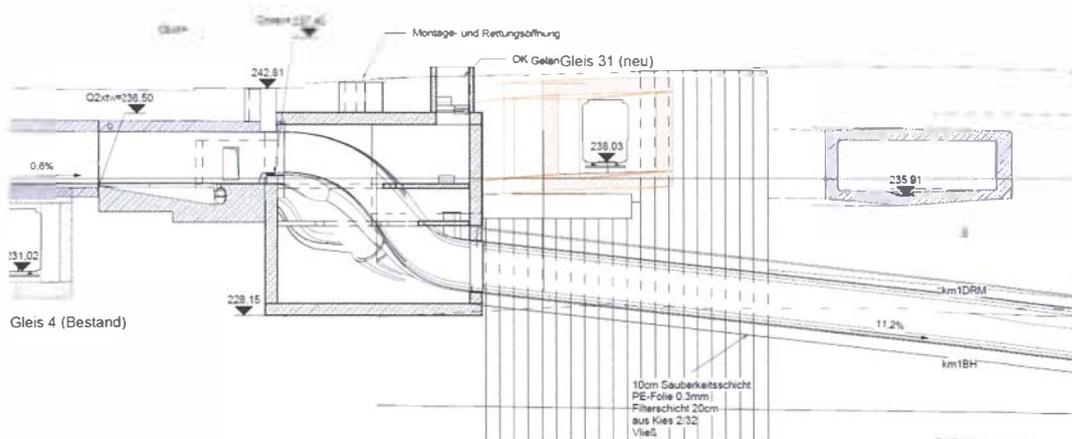


## Großbauprojekt Stuttgart 21, Düker HS Nesenbach

### Nachweis der hydraulischen Machbarkeit „verkürzter Düker“

#### — Ergebnisbericht —



Nur zur Information

**Auftraggeber:**

DB ProjektBau GmbH



**Bearbeitung:**

Dr.-Ing. F. Seidel

Projekt-Nr.: A-1118N

Karlsruhe, Mai 2013

## Inhalt

---

## Inhalt

<b>1. Veranlassung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Untersuchungsmethodik .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>5</b>
3.1. Linienführung und Länge des gesamten Bauwerks.....	5
3.2. Zulaufgerinne/Anströmung Dükeroberhaupt .....	5
3.3. Dükeroberhaupt .....	7
3.4. Dükerleitung $Q_{\max}$ .....	9
3.5. Einstiege Dükerleitungen $Q_{\max} / Q_{\text{krit}}$ .....	10
3.6. Unterhaupt .....	11
3.7. Betriebliche Aspekte .....	12
3.7.1. Feststofftransportvermögen .....	13
3.7.2. Verklausung / Verlegung .....	13
<b>4. Zusammenfassung .....</b>	<b>14</b>

## 1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Rahmen des Neubaus des Tiefbahnhofes in Stuttgart muss der Hauptsammler Nesenbach mittels eines Dükers unter dem Bahnhofsbauwerk hindurchgeführt werden. Die örtlichen Gegebenheiten und die maximal möglichen Rückstauniveaus im sensiblen innerstädtischen Bereich können mit einem Standardbauwerk nicht ausreichend berücksichtigt werden, so dass mit einem umfassenden wasserbaulichen Modellversuch am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe im Jahre 2003 ein hinsichtlich der hydraulischen und betrieblichen Fragestellungen optimiertes Dükerbauwerk entwickelt wurde. Die Untersuchungsergebnisse wurden mit dem Bericht vom 28.11.2003 an den Auftraggeber DB ProjektBau GmbH übergeben.

Im Zuge des weiteren Projektfortschrittes ergibt sich nun auf Grund von neuen örtlichen Randbedingungen die Möglichkeit, das Dükerbauwerk des Hauptsammler (HS) Nesenbach verkürzt zu gestalten. Die Linienführung des verkürzten Dükers ist in Abbildung 1 der bisher planfestgestellten Linienführung gegenübergestellt. Die grundlegende Konzeption der baulichen Komponenten des Dükers (Anlaufstrecke, Oberhaupt, Dükerleitung, Unterhaupt etc.) wurden vom planfestgestellten Düker übernommen.

Als wesentliche Veränderung ergibt sich, dass beim verkürzten Düker das Oberhaupt um ca 75 m in Fließrichtung verschoben wird und nun neben der Schillerstraße angeordnet wird. Das Konzept des Oberhauptes mit seinen Trennlippen bleibt unverändert

Die eigentliche Dükerleitung des verkürzten Dükers wird abweichend von den bisherigen Planungen in offener Bauweise erstellt, so dass hier anstelle des bergmännischen Profils ein Rechteckprofil mit ausgerundeten Ecken vorgesehen ist.

In der Tieflage des verkürzten Dükers liegen die drei Dükerleitungen ( $Q_{\max}$ ,  $Q_{\text{crit}}$ ,  $Q_{2\text{tw}}$ ) nebeneinander, so dass am Übergang zum Unterhaupt eine Rückverschwenkung der beiden Teilstränge  $Q_{\text{crit}}$  und  $Q_{2\text{tw}}$  unter den  $Q_{\max}$  Querschnitt eingeplant ist, um hinsichtlich der Konzeption des Unterhauptes keine wesentlichen Veränderungen im Vergleich zum planfestgestellten Düker zu erhalten. Abbildung 1 zeigt die beiden Dükervarianten in der Draufsicht.



