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$  fix ausgebildet. Dies hat zur Folge, dass die restliche Höhe mit mobilen Massnahmen ergänzt werden muss. Eine umfangreiche Analyse im Rahmen des Bauprojektes hat aufgezeigt, dass eine durchgehende Mauer auf  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  sinnvoll, kostengünstiger und für die Sicherheit empfehlenswert ist.

Seit jeher nehmen die Teile um den Brückenkopf bei der Untertorbrücke Sonderstellungen direkt am Wasser ein. Unverändert soll der charakteristische stadtseitige Brückenkopf bei der Untertorbrücke bleiben, die Häuser in der Mattenenge sollen nach wie vor direkt am Wasser stehen. Entsprechende Abdichtungsmassnahmen können aufgrund der neuzeitlichen Bausubstanz (1960er-Jahre) direkt an und vor den Betonwänden (unter Wasser) vorgenommen werden.

### **R3 - Matte rechts inkl. Untertorbrücke**

Auf der rechten Uferseite von der Dalmazibrücke bis zur Untertorbrücke wird neben den wasserbaulichen Massnahmen zur Sanierung und ökologischen Aufwertung der Ufer mit zwei lokalen Gestaltungsmassnahmen der Hochwasserschutz erreicht. Im Bereich des Schwellenmättelis wird bereits eine neue Ufermauer erstellt. Die Mauer verläuft ab der Kirchenfeldbrücke bis zur Schwelle entlang des Ufers an der Böschungskante. Die Mauer ist für einen Schutz bis zu einer Wassermenge von  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (ohne Freibord) ausgelegt. Bei Ereignissen über diesem Wert bieten Massnahmen an den einzelnen Gebäuden den nötigen Schutz.

Bei der Felsenburg wird das Motiv der bestehenden Balustrade als Gestaltungselement für den Hochwasserschutz zwischen der Untertorbrücke und der Nydeggbücke verwendet. Als geschlossene Brüstung, aber mit dem Relief der Balustrade beziehen sich die Betonteile zu der historischen Gegebenheit wie auch zu der neuzeitlichen Betonmauer in sandgestrahltem Beton. Nur ein kleiner Teil (groses Erdgeschossfenster) direkt bei der Untertorbrücke bedarf einer Objektschutzlösung. Zwischen Felsenburg und Nydeggbücke wird die Betonmauer purifiziert, ohne "Kassetten und ohne Mauerpfeiler ausgebildet.

Das Projekt "Uferweg BärenPark - Schwellenmätteli" nicht Bestandteil des vorliegenden Projektes.

## **3.2 Variantenstudien und Entscheide**

### **L4 - Aarstrasse**

Im Bereich der Aarstrasse wird die bestehende Ufermauer saniert und die Auskrabung rückgebaut. Darauf schützt eine freistehende HWS Mauer den flussabgewandten Be-

reich. Die punktuellen Zugänge / Notausstiege sind als massive Treppenabgänge mit einem Tor vorgesehen. Im Vergleich zum Vorprojekt [3] sind die Anpassungen im Rahmen der Überarbeitung des Vorprojektes sowie bei der Ausarbeitung des Wasserbauplanes im Bereich L4 gering. Die massiven Treppenabgänge wurden durch Leitern ersetzt, das Tor entfällt dadurch. Die Gestaltung der Aarstrasse ist nicht Bestandteil des Wasserbauplanes „Gebietsschutz Quartiere an der Aare“.

### **L5 - Tych**

Der Tych wird gleich wie schon im Vorprojekt [3] mit einer massiven Natursteinmauer umrandet und abgedichtet. Am Ende des Tychs werden die Mauern nicht wie im Vorprojekt direkt am Wasser durchgeführt, sondern hinter den Anlagen des Kraftwerkes. Die rückwärtige Öffnung für den Unterhalt der Anlagen wird mit einem dichten Schiebetor ausgebildet, welches im Normalfall geschlossen ist. Gleich wie im Vorprojekt ist eine Anhebung des Tychstegs vorgesehen. Im Gegensatz zum Vorprojekt [3] wird auf eine Dichtwand verzichtet. Zudem wird die linke Seite der Tych-Mauer tiefer ausgebildet als die rechte Seite (Überlast).

### **L6 - Matte**

Im Vergleich zum Vorprojekt [3] haben sich im Rahmen der Abklärungen zu Alternativlösungen in der Matte [4] sowie Überarbeitung im Rahmen des Wasserbauplanes diverse Anpassungen ergeben. Die wichtigsten Anpassungen seit dem Vorprojekt sowie im Rahmen der Mitwirkung sind nachfolgend aufgelistet:

- Hochwasserschutzmauer bis auf die Höhe des Wasserspiegels des Dimensionierungsszenarios (600 m<sup>3</sup>/s). Die verbleibende Höhe zwischen der Wasserspiegellage und der Schutzkote wird mit mobilen Massnahmen gesichert, welche in der Nähe gelagert werden. Diese mobilen Massnahmen sind überall dort vorgesehen, wo die bestehende Mauer nicht bereits bis auf die Schutzkote reicht.
- Für den ganzen Abschnitt Matte wird ein vollständiger Schutz bis und mit HQ<sub>300</sub> sichergestellt (Arealchutz). Dadurch können nach Fertigstellung der Massnahmen bei Bauvorhaben im blauen Gefahrenbereich die mobilen Massnahmen entlang der Aare bei baulichen Auflagen berücksichtigt werden.
- Die Mauern werden aus Naturstein ausgebildet.
- Ufergestaltung mit ökologisch gestaltetem Bereich unterhalb 120 m<sup>3</sup>/s und oberhalb mit urban gestaltetem Verbau.
- Bohrpfahlwand erst unterhalb Wasserwerksgasse 35 und mehrheitlich nicht bis auf den anstehenden Fels reichend.
- Kein öffentlich zugänglicher Mattequai.

### **R3 - Matte rechts**

Im Vorprojekt [1] sowie in der Mitwirkung [5] war unterhalb der Schwelle eine Ausweitung des Aareraumes vorgesehen. Aufgrund der Rutschproblematik wird auf diese Ausweitung verzichtet und nur der Uferbau wo nötig saniert.

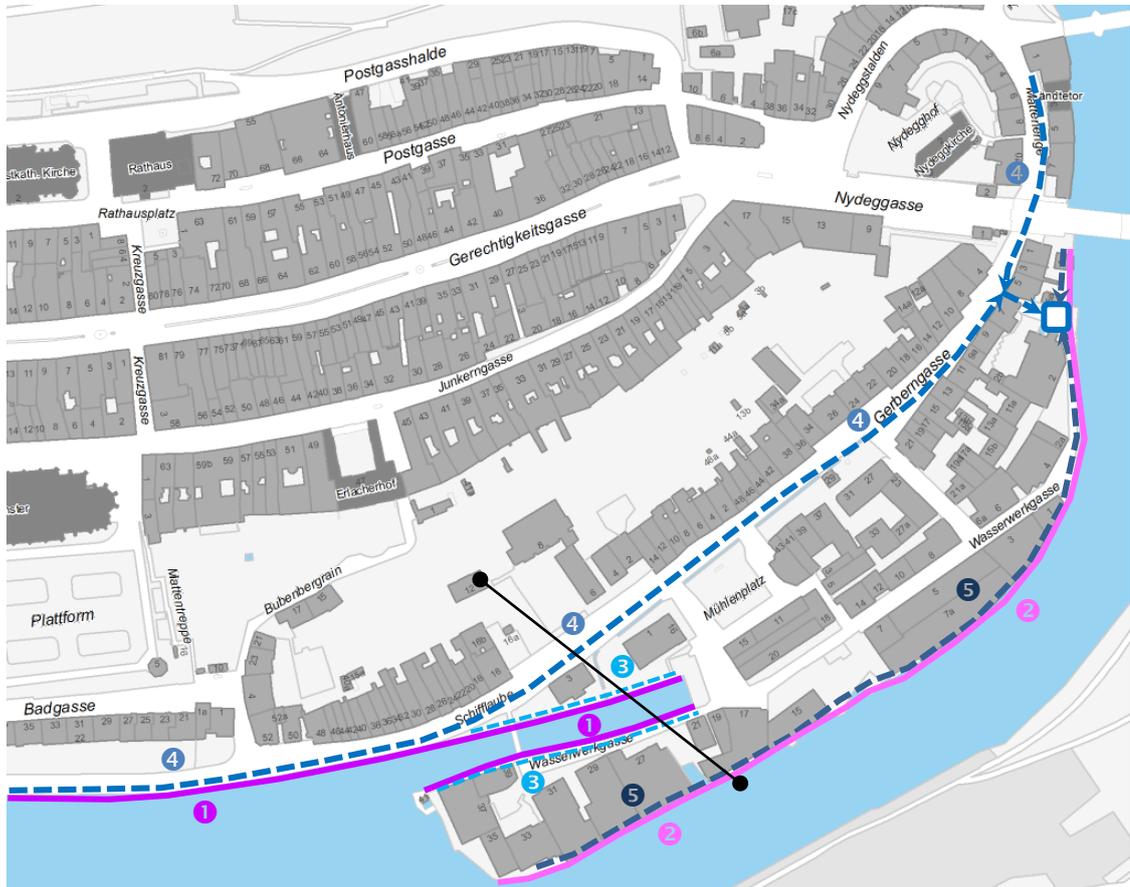
## **3.3 Gewässerunterhalt und Notfallplanung**

Im Technischen Bericht Teil III sind die Aspekte Betrieb und Unterhalt sowie Notfallplanung quartierübergreifend beschrieben.