Abbildung 1: Linienführung der beiden Dükervarianten HS Nesenbach

## Veranlassung und Aufgabenstellung

---

Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung wurde von der DB Projektbau GmbH beauftragt, die hydraulische Machbarkeit dieser neuen Dükervariante nach zu weisen. Hierzu wurden die baulichen Komponenten des mittellangen Dükers mit den Komponenten des bereits untersuchten und nachgewiesenen planfestgestellten Dükers verglichen und im Rahmen einer Analogiebetrachtung die geometrischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede hinsichtlich des hydraulischen Verhaltens bewertet. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse dieses Vergleichs zusammen.

## 2. Untersuchungsmethodik

Der entsprechende Abschnitt des HS Nesenbach und das geplante Dükerbauwerk war bereits Gegenstand mehrerer Untersuchungen. Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) hat im Jahr 1997 eine Machbarkeitsstudie bearbeitet und im Jahre 2003 wurden umfangreiche wasserbauliche Modellversuche zur hydraulischen und betrieblichen Funktionalität an einem physikalischen Modell im Maßstab 1:14 durchgeführt.

Auf Grund der Komplexität des Strömungsgeschehens und der Sensitivität des Rückstauverhaltens des Dükers hinsichtlich Veränderungen der Geometrie wurde bei der Überarbeitung der Planung im Zuge der Variante „verkürzter Düker“ darauf geachtet, die baulichen Elemente des planfestgestellten Dükers zu übernehmen und die baulichen Anpassungen auf ein Minimum zu reduzieren.

Auf Grund der großen Übereinstimmung der geometrischen und konzeptionellen Gegebenheiten zwischen dem planfestgestellten Düker und der Planung zum verkürzten Düker und aufbauend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen der beiden Untersuchungen hat das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, KIT entschieden, den Nachweis der hydraulischen Machbarkeit über eine Analogiebetrachtung der baulichen Komponenten der beiden Dükervarianten zu erbringen. Auf eine weiterführende wasserbauliche Untersuchung wurde verzichtet.

Folgende Komponenten des Dükers wurden detailliert betrachtet und die baulichen Veränderungen hinsichtlich des hydraulischen Verhaltens qualitativ bewertet:

- Linienführung und Länge des gesamten Bauwerks
- Zulaufgerinne/Anströmung Dükeroberhaupt
- Dükeroberhaupt
- Dükerleitung  $Q_{\max}$
- Unterhaupt

Die Ergebnisse der Gegenüberstellung zwischen planfestgestellten Düker und verkürzten Düker werden in Kapitel 3 vorgestellt. Für die Bewertung wurde auf folgende Datengrundlage zurückgegriffen:

- Planfestgestellter Düker: Pläne 5.5.1 bis 5.5.10, Planungsstand 24.07.2009
- Verkürzter Düker: Pläne 7.6.1, 7.6.2, 7.6.3, 7.6.7, 7.6.8, Arbeitsstand 26.04.2013

---

## 3. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Vergleichs der baulichen Komponenten des planfestgestellten Dükers und des verkürzten Dükers vorgestellt und die geometrischen Unterschiede herausgearbeitet. In einem zweiten Schritt erfolgt eine qualitative Bewertung der geometrischen Unterschiede in Bezug auf die hydraulischen Aspekte wie z.B. Strömungsgeschehen und Energieverluste. Neben den hydraulischen Gegebenheiten werden auch die betrieblichen Aspekte der beiden Dükervarianten diskutiert.

### 3.1. Linienführung und Länge des gesamten Bauwerks

In Abbildung 1 sind die Grundrisse der beiden Dükervariante HS Nesenbach dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der verkürzte Düker die gleiche Trassierung aufweist wie der planfestgestellte Düker. Durch die Verschiebung des Oberhauptes um ca. 75 m in Fließrichtung weist die eigentliche Dükerstrecke in der Variante „verkürzter Düker“ eine geringere Länge auf, dafür ist die Zulaufstecke, in der auch im Hochwasserfall Freispiegelabfluss herrscht, länger. Die Gesamtlänge der beiden Varianten ist identisch.

Die unterschiedlichen Längen mit Freispiegelabfluss in der Zulaufstecke bzw. mit Druckabfluss im Düker wirken sich nicht signifikant auf die Energieverluste des Gesamtsystems aus, da die kontinuierlichen Fließverluste maßgeblich von der Wandrauheit und der Fließgeschwindigkeit beeinflusst werden und sich die Querschnittsflächen in den beiden Teilbereichen nur gering unterscheiden.

#### **Hydraulische Bewertung:**

In Bezug auf die Linienführung und die Länge des Gesamtsystems ergeben sich beim verkürzten Düker keine höheren Fließ- bzw. Energieverluste, so dass das maximale Rückstauniveau nicht negativ beeinflusst wird.

### 3.2. Zulaufgerinne/Anströmung Dükeroberhaupt

In Folge der Verschiebung des Oberhauptes fällt die Länge der Zulaufstrecke mit Freispiegelabfluss beim verkürzten Düker länger aus. Aus Abbildung 2 geht hervor, dass diese Verlängerung im Wesentlichen durch den Einschub eines Rechteckquerschnittes 520 x 360 erreicht wird. Die Verlängerung mit der Breite von 5,20 m ist notwendig, da es ansonsten zu räumlichen Konflikten im Bereich des Königin-Katharina-Stift und des Kabelschachtes der Telekom kommen würde.