### 3.4 Massnahmen Wasserbau / Bautechnik

#### 3.4.1 Geologie, Grundwasser und Geotechnik

In der Matte sollen die vorgesehenen baulichen Massnahmen das Quartier nicht nur vor Oberflächenwasser-Überschwemmungen schützen, sondern auch einen Beitrag dazu leisten, das Aare-Grundwasser bei Fluss-Höchstwasserständen auf einem vertretbaren Niveau festzuhalten. Abbildung 13 zeigt die Massnahmen im Überblick:



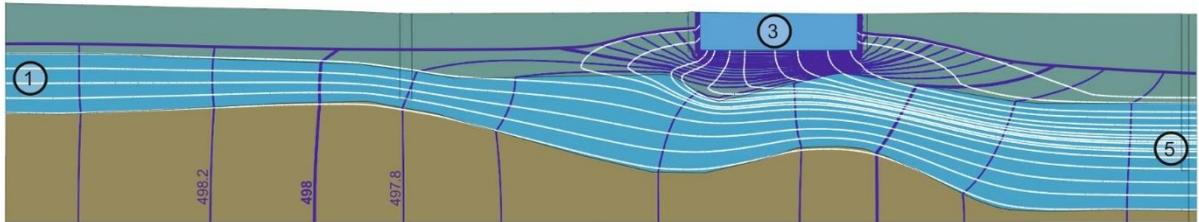
Legende

- ① Abdichtung der Seitenwände des Tychs
- ② Dichtwand, welche die Aare zu den Aareschottern hin abdichtet
- ③ Mauerfussdrainage entlang Tych
- ④ Hauptdrainageleitung Schifflaube-Gerberngasse (mit Nebenarm Mattenenge)
- ⑤ Hauptdrainageleitung entlang Dichtwand
- Profillinie numerische Modellberechnung (Abbildung 11)

Abbildung 13: Schematische Darstellung der hydrogeologisch relevanten Baumassnahmen.

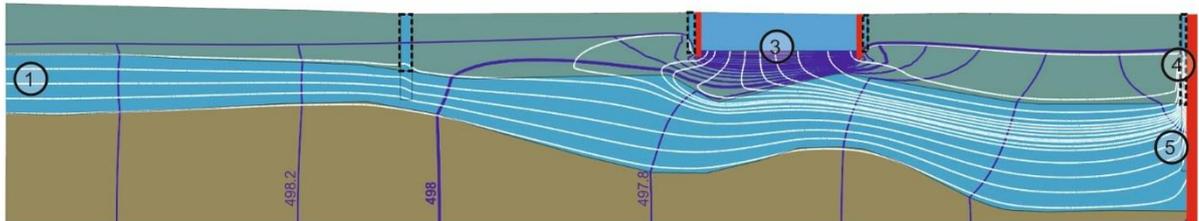
Um die Strömungsbedingungen im Ist-Zustand und für den Betriebszustand quantifizieren zu können, wurde entlang der in Abbildung 13 dargestellten Profillinie ein numerisches 2D-Modell erstellt. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse für den Ist-Zustand bei Nieder- sowie für den Betriebszustand bei Nieder- und Hochwasserverhältnissen. Die darin aufgeführten Mengenangaben sind in l/s und einer Betrachtungsweite von 100 m (z.B. Länge der Drainageleitungen und des Tychs) angegeben. Die Profile sind zweifach überhöht.

**Ist-Zustand bei Niederwasserverhältnissen ( $Q_{Aare} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$ )**



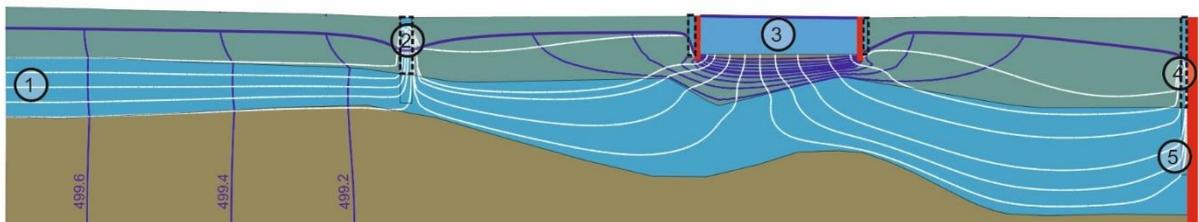
|   |                              |         |
|---|------------------------------|---------|
| ① | Stadtseitiger Zufluss        | 21 l/s  |
| ② | Hauptdrainage Gerberngasse   | -       |
| ③ | Infiltration Tych            | 21 l/s  |
| ④ | Hauptdrainage Dichtwand Aare | -       |
| ⑤ | Infiltration/Exfiltration    | -42 l/s |

**Betriebszustand bei Niederwasserverhältnissen ( $Q_{Aare} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$ )**



|   |                              |          |
|---|------------------------------|----------|
| ① | Stadtseitiger Zufluss        | 14 l/s   |
| ② | Hauptdrainage Gerberngasse   | -        |
| ③ | Infiltration Tych            | 13 l/s   |
| ④ | Hauptdrainage Dichtwand Aare | -27 l/s  |
| ⑤ | Infiltration/Exfiltration    | -0.3 l/s |

**Betriebszustand bei Hochwasserverhältnissen ( $Q_{Aare} = 600 \text{ m}^3/\text{s}$ )**



|   |                              |         |
|---|------------------------------|---------|
| ① | Stadtseitiger Zufluss        | 19 l/s  |
| ② | Hauptdrainage Gerberngasse   | -22 l/s |
| ③ | Infiltration Tych            | 10 l/s  |
| ④ | Hauptdrainage Dichtwand Aare | -7 l/s  |
| ⑤ | Infiltration/Exfiltration    | 0.4 l/s |

- Abdichtung Tychwände bzw. Dichtwand entlang Aare
- Sickerkies Drainageleitung

Abbildung 14: Hydrogeologische Bilanz im Bereich des Tychs (Ist- und Betriebszustand).

### 3.4.2 Massnahmen gegen Aare-Grundwasserzutritte und Durchsickerung der Schutzbauten

Die Funktion der geplanten baulichen Massnahmen zur Regulierung des Grundwassers und deren Auswirkungen auf die Grundwasser-Strömungsbedingungen sind die nachfolgenden:

#### **Abdichtung der Seitenwände des Tychs inkl. Einbau einer Mauerfussdrainage:**

- Die heute beobachteten seitlichen Zuflüsse von den Tychwänden in die umliegenden künstlichen Auffüllungen können unterbunden werden.
- Die Restinfiltration erfolgt entlang der Sohle, wobei die entsprechenden Mengen relativ gering ausfallen.
- Die unmittelbar den Wänden entlang verlaufenden Mauerfussdrainagen (ca. Kote 499.50 m ü.M.) sind nur innerhalb der künstlichen Auffüllungen ausgekoffert. Mengemässig sind diese Drainagen unbedeutend. Sie dienen der landseitigen Druckentlastung (kleinräumiger Effekt), um einem allfälligen hydraulischen Grundbruch vorzubeugen. Dies ist vor allem dann relevant, wenn der Tych zu Unterhaltszwecken geleert wird.

Fazit: Durch die genannte Massnahme verringern sich die Zuflüsse ins Grundwasservorkommen des Mattequartiers. Dies gilt für sämtliche hydrologisch-hydrogeologischen Bedingungen (Niederwasser, Mittelwasser, Hochwasser).

#### **Dichtwand entlang der Aare mit landseitiger Hauptdrainageleitung:**

- Die Dichtwand unterbindet die hydraulische Beziehung zwischen Aarelauf und Grundwasservorkommen. Die Wand gründet bis in die geringdurchlässigen Rückstausedimente (bzw. im unteren Mattequartier stellenweise bis in den Molassefels).
- Im Ist-Zustand exfiltriert im oberen Mattequartier Grundwasser in die Aare. Dies sowohl bei Niederwasser, Mittelwasser und regulärem Hochwasser. Nur bei ausserordentlichen Hochwassersituationen infiltriert Aarewasser ins Grundwasser. Aufgrund der Abdichtung ist es zwingend erforderlich, das landseitig zufließende Grundwasser in einer Drainageleitung zu fassen und abzuleiten. Damit die Leitung ihren Zweck erfüllt, muss die Sickerpackung bis deutlich in die Aareschotter abgeteuft werden. Nur so lässt sich gewährleisten, dass es entlang der Mauer zu keinem Aufstau kommt.
- Im unteren Mattequartier beobachtet man bereits im Ist-Zustand sowohl exfiltrative Verhältnisse (bei Niederwasserstand) als auch infiltrative Verhältnisse (z.B. beim Hochwasser vom Sommer 2014). Auch hier gilt, dass die Abdichtung eine landseitige Drainage erfordert, um die bei Niederwasserhältnissen der Aare zuströmenden Grundwassermengen fassen und ableiten zu können. Die Unterbindung der hydraulischen Beziehung zur Aare wird im Weiteren dazu führen, dass bei Hochwassersituationen im unteren Mattequartier weniger Grundwasser abgepumpt werden muss.
- Die Leitung ist so konzipiert, dass das Drainagepotenzial bis zu einem gewissen Grad variieren, bzw. sich den Schwankungen des Aarepegels angleichen kann. Dies verhindert ein stationäres Verharren des landseitigen Grundwasserspiegels auf Niederwasserstands-Niveau. Das geplante Vorgehen gewährleistet die Einhaltung der gewässerschutzrechtlichen Vorgaben: Artikel 43 des Gewässerschutzgesetzes (SR 814.20) besagt, dass grossflächige Absenkungen des Grundwasserspiegels grundsätzlich verboten sind.

Fazit: Die natürliche Vorfluterfunktion der Aare wird durch die Dichtwand abgeblockt. Die Hauptdrainageleitung landseitig der Wand kompensiert diesen Eingriff in die heute vorherrschenden Strömungsverhältnisse. Auf die Dichtwand kann nicht verzichtet werden, da andernfalls die Matte im Hochwasserfall bloss vor direkter Überflutung und nicht vor aufsteigendem Aare-Grundwasser geschützt wäre.

**Hauptdrainageleitung Schifflaube-Gerberngasse (inkl. Nebenarm Mattenenge):**

- Entlang der Aarstrasse und oberen Schifflaube fungiert die Leitung im Sinne einer Mauerfussdrainage (vgl. Erläuterungen zum Tych). Die Sickerpackung kommt in die künstlichen Auffüllungen zu liegen. Es wird vermutlich kontinuierlich etwas Drainagewasser anfallen, die erwarteten Mengen dürften aber gering sein. Die Leitung übt in diesem Abschnitt eine Druckentlastungsfunktion aus.
- Entlang der unteren Schifflaube und in der Gerberngasse (inkl. Nebenarm Mattenenge) bezweckt die Leitung ein „Festhalten“ des Grundwasserspiegels bei Hochwassersituationen. Die Drainage ist so konzipiert, dass sie ab einem regulären Sommerhochwasser anspringt. In Bezug auf das natürliche Schwankungsverhalten des Grundwassers werden somit bloss die „Spitzen gebrochen“.
- Damit bei Hochwassersituationen der Wasserdruck in den Aareschottern massgebend abgebaut werden kann, muss die Sickerpackung durchgehend oder zumindest abschnittsweise bis in die Aarschotter reichen. Angesichts der grossen Mächtigkeit der überliegenden künstlichen Auffüllungen (im Mittel rund 4 m) ist dies ein relativ aufwändiges bautechnisches Unterfangen.

Fazit: Die hydrogeologischen Verhältnisse im Mattequartier sind zu kompliziert, als dass mit der Abdichtung der Tych-Wände und der Dichtwand entlang der Aare sämtliche relevanten Zuflüsse unterbunden werden können. Es braucht eine Hauptdrainageleitung, um bei Hochwasser-Ereignissen die Grundwasserstände auf einem bestimmten Niveau festhalten zu können.

**Weitere flankierende Massnahmen:**

- Entlang des Grundablasses (rechtsseitig des Tychs) ist das Abteufen einer Dichtwand bis in die Rückstausedimente aus bautechnischen Gründen nicht möglich. Um bei Hochwassersituationen in den Aareschottern ansteigende Wasserstände unter Kontrolle halten zu können, hat das ACS-Haus Objektschutzmassnahmen ergriffen, d.h. das Gebäude ist Arealschutz und der HWS Bern schliesst UW-seitig gegen Ende des Grundablasses an. Massnahmen gegen anstehendes Grundwasser und Auftrieb beim ACS-Gebäude sind im Rahmen des Objektschutzes zu ergreifen.
- Dank der geplanten baulichen Massnahmen werden bei Hochwassersituationen auch die Grundwasserstände soweit möglich unter Kontrolle gehalten. Gegenüber dem Ist-Zustand wird der Grundwasserdurchfluss im unteren Mattequartier wesentlich geschmälert. Vermutlich wird man unter Extrembedingungen weiterhin etwas Grundwasser zur Trockenhaltung der Gebäude abpumpen müssen. Auf die Hangwasserverhältnisse haben die Massnahmen keinen Einfluss (weder im positiven noch im negativen Sinn).
- Setzungen an bestehenden Gebäuden aufgrund der baulichen Massnahmen können ausgeschlossen werden, da der Grundwasserspiegel nicht unter sein natürliches, minimales Niveau abgesenkt wird.

### 3.4.3 Uferverbau und Ufergestaltung

#### Allgemeiner Beschrieb

Die Befestigung der Ufer ist teilweise in die Jahre gekommen und bedarf einer Sanierung oder Erneuerung [8]. Um die fischökologischen Bedingungen zu verbessern, wird grundsätzlich darauf geachtet, dass die Ufer rauer gestaltet werden. Wo möglich und nötig, soll ein gut strukturierter Blockwurf die bestehende Verbauung (z. T. Betonplatten) ersetzen. Die Blockgrössen müssen je nach Schleppspannung dimensioniert werden. Am Böschungsfuss sind Blöcke in der Grössenordnung von 1.5 bis 2.0 t und in der Böschung Blöcke von 0.2 bis 0.5 t vorgesehen. Die Böschungsneigung ist variabel zu gestalten und wo möglich sind Nischen mit flachem Ufer und Kiesgrund einzubauen. Ohne zusätzliche Sicherung aus Hinterbeton beträgt die Böschungsneigung maximal 2:3. Des Weiteren werden Strukturelemente in Form von Fischbuhnen und Störsteinen zur Erhöhung der Strömungsvariabilität im Uferbereich eingebracht. Die Strukturelemente sind unterschiedlich hoch ausgestaltet, werden jedoch bei einem Abfluss von  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  überströmt. Der Aufbau von Blockwurf von der Uferseite her erfordert ein Abholzen der bestehenden Ufervegetation. Um den Eingriff für die Umwelt schonender zu gestalten, ist eine Realisierung in Etappen vorzusehen.