Die Querschnittsfläche dieses Abschnittes liegt mit 18,75 m<sup>2</sup> in der gleichen Größenordnung wie die Querschnittsfläche des planfestgestellten  $Q_{\max}$ -Querschnittes ( $A = 18,95 \text{ m}^2$ ), so dass sich hieraus keine signifikanten Veränderungen in den Fließverlusten des Gesamtsystems ergeben.

Ergebnisse

Die Längen und die Knicke in der Linienführung im Bereich der Übergangsstücke sind als ähnlich zu bezeichnen. Die eigentliche Anströmstrecke mit dem Querschnitt 600 x 360 ( $A = 21,6 \text{ m}^2$ ) fällt beim verkürzten Düker etwas länger aus.

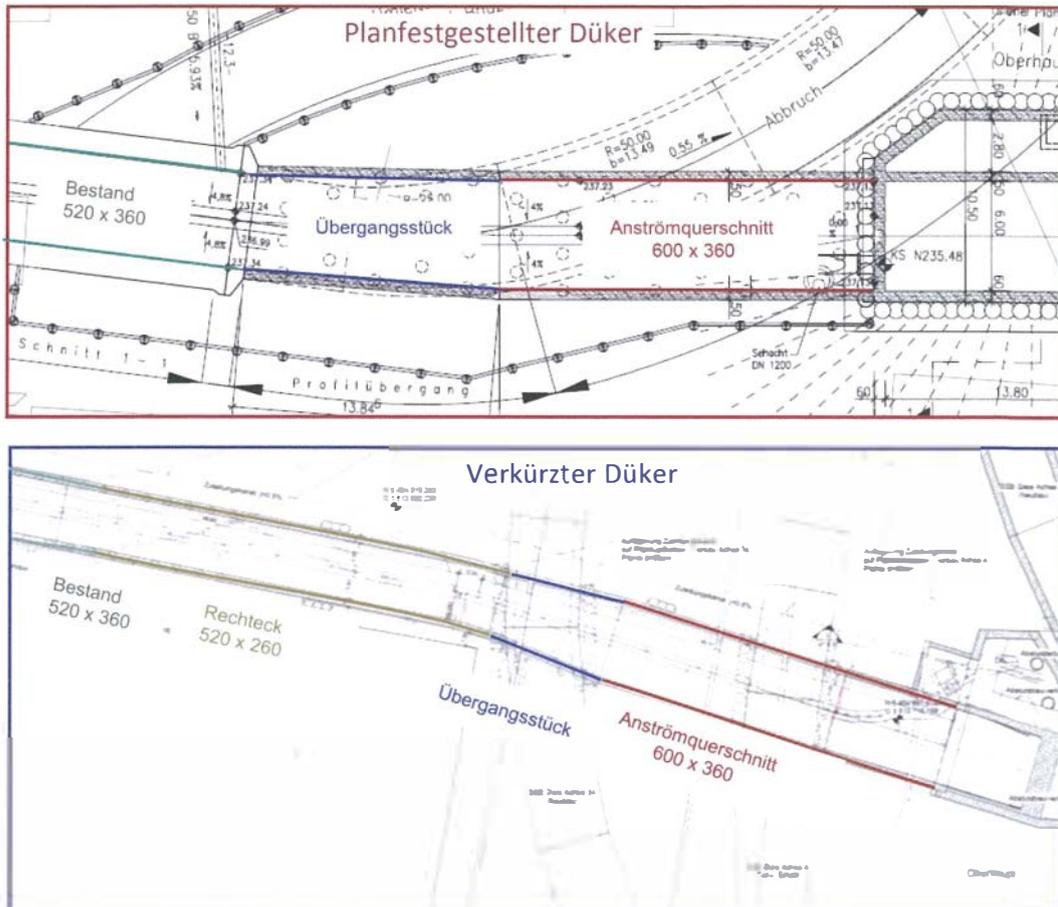


Abbildung 2: Grundriss Zulaufgerinne / Anströmung Oberhaupt

In Abbildung 2 sind die Zulaufkanäle der beiden Dükervarianten im Schnitt dargestellt. Die Sohlneigung in der Anströmstecke beträgt jeweils 0,6 %. Durch die identisch Querschnittsfläche, Wandrauheit und Sohlneigung ist sichergestellt, dass es zu keiner Veränderung der Wasserstands-Abfluss-Beziehung am Oberhaupt kommt. Dieser Aspekt ist für das gewählte Konzept des Oberhauptes, bei dem der Volumenstrom aus dem Freispiegelkanal mittels verschiedener Trennlippen auf die drei Dükerstränge aufgeteilt wird, für die korrekte Funktionsweise wichtig.

## Ergebnisse

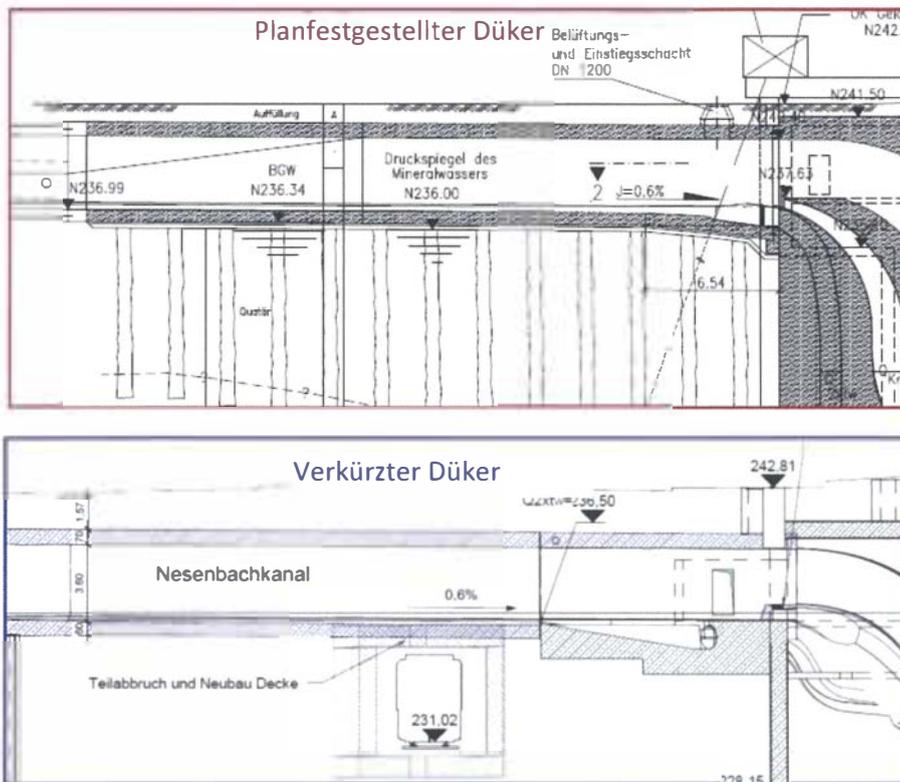


Abbildung 3: Schnitt Zulaufgerinne / Anströmung Oberhaupt

### Hydraulische Bewertung:

In Bezug auf die Länge, die Querschnittsflächen und das Gefälle ergeben sich beim verkürzten Düker keine höheren Fließ- bzw. Energieverluste, so dass das maximale Rückstauniveau nicht negativ beeinflusst wird.

### 3.3. Dükeroberhaupt

Im Dükeroberhaupt wird der aus dem Kanal ankommende Abfluss auf die drei Dükerstränge  $Q_{max}$ ,  $Q_{crit}$  und  $Q_{2tw}$  aufgeteilt. Diese Grundkonzeption und auch die relativen Höhenlagen der Trennlippen wurden bei der Planung des verkürzten Dükers beibehalten. Auf Grund von räumlichen Zwangspunkten erfolgt beim verkürzten Düker das Ausschwenken des  $Q_{2tw}$  Querschnitts weiter Oberstrom.

Grundsätzliche Unterschiede in den Oberhäuptern der beiden Dükervarianten bestehen bei der Abstiegshöhe und der Linienführung der Übergangsbereiche zu den tief liegenden Dükerleitungen (vgl. Abbildung 4).

Ergebnisse

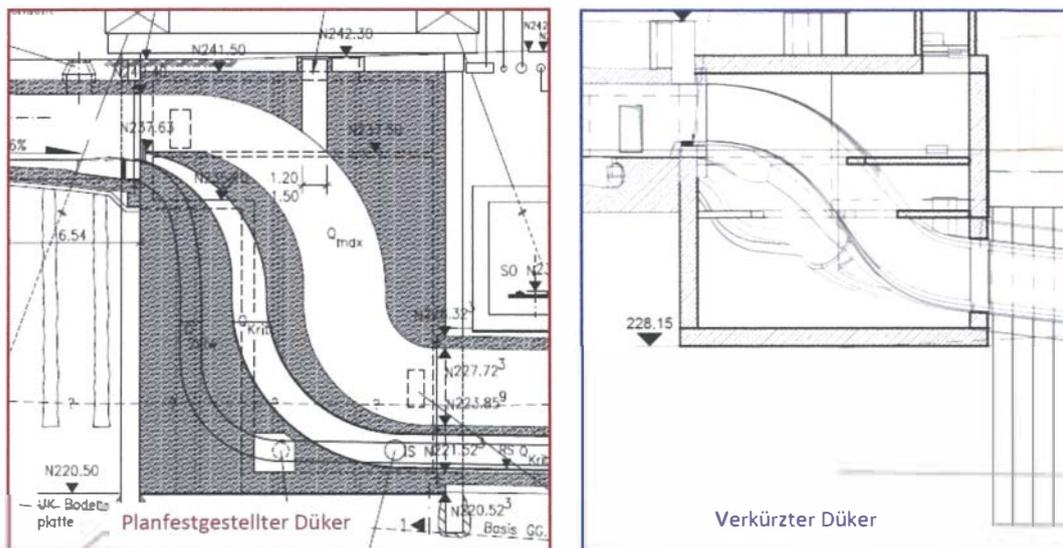


Abbildung 4: Schnitt Oberhaupt

Wie aus Abbildung 4 hervorgeht wurde beim verkürzten Düker die Abstiegshöhe um ca. 6,0 m reduziert. Hierdurch ergab sich auch die Möglichkeit, die Umlenkwinkel im Bereich des Abstieges des verkürzten Dükers zu reduzieren, was geringer Umlenkenverluste verursacht. Bei den Untersuchungen zum planfestgestellten Düker wurde ermittelt, dass die lokalen Verluste (Umlenkenverluste im Ober- und Unterhaupt) des gesamten Dükers mit einer Energiehöhe von 1,26 m in etwa 55 % der Gesamtverluste ausmachen.