Die Dimensionierung des Uferschutzes erfolgt in Abhängigkeit der verschiedenen Lagen am Ufer resp. Beaufschlagungen (unterschiedliche Schleppspannungen, Strömungsgeschwindigkeiten und Böschungsneigungen):

- Sohle
- Blocksatz (Wsp  $Q_{160} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$  bis Wsp  $Q_{20} = 250 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- Kolkchutz Prallufer

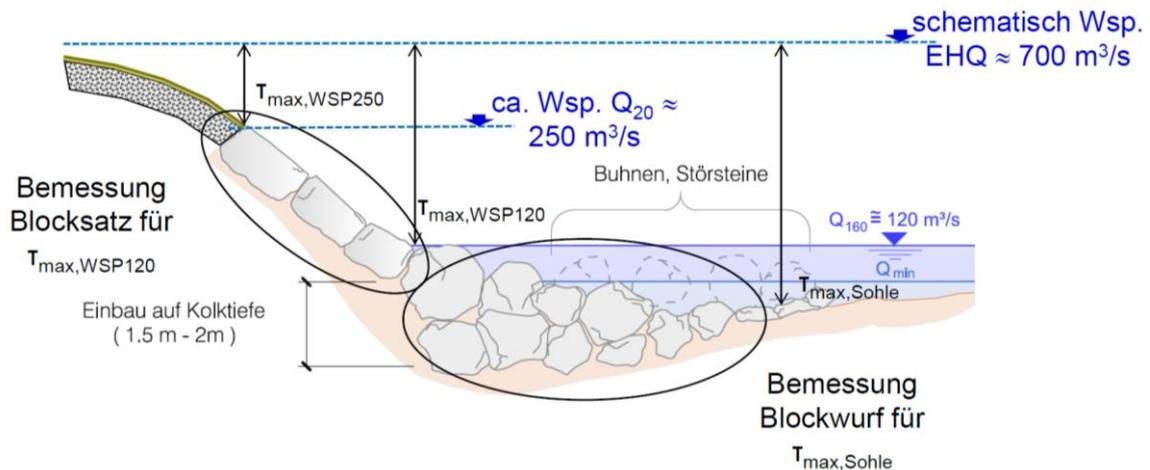


Abbildung 15: Lagen mit unterschiedlichen Schleppspannungen, Strömungsgeschwindigkeiten im selben Uferbereich. Böschungsneigungen variieren zusätzlich je nach Abschnitt.

Die Massnahmenbeurteilung erfolgt nach "PROTECT" [10] bzw. nach [1] in Bezug auf Gefährdungsbilder:

1. U1, Erosion  
Schleppspannung, Bemessung Blockwurf und -satz
2. U2, Instabilität durch Kolkbildung oder Sohlenerosion  
Bemessung Vorgrundsicherung
3. U3, Hinterspülung  
Bauliche Massnahmen zur Stabilisierung der Übergänge

Die Blockgrösse wurde anhand der Gefährdungsbilder U1 und U2 nach den folgenden zwei Verfahren dimensioniert:

- Überprüfung der Blockgrösse nach Isbash (vgl. Belvins [1] oder USACE [13]):  
Die Formel nach ISBASH beschreibt, welchen Durchmesser  $d_S$  ein loser, kugelförmiger Block mindestens aufweisen muss, damit er, wenn er ins Gerinne fallen gelassen wird, nicht von der Strömung mit der Fließgeschwindigkeit  $v$  mittransportiert wird. Mit diesem Ansatz wird die erforderliche Blockgrösse eher überschätzt, da die Blöcke bei Ufersicherungen häufig ineinander verzahnt versetzt werden. Dieser Wert gibt also eine obere Grenze der Steingrösse an.
- Bemessung der Ufersicherung nach Stevens & Simons [12]:  
Der Blockdurchmesser  $d_S$  der Ufersicherung, die einem bestimmten Abfluss und damit bestimmten Schleppspannungen Stand halten soll, kann zudem nach Stevens & Simons bemessen werden.

Dem Gefährdungsbild U3 wird wie folgt entgegengewirkt:

- In den Übergängen von Blockwurf zu Blocksatz: Filterschicht bestehend aus einer Grobkiesschüttung.
- In den Übergängen von Blocksatz zur Vegetation wird ein Geotextil eingelegt.

#### **L4 - Uferverbau unterhalb Dalmazibrücke und entlang Aarstrasse**

Unterhalb der Dalmazibrücke hat sich am Prallhang ein ausgeprägter Kolk (bis zu 4 m tief) gebildet [8]. Um keine Uferanrisse oder Schäden an der Aarstrasse zu riskieren, ist eine möglichst rasche Erneuerung der Vorgrundsicherung und des Kolk schutzes angebracht.

Als Uferverbau im Abschnitt Aarstrasse vom Schwanenmätteli bis zum Beginn der Schwelle wird der für die Aare in städtischen Abschnitten innerhalb der Stadt Bern entwickelte Standardtyp angewendet (vgl. Abbildung 16, Abbildung 17). Dieser sieht eine naturnahe, raue durchlässige Ufersicherung unterhalb  $Q_{160} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$  vor. Oberhalb dieses Abflusses darf der Uferverbau urban und gestaltet erscheinen; er besteht aus einem plattigen Verbau mit eng gefugten Natursteinplatten bzw. -quadern.

## Situation

## Detail

### Grundsatz

Gestaltung (städtisch)  
"Blocksatz"  
oberhalb 120m<sup>3</sup>/s

Struktur + Schutz  
"Blockwurf"  
unterhalb 120m<sup>3</sup>/s

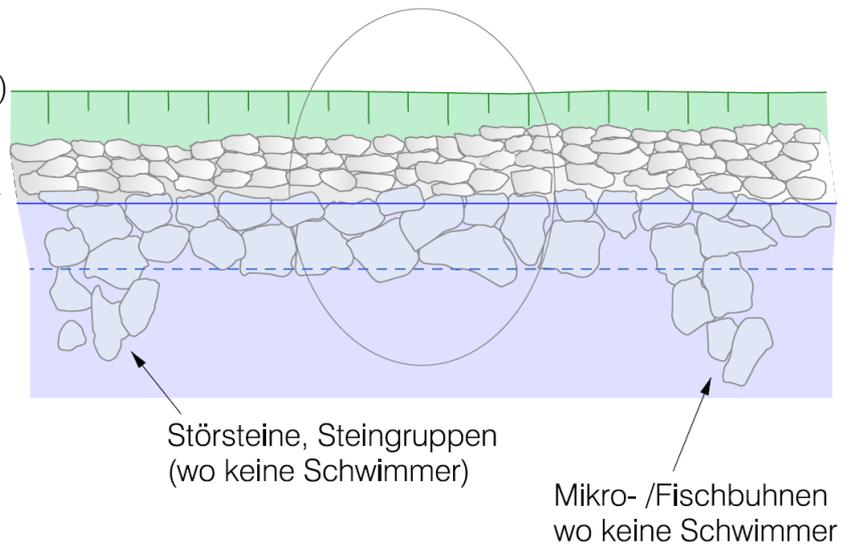


Abbildung 16: Basistyp Gestaltung Aareufer in städtischen Abschnitten, Situation.

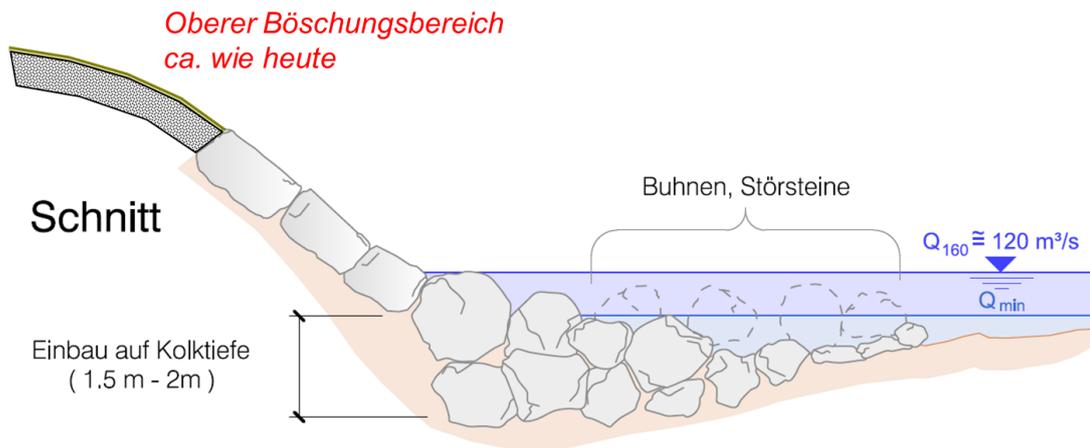


Abbildung 17: Basistyp Gestaltung Aareufer in städtischen Abschnitten, Schnitt.

### L5, L6 - Uferverbau in den Bereichen Tych und Matte

Entlang der Matteschwelle und des Tychs besteht das Ufer aus einer steilen bis vertikalen Ufermauer, die nach Rückbau der Auskragung bzw. im Zuge der Mauererhöhung rund um den Tych zu sanieren ist.