Der verkürzte Düker hat in der Tieflage einen größeren  $Q_{\max}$ -Querschnitt (vgl. Kapitel 3.4), so dass auch im Übergangsstück zwischen Zulaufkanal und Tieflage  $Q_{\max}$ -Querschnitt langsam aufgeweitet wird. Durch die hierdurch induzierte Reduktion der Fließgeschwindigkeit kommt es zu einer zusätzlichen Reduktion der lokalen Verluste.

In den Übergangs- und Verschwenkungsbereichen der einzelnen Teilsträngen herrscht bei allen Betriebszuständen Druckabfluss, so dass die veränderte Linienführung im Vergleich zum planfestgestellten Düker zu keiner signifikanten Veränderung der hydraulischen Verluste führt.

**Hydraulische Bewertung:**

Bedingt durch die geringe Abstiegstiefe und die insgesamt gestrecktere Linienführung des  $Q_{\max}$ -Querschnittes fallen die im Oberhaupt des verkürzten Dükers verursachten Energiehöhenverluste kleiner aus als im planfestgestellten Düker, so dass hinsichtlich des Rückstauniveaus im Hochwasserfall im Vergleich zum planfestgestellten Düker eine kleine Reserve geschaffen wurde.

## Ergebnisse

### 3.4. Dükerleitung $Q_{\max}$

Beim verkürzten Düker ist vorgesehen, die drei Teilstränge der Dükerleitung in offener Bauweise zu erstellen. Aus grundwasserhydraulischen Gründen wurde zudem angestrebt, die Tiefenlage der Leitungen unter dem Bahnhof zu reduzieren, so dass ein Rechteckquerschnitt mit ausgerundeten Ecken gewählt wurde. Die Querschnittsfläche wurde um ca. 20 % erhöht, um die kontinuierlichen Reibungsverluste innerhalb des Dükers zu reduzieren und damit eine gewisse Reserve in Bezug auf das Rückstauniveau zu erzielen. Der Vergleich zwischen den beiden  $Q_{\max}$ -Querschnitten ist in Abbildung 6 dargestellt.

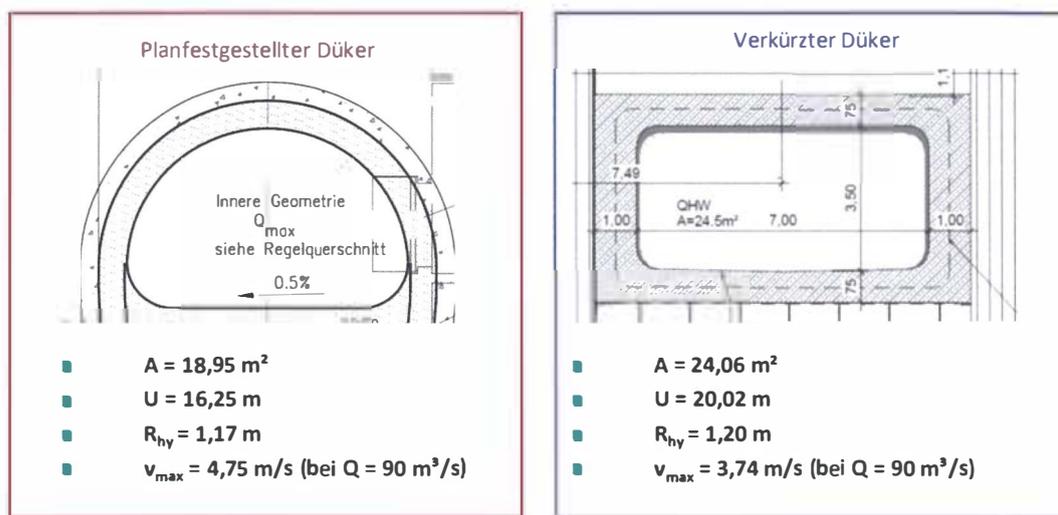


Abbildung 5: Querschnitte Dükerleitung  $Q_{\max}$

Durch die Vergrößerung der Querschnittsfläche des verkürzten Dükers werden diese kontinuierlichen Reibungsverluste um ca. 40 % reduziert. Im Zusammenhang mit den physikalischen Modellversuchen im Jahre 2003 wurde abgeschätzt, dass die kontinuierlichen Reibungsverluste im planfestgestellten Düker einen Energiehöhenverlust von ca. 0,95 m bewirken.

Neben der Querschnittsfläche wurde auch die Tiefenlage des Dükers entlang der Lauflänge verändert. Ausgehend vom Oberhaupt folgt zunächst ein Bereich mit einer Sohlneigung von 11,2° (vgl. Abbildung 5). Ab der Kante des Fernbahntunnels entspricht die Sohlneigung des verkürzten Dükers wieder der des planfestgestellten Dükers. Im Düker herrscht immer Druckabfluss, so dass die Sohlneigung keinen signifikanten Einfluss auf das Strömungsverhalten und die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems hat.

Im Bereich mit 11,2° Sohlneigung wird aus betrieblichen Gründen die Sohle in einem Teilbereich des Querschnitts treppenartig ausgeführt, um eine gefahrenlose Begehung vom Oberhaupt aus zu ermöglichen. Der hydraulische Einfluss dieser Sohlgestaltung wird als untergeordnet angesehen.

## Ergebnisse

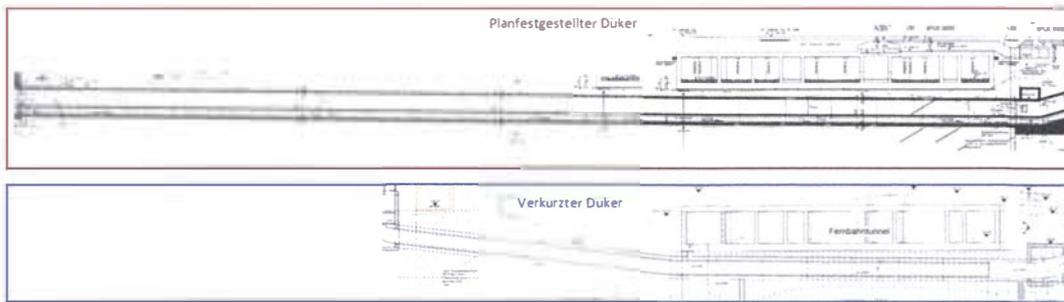


Abbildung 6: Schnitt Dükerleitung  $Q_{\max}$

### **Hydraulische Bewertung:**

In Folge der Vergrößerung des  $Q_{\max}$ -Querschnittes beim verkürzten Düker werden die kontinuierlichen Verluste reduziert, so dass hinsichtlich des Rückstauniveaus im Hochwasserfall eine kleine Reserve geschaffen wurde.

### **3.5. Einstiege Dükerleitungen $Q_{\max}$ / $Q_{\text{krit}}$**

Von Seiten der SES wurde die Forderung gestellt, am Ende der Fallstrecke direkt vor dem Tiefbahnhof jeweils ein seitlicher Einstieg in die Dükerleitungen  $Q_{\max}$  und  $Q_{\text{krit}}$  anzuordnen. Hintergrund dieser Forderung sind die Sicherheitsvorgaben bezüglich der Länge der Fluchtwege.

Abbildung 7 zeigt die planerische Umsetzung dieser Forderung

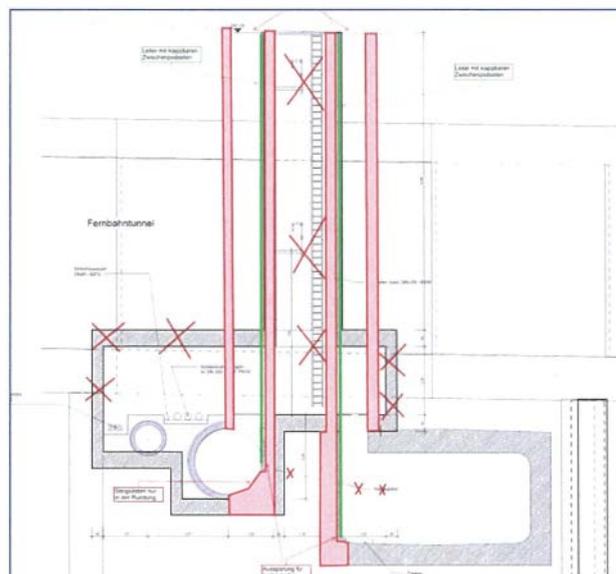


Abbildung 7: Seitliche Einstiege in die Dükerleitungen am Ende der Fallstrecke

Bei erhöhter Abflussführung des HS-Nesenbach kommt es zu einem Anspringen der beiden größeren Dükerleitungen. Auf Grund der tiefen Lage der Dükerleitungen liegt demzufolge immer

## Ergebnisse

---

Druckabfluss vor und die Zustiegsschächte sind deutlich eingestaut. Bedingt durch die geringe Längsentwicklung der Einstiegsschächte können keine großen Rücklaufzonen, die maßgeblich für die Energieverluste verantwortlich sind, in den Nischen angefacht werden. Die fest installierten Zustiegsleitern sind strömungsgünstig außerhalb des eigentlichen Abflussprofils angeordnet.