Im Bereich Matte wird wasserseitig vor der Ufermauer aus gestalterischen Gründen eine Böschung mit einer Berme und einer Neigung von rund 2:3 vorgeschüttet. Der Böschungsschutz wird gemäss dem oben beschriebenen Verbauungstyp realisiert (raue, strukturierte Ufer unterhalb der Wasserlinie von 120 m<sup>3</sup>/s und einem eng gefugten, plattigen Verbau oberhalb). Der plattige, "städtische" Uferverbau wird in diesem Abschnitt über die Wasserlinie von 250 m<sup>3</sup>/s hinaus bis über die Berme d.h. an die Ufermauer hin hochgezogen. Abbildung 18 zeigt einen typischen Querschnitt der Ufermauer und der Ufergestaltung entlang der Matte.

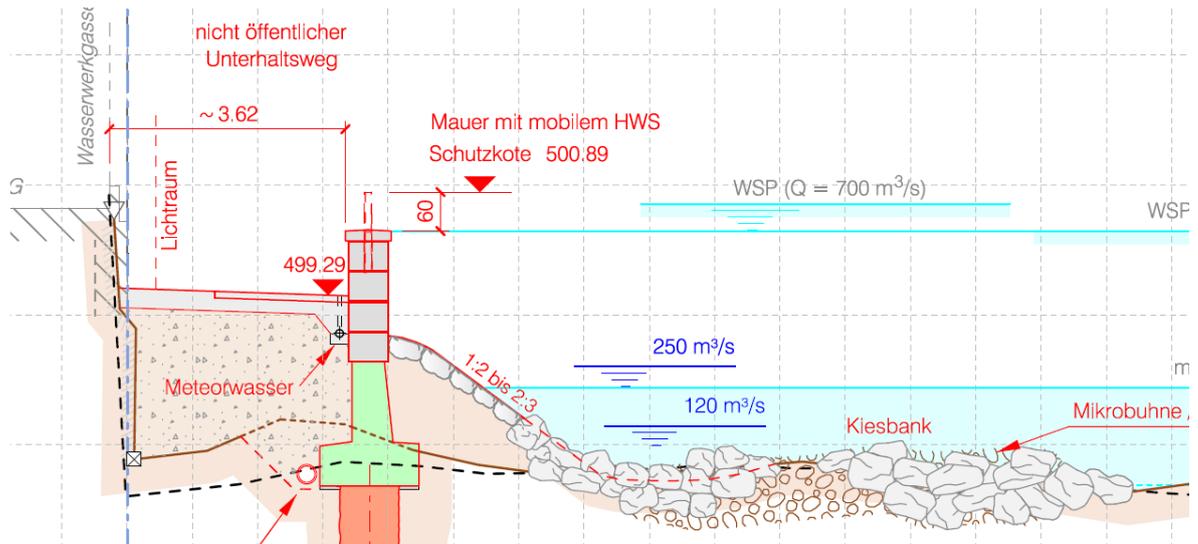


Abbildung 18: Auszug aus Beilage B.3.4 bei km 29.234, typischer Schnitt durch die Ufermauer und den Uferschutz entlang der Matte.

Die Einengung des Aareraums oberhalb der Mündung des Mattebachs ergab sich v.a. aus gestalterischen und strömungstechnischen Überlegungen: Mit der Einengung konnte die Rundung der Matte von oben her übernommen und weitergeführt werden, was dem Raum ein ganzheitliches Bild verleiht. Mit dieser Rundung wird die Strömung zudem präziser auf die Nydeggbrücke geführt, was Erosionen am Ufer entgegenwirkt. Ausserdem war mehr Platz für den Bau der Massnahmen notwendig sowie für den Einbau und die Zugänglichkeit des neuen Pumpwerks, da hier im Boden viele Werkleitungen verlaufen.

### R3 - Abschnitt Matte rechts

Im Abschnitt Matte rechts wird der Böschungsschutz grundsätzlich gemäss dem oben beschriebenen Verbauungstyp realisiert, wobei im Bereich um km 29.000 der Uferbereich mittels Steingruppen, Wurzelstöcken und Baumstämmen ökologisch aufgewertet wird. Bis zum km 29.151 wird das Ufer stärker strukturiert und es werden Zonen mit variierenden Abflusstiefen und Strömungsstrukturen geschaffen.

Im Bereich des ehemaligen Pistolenstands im Schwellenmätteli wird mit den vorgesehenen Hochwasserschutzmassnahmen der heutige Zustand nicht verändert. Deshalb kann auf eine Untersuchung des belasteten Standorts Nr. 0351-0590 und allfällige Sanierungs- oder Schutzmassnahmen verzichtet werden.

Von der Englischen Anlage bis zum Bärenpark liegt der Abschnitt Matte rechts gemäss Naturgefahrenkarte der Stadt Bern in einem Gebiet mit mittlerer Gefährdung und geringer Wahrscheinlichkeit für Hangmuren und flachgründige Rutschungen (HM). Hangmuren und spontane Rutschungen werden nur selten aufgrund von Ufererosion ausgelöst, sondern sind Ursache von starken Niederschlägen mit hohen Porenwasserdrücken im Lockergesteinsuntergrund. Durch die geplanten Massnahmen (Vorgrundsicherung wo nötig) wird das Risiko einer Hangmure / Rutschung vermindert, da diese den Strömungsangriff am Böschungshangfuss und damit die Ufererosion verringern.

## 3.4.4 Ufererhöhungen

### L4, L5 - Bereiche Aarstrasse und Tych

Entlang der Aarstrasse wird das auskragende Trottoir (Lehnenkonstruktion) demontiert (Abbildung 19) und es wird eine Natursteinmauer in der Ebene der ursprünglichen, histo-

rischen Mauer erstellt. Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen typische Querschnitte, (a) des Rückbaus der Kragkonstruktion und (b) des Neubaus im Sinne einer in der Gestaltung an die historische Ufermauer angelegten Hochwasserschutzmauer.



Abbildung 19: Auskragendes Trottoir und Aareufer entlang der Aarstrasse.

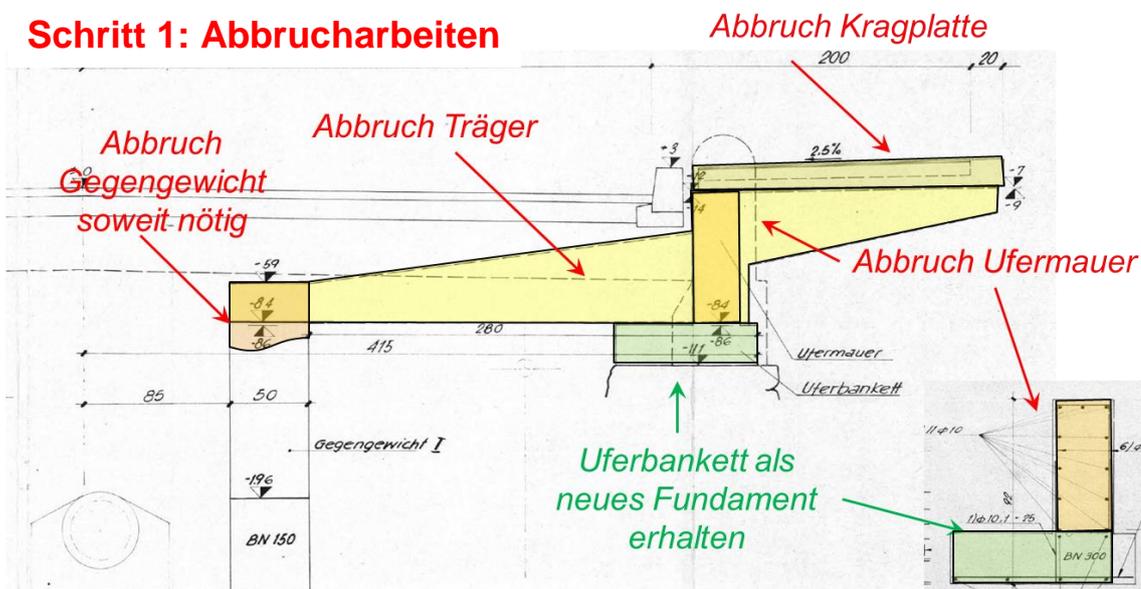


Abbildung 20: Schemaskizze Rückbau auskragendes Trottoir entlang der Aarstrasse.

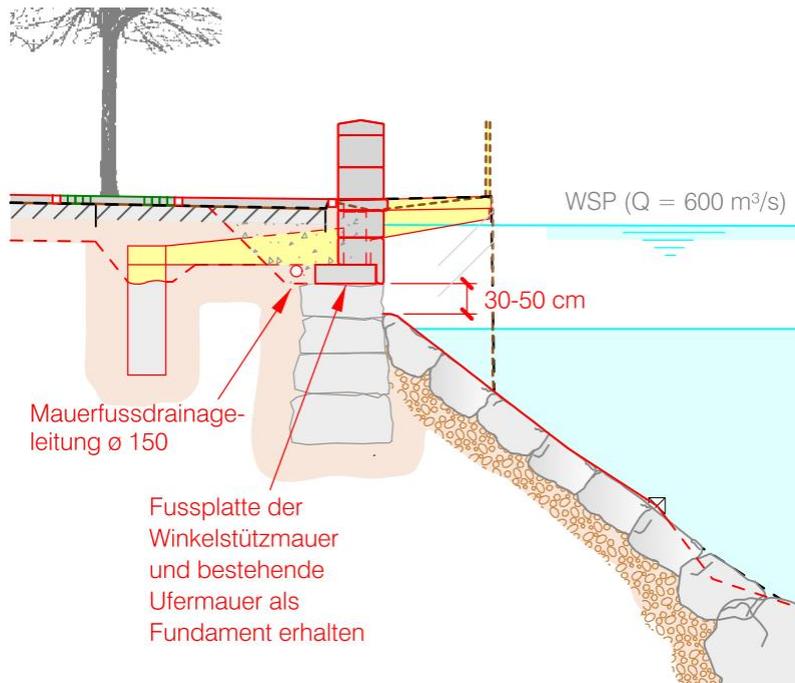


Abbildung 21: Schemaskizze Wiederaufbau Ufermauer am ursprünglichen Ort und in Anlehnung an die ursprüngliche Gestaltung. Keine Abdichtung mit Betonschale, falls zwischen Vorgrundsicherung und Fundament weniger als ca. 30 bis 50 cm sind.

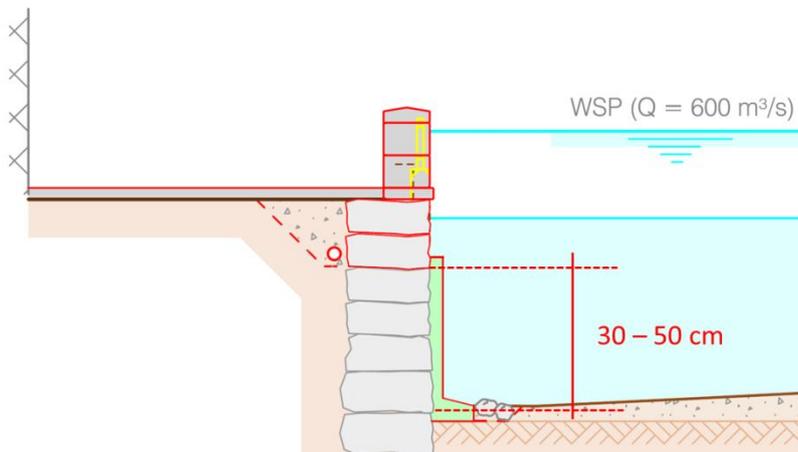


Abbildung 22: Schemaskizze Wiederaufbau Ufermauer am ursprünglichen Ort und in Anlehnung an die ursprüngliche Gestaltung. Betonschale zur Abdichtung der Wand, falls zwischen Vorgrundsicherung und Fundament der neuen Ufermauer mehr als ca. 30 bis 50 cm sind.

Rund um den Tych wird die Ufererhöhung nach demselben Konzept wie entlang der Aarstrasse fortgeführt (Abbildung 22). Der Hochwasserschutz wird durch eine Ufermauer aus Natursteinen sichergestellt. Diese Mauer baut auf der bestehenden Natursteinmauer beidseits des Tychs auf. Im Gegensatz zum Abschnitt entlang der Aarstrasse ist aber das bestehende Ufer bzw. die bestehende Ufermauer praktisch senkrecht und es sind Abbrucharbeiten für den Aufbau der Mauer nur im oberen Kronenbereich der bestehenden Mauer vorzunehmen.

Für den Überlastfall wird die Tych-Mauer auf der linken Seite leicht tiefer ausgebildet als auf der rechten Seite. Die nahezu vertikale Ufermauer aus Natursteinen entlang der

Schiffлаube und des Tychs ist ab circa Mitte der Matteschwelle (ab oberhalb Badgasse, ca. Badgasse 23/25) abzudichten, um die Grundwasserzutritte zu minimieren. Im oberen Bereich ab Badgasse 23/25 wird, solange zwischen bestehender Vorgrundsicherung und Fundament der neuen Ufermauer ca. 30 bis 50 cm sind, der Aufbau der Mauer analog dem Aufbau oberhalb Badgasse 23/25 gestaltet (Abbildung 21). Sobald die 30 bis 50 cm überschritten werden, kommt eine Abdichtung mit Betonschale analog dem Aufbau im Tych hinzu (Abbildung 22).

Diese Arbeiten müssen bei abgesenktem Tych ausgeführt werden, was zu einem Ertragsausfall beim Mattekraftwerk führt, der in den Investitionskosten einzurechnen ist.

#### **L6 - Bereich Matte unterhalb Schwelle bis Nydeggbücke**

Unterhalb der Matteschwelle bis zum neuen Pumpwerk gut 50 m oberstrom der Nydeggbücke wird der Hochwasserschutz durch eine Ufermauer gewährleistet, die bis auf den Wasserspiegel des Bemessungsabflusses von 600 m<sup>3</sup>/s hochgezogen ist. Die Mauer ist in einer Dichtwand aus Bohrpfählen verankert, die nicht nur die Stabilität der Ufermauer sichert, sondern auch in diesem Abschnitt die Grundwasserzutritte im Hochwasserfall unterbindet. Der gemäss Vereinbarung der Projektziele zu gewährleistende vollständige Schutz (mit einem Freibord) bis zum HQ<sub>300</sub> (Arealschutz) wird durch mobile Schutzmassnahmen nach dem System "Talimex©" (oder einem vergleichbaren System) hergestellt.

Im Abschnitt Nydegg- bis Untertorbrücke (entlang der Mattenenge) werden die bis in die Aare reichenden Gebäudemauern aus Natursteinen abgedichtet, indem die Fugen dort wo nötig ausgekratzt und mit Spezialmörtel neu verfüllt, resp. die betroffenen Fenster abgedichtet werden. In diesem Abschnitt wird keine Dichtwand benötigt.

#### **R4 - Abschnitt Matte rechts**

Eine Ufererhöhung ist im Bereich des Restaurants Schwellenmätteli vorgesehen. Teile davon sind bereits realisiert. Im Projekt werden noch einzelne Ergänzungen vorgenommen. Der Schutz erfolgt hier bis auf einen Abfluss von 600 m<sup>3</sup>/s (ohne Freibord), die Mauer wird mit Sandstein verkleidet.

#### **3.4.5 Tychsteg**

Der bestehende denkmalgeschützte Tychsteg wird integral um rund 1 m angehoben. Aus der Sandsteinmauer der Tych-Umrandung heraus wird zur Höhenüberwindung analog den vor Ort angetroffenen Materialien beidseitig eine Treppenanlage in Granit ergänzt, so dass auf mobile Hochwasserschutzmassnahmen verzichtet werden kann.

#### **3.4.6 Matteschwelle**

Längerfristig wird ein Ersatz der Schwellenelemente in Betracht gezogen, da sie in der heutigen Form für die Hochwassersicherheit eine grosse Schwachstelle darstellt. Im Rahmen des vorliegenden Projekts ist dies aber aus Kostengründen und aufgrund des Denkmalschutzes nicht denkbar. Weiterhin können vier Schwellenelemente im Hochwasserereignis gezogen werden.

### 3.5 Auswirkungen auf die Nutzung

Heute weist die Gefahrenkarte für die Matte eine erhebliche (rote Zone) oder mittlere (blaue Zone) Gefährdung aus. Für Erweiterungen, Neu-, Um- und Ausbauten von Gebäuden bedeutet die rote Zone ein Bauverbot und die blaue Zone ein "Bauen mit Auflagen". Werden die Hochwasserschutzmassnahmen wie im Projekt vorgesehen mit einer Kombination aus einer fixen Mauer und mobilem Schutz im Bereich des Freibordes umgesetzt, verbessert sich die Gefahrensituation in der Matte (vgl. Kapitel 4 im Teil C). In den vorgesehenen Hochwasserschutzmassnahmen wird die Matte mit fixen Massnahmen bis zu einem 100-jährlichen Hochwasser und mit mobilen Massnahmen bis zu einem 300-jährlichen Hochwasser geschützt.