### **Hydraulische Bewertung:**

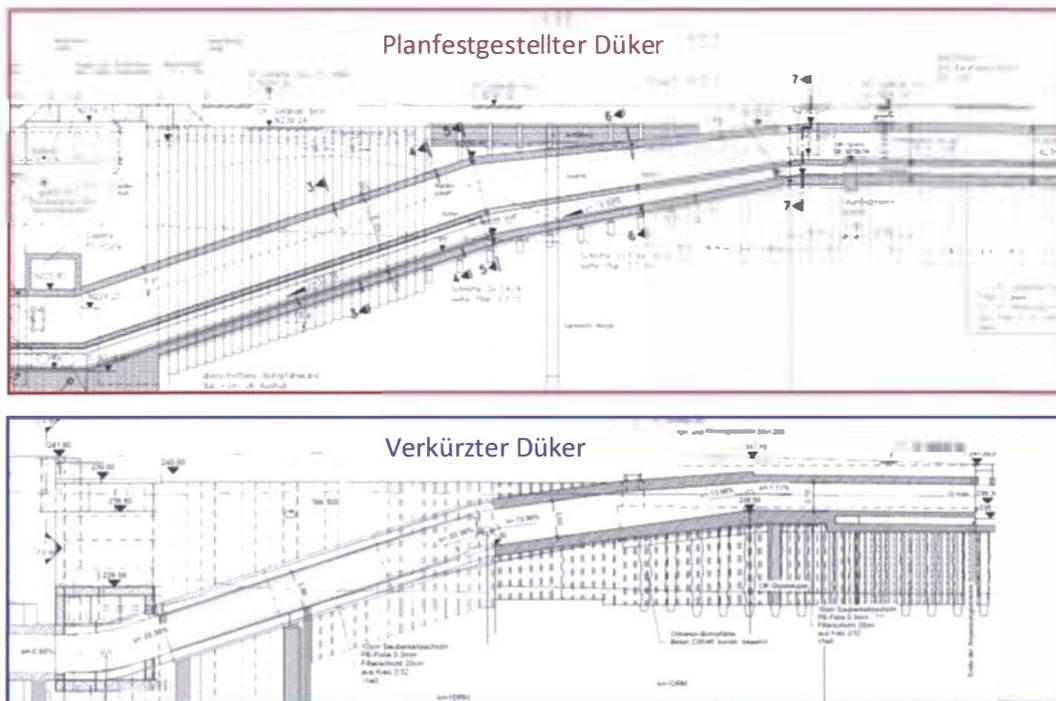
Die durch die Einstiegsöffnungen induzierten sehr geringen zusätzlichen hydraulischen Verluste wirken sich nicht auf die Funktionalität und Betriebssicherheit des Dükers aus. Das maximale Rückstauniveau wird nicht signifikant beeinflusst.

### **3.6. Unterhaupt**

In Kapitel 3.3 wurde das Konzept des Oberhauptes erläutert, bei dem der Abfluss im HS-Nesenbach auf die drei Dükerstränge aufgeteilt wird. Im Bereich der tiefliegende Dükerstrecke liegen beim verkürzten Düker die drei Querschnitte  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\text{crit}}$ , und  $Q_{2\text{tw}}$  nebeneinander. Beim planfestgestellten Düker sind diese z.T. übereinander angeordnet.

Hieraus ergeben sich auch am Unterhaupt bauliche Veränderungen, da beim verkürzten Düker in der zum Unterhaupt ansteigenden Leitung die beiden Querschnitte  $Q_{\text{crit}}$ , und  $Q_{2\text{tw}}$  wieder unter den  $Q_{\max}$ -Querschnitt verschwenkt werden. Abbildung 8 zeigt die beiden Dükervarianten im Schnitt.

## Ergebnisse



**Abbildung 8: Schnitt Unterhaupt**

Die geometrischen Verhältnisse im Bereich der Zusammenführung der drei Teilstränge wurden beibehalten, so dass sich hinsichtlich der eigentlichen Konzeption keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Dükervarianten am Unterhaupt ergeben.

Einen maßgeblichen Einfluss auf die lokalen Verluste am Unterhaupt im Hochwasserfall hat der Querschnittsverzug des  $Q_{\max}$ -Stranges am unterstromigen Ende des Dükers, da es hier zu einer leichten Beschleunigung der Strömung kommt. Auch in diesem Bereich wurde die charakteristische Geometrie des planfestgestellten Dükers auf den verkürzten Düker übertragen.

### **Hydraulische Bewertung:**

In Bezug auf die geometrischen Verhältnisse am Unterhaupt ergeben sich beim verkürzten Düker keine höheren Fließ- bzw. Energieverluste, so dass das maximale Rückstauniveau nicht negativ beeinflusst wird.

### **3.7. Betriebliche Aspekte**

Neben dem Nachweis der hydraulischen Machbarkeit muss auch beim verkürzten Düker sichergestellt sein, dass auch betriebliche Aspekte, wie z.B. der Durchtransport von Feststoffen durch die Dükerstränge, keine funktionale Verschlechterung des verkürzten Dükers gegenüber dem planfestgestellten erzeugen. Im Folgenden werden die betrieblichen Aspekte Feststofftransportvermögen und Verklausung/Verlegung diskutiert.

## Ergebnisse

**3.7.1. Feststofftransportvermögen**

Bereits in der Machbarkeitsstudie 1997 und den Untersuchungen 2003 wurde analysiert, ob im Düker bei Hochwasserabfluss ein ausreichendes Feststofftransportvermögen gegeben ist, um dauerhafte Ablagerungen zu verhindern. Die Ergebnisse zeigten, dass bei den gegebenen geometrischen und hydraulischen Randbedingungen die Schubspannungen so groß sind, dass ein Feststoffgemisch mit einem mittleren Korndurchmesser  $d_{50} = 32,2$  mm aus dem Düker ausgetragen wird. Da nach Aussagen des Tiefbauamtes Stuttgart beim HS Nesenbach mit einer Sedimentfracht vom  $d_m < 5,0$  mm zu rechnen ist, konnte keine Gefahr von dauerhaften Sedimentablagerungen erkannt werden.

Die im Dükerstrang herrschende Schubspannung beim Bemessungshochwasser wird maßgeblich von der Fließgeschwindigkeit bestimmt. Bei der Variante des verkürzten Dükers ist vorgesehen, den Dükerstrang  $Q_{max}$  als ausgerundeten Rechteckquerschnitt mit einer Querschnittsfläche von ca.  $24,0$  m<sup>2</sup> auszuführen. Beim planfestgestellten Düker 2003 betrug die Querschnittsfläche ca.  $19,0$  m<sup>2</sup> (vgl. Abbildung 5). Die maximale Fließgeschwindigkeit im Dükerstrang  $Q_{max}$  reduziert sich gegenüber der Variante 2003 demnach um ca. 20 % auf  $3,75$  m/s. Die hierdurch hervorgerufene Reduktion der Schubspannungen liegt bei ca. 62 %.