Allerdings dürfen gemäss Vorgaben von Bund und Kanton in der Gefahrenkarte mobile Elemente nicht berücksichtigt werden. In der Folge weist die Gefahrenkarte nach Umsetzung der geplanten Massnahmen weiterhin eine mittlere (blau) bis geringe (gelb) Gefährdung aus. Für Liegenschaften im blauen Gefahrenbereich gelten daher bei Erweiterungen, Neu-, Um- und Ausbauten baulichen Auflagen.

Die Auflagen in der blauen Zone werden, gemäss kantonaler Bewilligungspraxis, jeweils wie Objektschutz betrachtet, sodass der Schutz auf ein 300-jährliches Ereignis ausgelegt werden muss. Mit den in der Matte vorgesehenen Schutzmassnahmen wird der 300-jährliche Schutz als Arealschutz gewährleistet, es werden deshalb für Gebäude in der blauen Zone keine weiteren Schutzmassnahmen verlangt.

Aufgrund des 300-jährlichen Arealschutzes um die Matte schliesst die aktuelle Bewilligungspraxis nicht mehr aus, dass neue Objekte und Nutzungen in der blauen Zone der Matte (Gefahrenkarte nach Massnahmen) bewilligt werden, welche zu „nicht akzeptablen Risiken“ führen.

Für den Umgang mit diesen "nicht akzeptablen Risiken" wird auf das Dokument Risikobegrenzung Hochwasser im Quartier Matte (Beilage C.4.5) verwiesen. Der Entscheid für eine Ergänzung der Bauordnung erfolgt nicht mit dem vorliegenden Wasserbauplan. Über eine allfällige Ergänzung der Bauordnung wird erst nach dem Wasserbauplan entschieden.

### 3.6 Massnahmen Siedlungsentwässerung und Drainage

#### 3.6.1 Ersatz und Zusammenlegung der RU Fricktreppe und Aarstrasse

Die Regenüberläufe Fricktreppe (7346018) und Aarstrasse (7336011) werden ersetzt und zusammengelegt. Neu resultiert daraus eine angeschlossene Fläche von 4.9 ha<sub>red</sub>. Die Weiterleitmenge wird mittels Wirbeldrossel auf ca. 150 l/s reguliert.

Die beiden Zuflüsse von der Fricktreppe und von Seite Casino werden in einem Absturzbauwerk vereinigt und anschliessend zur Wirbeldrossel geleitet. Der Regenüberlauf wird mit einer hochliegenden Überfallkante ausgebildet, welche ca. 2.0m über dem Aarepegel bei 700 m<sup>3</sup>/s liegt. Damit kann Entlastungswasser auch bei Hochwasser unter Druck in die Aare geleitet werden. Von Seite Aarstrasse wird ebenerdig ein unterhaltsfreundlicher Zugang in das Bauwerk erstellt.

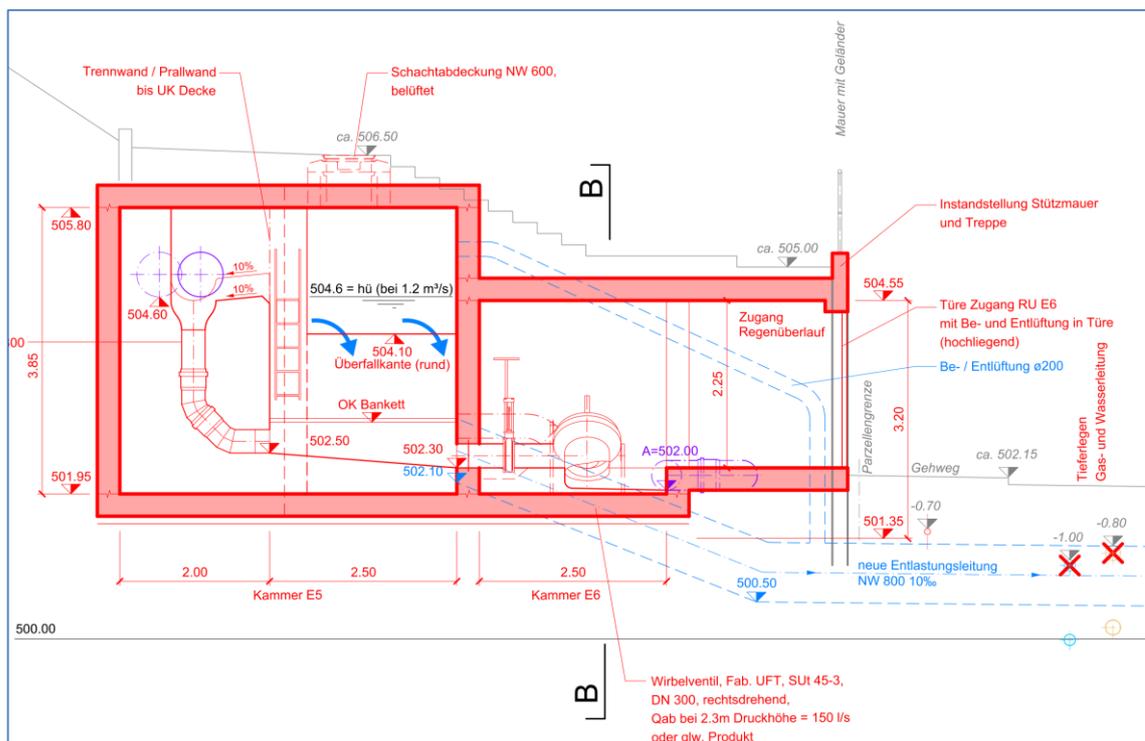


Abbildung 23: Neuer RU Aarstrasse.

#### 3.6.2 Ersatz Regenüberlauf Weihergasse

Der Regenüberlauf Weihergasse reguliert das zufließende Abwasser vom Gebiet Bundeshaus ( $F_{red} = 4.4 \text{ ha}_{red}$ ) auf  $Q = 140 \text{ l/s}$ . Ein allfällig höherer Zufluss wird entlastet und in die Aare abgeleitet.

Auf Grund der Höhenlage wird der RU über Aare-Hochwasserniveau angehoben und anstatt als Streichwehr wie bislang neu als Leaping Weir ausgebildet. Die angeschlossene Fläche wird nur unwesentlich verringert, womit die Weiterleitmenge bei ca.  $Q_{an} = 140 \text{ l/s}$  verbleibt.

Um das allfällig entlastete Abwasser auch bei Hochwasser in die Aare leiten zu können, wird die Entlastungsleitung als „Druckleitung“ ausgebildet. Die bislang an die Entlas-

tungsleitung angeschlossenen Vorplatz- und Strassenentwässerungsflächen werden abgehängt und in einer neuen Regenabwasserleitung zur Aare geleitet.

Die Mischabwasserleitung wird vom neuen Regenüberlauf (neu via Gasstrasse) zum Kreisel geführt und hier an die bestehende Mischabwasserkanalisation angeschlossen. Aus hydraulischen Randbedingungen des neuen Regenüberlaufes wird der Seitenast von der Talstation Marzilbahn abgehängt und im Bundesrain im Kontrollschacht 7315008 neu angeschlossen. Die Baumassnahmen sind in oder entlang von Standorten, welche im kantonalen Kataster der belasteten Standorte eingetragen sind.

### 3.6.3 Strassenentwässerung Aarstrasse

Die Aarstrasse entwässert heute über diverse Stichleitungen (siehe auch Abbildung 19) direkt in die Aare. Die Strassenentwässerung der Aarstrasse wird neu erstellt. Für die Aarstrasse ab der Kirchenfeldbrücke Aare-abwärts wird eine neue Strassenentwässerungsleitung erstellt und bei Kontrollschacht 7356025 an eine bestehenden Regenabwasserleitung angeschlossen.

Das Strassenabwasser vom Kreisel bis Kirchenfeldbrücke wird in einer neuen Strassenentwässerungsleitung gesammelt und beim Schwanenmätteli und bei der Fricktreppe in die Aare eingeleitet. Vor der Einleitstelle wird je ein Spezialschacht erstellt. In diesem Spezialschacht wird einerseits der Zufluss von Aarewasser mittels Rückstauklappe verhindert. Andererseits kann das Strassenabwasser in die Mischabwasserkanalisation fließen (Überfall mit Klappe), wenn der Aarepegel den Abfluss des Strassenabwassers in die Aare verunmöglicht. Somit ergibt sich temporär während Aare-Hochwasser ein Wechsel des Entwässerungssystems, und zwar vom Trennsystem zum Mischsystem.

### 3.6.4 Neubau Pumpwerk Mattenbachmündung

Das Regenabwasser, welches in der Matte anfällt, soll auch künftig im Normalfall im Freispiegel in die Aare eingeleitet werden. Im Hochwasserfall wird das gesamte Regen- und Drainageabwasser beim neuen Pumpwerk gesammelt und in die Aare gepumpt. Damit sämtliches Regenabwasser zum neuen Pumpwerk geleitet werden kann, sind neue Kanäle im Bereich Gerbergasse/Wasserwerksgasse nötig. Im Zusammenhang mit diesen neuen Leitungen wird die über die Jahre gewachsene Situation der Mattenbachmündung inkl. Kanäle und Becken bereinigt.

Die Pumpleistung für das Regenabwasser wurde iterativ mittels Simulationsprogramm so festgelegt, dass der Ein-/Rückstau im Regenabwassernetz bei einem Gewitterereignis mit Wiederkehrintervall  $z = 1$  Jahr tiefer ist als der Rückstau im Regenabwassernetz, welcher sich im Juli 2014 bei Aare-Hochwasser ergab. Für das Regenabwassernetz ergab sich so eine Pumpleistung von  $Q_{\text{pump}} = 300$  l/s. Für das Drainagenetz ergibt sich gem. hydrogeologischen Untersuchungen ein Zufluss zum Pumpwerk von  $Q_{\text{pump}} = 140$  l/s. Die Gesamtleistung des Pumpwerkes für Drainage- und Regenabwasser wurde auf  $Q_{\text{pump}} = 490$  l/s gelegt, mit dem Schmutzabwasserpumpwerk Mattenenge beträgt die Gesamtleistung gar  $Q_{\text{pump}} = 590$  l/s.

Zum Vergleich: im 2014 waren in der Matte 7 bekannte Pumpwerke für die Ableitung des Abwassers (Schmutz-, Regen-, Grundwasser) vorhanden mit einer Gesamtleistung von total 310 l/s. In dieser Gesamtleistung ist auch die Leistung des Schmutzabwasserpumpwerkes Mattenenge eingerechnet von  $Q_{\text{pump}} = 90 - 100$  l/s. Hier wurde festgestellt,

dass das Pumpwerk während des Hochwassers im Juli 2014 ca. dreimal so viel Abwasser förderte wie im März 2014 bei Aare-Niederwasser. Das bedeutet, dass künftig 260 l/s mehr gefördert werden können.

Das Pumpwerk wird unterflur erstellt, so dass die Sicht auf die Aare frei bleibt. Die Pumpen werden nass aufgestellt. Die Steuerschranke werden in der Durchfahrt Wassergasse-Gerberngasse erstellt. Kann das Regenabwasser nicht mehr im Freispiegel in die Aare geleitet werden, so fällt das Wasser in den Pumpensumpf und wird mittels Pumpe in die Aare gefördert.

Der Überlauf wird möglichst hochliegend angeordnet, so dass das Pumpwerk möglichst wenig in Betrieb ist und das Wasser im Freispiegel in die Aare fließen kann. Insbesondere aufgrund des geringen Höhenunterschieds und zweitrangig auch als Ersatz für den Rückbau der bestehenden offenen Becken wird der letzte Abschnitt des Bachs offen gestaltet.

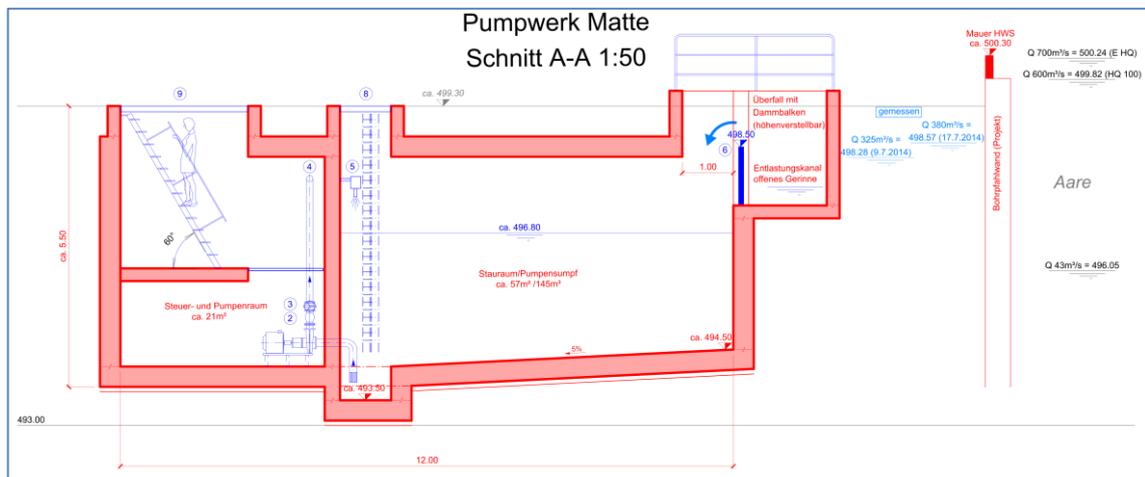


Abbildung 24: Neubau Pumpwerk Mattenbachmündung.

### 3.6.5 Neubau Drainage

Die Hauptdrainage in der Gerberngasse wird hochliegend (ca. 1-1.5m unter Terrain) erstellt und nimmt die Mauerfussdrainage rund um den Tych auf. Die Hauptdrainage entlang der Dichtmauer wird tiefer erstellt (ca. 2.5m unter Terrain).

Beide Hauptäste werden zum Pumpwerk geführt. Je nach Aarepegel kann das Drainagewasser im Freispiegel in die Aare geleitet oder muss via Pumpwerk gepumpt werden.

### 3.6.6 Betrieb / Unterhalt

Die Zuständigkeiten für Betrieb / Unterhalt und Kosten sind derzeit in Abklärung. Ein konkretes Pflichtenheft zur Regelung der Zuständigkeiten, Kostenregelung und Definition der Unterhaltsarbeiten mit Intervallen ist noch zu erstellen.

## 4 Grundlagen

### 4.1 Berichte und Studien

- [1] Belvins, R.D: Applied Fluid Dynamics Handbook. Krieger. Malabar, FL, 1992.
- [2] FAN (Fachleute Naturgefahren): Empfehlung zur Beurteilung der Gefahr von Ufererosion an Fließgewässern, V1.0, 27.04.2014.
- [3] Generalplanerteam HWS Aarebogen: Hochwasserschutz Aare, Bern. L21 Objektschutz Quartiere an der Aare. Dossier Vorprojekt. Bern, Oktober 2008.
- [4] Generalplanerteam HWS Aarebogen: Vorstudie Gebietsschutz Quartiere an der Aare. Kurzbericht Abschnitt Mattequai. Technischer Bericht und gestalterisches Konzept sowie Pläne. Bern, November 2011.
- [5] Generalplanerteam HWS Aarebogen: Hochwasserschutz Aare, Bern. Gebietschutz Quartiere an der Aare. Dossier Mitwirkung Wasserbauplan, Dezember 2014.
- [6] Geodatenportal des Kantons Bern: Kantonale Grundwasser- und Gewässerschutzkarte und kantonaler Kataster der belasteten Standorte. Stand Oktober 2014.
- [7] Kellerhals+Haefeli AG: Geologisch-geotechnische Vorabklärungen. Hochwasserschutz Aare Bern, Objektschutz Quartiere an der Aare. Bern, 7. September 2007.
- [8] Kissling+Zbinden AG: Visuelle Zustandsbeurteilung Aareufer - Tierpark bis Engehalde. Hochwasserschutz Aare Bern. Bern, Entwurf 13.02.2008.
- [9] KOHS: Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen. Empfehlungen der Kommission Hochwasserschutz (KOHS). Wasser Energie Luft, Jahrgang 105, Heft 1: 43 - 53. 2013.
- [10] PLANAT: Strategie Naturgefahren Schweiz, Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Bern, 2007.
- [11] Stadt Bern, Stadtrat: Stadtratsentscheid, Sitzung vom 6. Dezember 2012, SKNSC (2004.SR.000007), SRB Nr. 201-611.
- [12] Stevens, M.A. and D.B. Simons: Stability Analysis for Coarse Granular Material on Slopes. Ch. 17, River Hydraulics. Volume 1 (edited and published by H.W. Shen). Fort Collins, Colorado, 1971.
- [13] USACE: Corps of Engineers Hydraulic Design Criteria. Waterways Experimental Station. Vicksburg USA, 1952.

### 4.2 Digitale Grundlagen

- [14] Digitales Terrainmodell DTM AV, © swisstopo. Bern, 2005.