Auf Grund der oben aufgezeigten großen Sicherheit hinsichtlich des Feststofftransportvermögens der tatsächlich auftretenden Sedimente kann auch bei einer Reduktion der maximalen Schubspannungen um 62 % aus Sicht des IWG keine signifikant gesteigerte Gefahr von dauerhaften Sedimentablagerungen beim Bemessungshochwasser ( $Q_{max}$ -Querschnitt  $Q = 90$  m<sup>3</sup>/s) im Dükerstrang  $Q_{max}$  erkannt werden. An den Querschnittsflächen der beiden Teilstränge  $Q_{crit}$  und  $Q_{2tw}$  wurde keine Veränderung vorgenommen, so dass die Untersuchungsergebnisse zum Feststofftransportvermögen des planfestgestellten Dükers weiterhin Bestand haben.

**3.7.2. Verklausung / Verlegung**

Im Rahmen der Untersuchungen zum planfestgestellten Düker wurden auch die Verklausungsgefährdung z.B. der Teilstränge am Oberhaupt im Bereich der Trennlippe diskutiert. Die projektbegleitende Arbeitsgruppe kam zu dem Ergebnis, dass keine gesteigerte Verklausungs- / Verlegungsgefahr besteht.

Das Konzept des Oberhauptes vom planfestgestellten Düker ist vollständig in den Entwurf des verkürzten Dükers eingeflossen und auch im Bereich des Unterhauptes wurde die Charakteristik der Verzugsstücke der jeweiligen Dükerstränge übernommen. Die Ergebnisse zur Verklausung bzw. Verlegung des planfestgestellten Dükers gelten daher ohne Einschränkung auch für den verkürzten Düker.

---

## 4. Zusammenfassung

Im Jahre 2003 wurden vom Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (heute IWG) Untersuchungen zur hydraulischen und betrieblichen Funktionalität des geplanten Dükers HS Nesenbach durchgeführt und in Absprache mit dem Planer ein optimierter Ausführungsvorschlag für den Düker und seine baulichen Komponenten (Oberhaupt, Unterhaupt, usw.) erarbeitet.

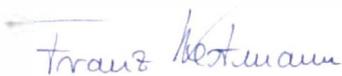
Im Zusammenhang mit dem weiteren Projektfortschritt ergibt sich nun auf Grund von Veränderungen der baulichen Randbedingungen die Möglichkeit, die Länge der eigentlichen Dükerstrecke zu verkürzen.

Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung wurde von der DB Projektbau GmbH beauftragt die hydraulische Machbarkeit des verkürzten Dükers zu bewerten. Hierzu wurden die baulichen Komponenten des Dükers in den beiden Varianten „planfestgestellter Düker“ und „verkürzter Düker“ hinsichtlich der geometrischen Ähnlichkeit untersucht und Unterschiede und Gemeinsamkeiten herausgearbeitet. In einem zweiten Schritt erfolgte aufbauend auf den Erkenntnissen der Untersuchungen aus dem Jahre 2003 an einem physikalischen Modell die Bewertung hinsichtlich der hydraulischen Funktion.

**Die Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass der Entwurf BGS/BuP – „verkürzter Düker“ aus hydraulischer Sicht hinsichtlich des Rückstauniveaus dem planfestgestellten Düker aus dem Jahre 2003 als gleichwertig zu bezeichnen ist. Das im Hochwasserfall ( $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) zu erwartende Rückstauniveau am oberstromigen Anschluss an den Bestand liegt ebenfalls in dem bei den Untersuchungen aus dem Jahre 2003 prognostizierten Wasserstandsbereich von 240,40 bis 240,70 mNN.**

Neben den hydraulischen Aspekten wurden auch Fragen des Betriebes diskutiert. Hierbei konnte aufgezeigt werden, dass auch beim verkürzten Düker sichergestellt ist, dass Feststoffe mit der Strömung aus dem Dükerbauwerk ausgetragen werden.

Karlsruhe, Mai 2013



Prof. Dr.-Ing. F. Nestmann, Ordinarius

Inhalt

---

## Inhalt

<b>1. Veranlassung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Untersuchungsmethodik.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>5</b>
3.1. Linienführung und Länge des gesamten Bauwerks.....	5
3.2. Zulaufgerinne/Anströmung Dükeroberhaupt .....	5
3.3. Dükeroberhaupt .....	7
3.4. Dükerleitung $Q_{\max}$ .....	9
3.5. Einstiege Dükerleitungen $Q_{\max} / Q_{\text{krit}}$ .....	10
3.6. Unterhaupt.....	11
3.7. Betriebliche Aspekte .....	12
3.7.1. Feststofftransportvermögen .....	13
3.7.2. Verklausung / Verlegung .....	13
<b>4. Zusammenfassung .....</b>	<b>14</b>

## Veranlassung und Aufgabenstellung

## 1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Rahmen des Neubaus des Tiefbahnhofes in Stuttgart muss der Hauptsammler Nesenbach mittels eines Dükers unter dem Bahnhofsbauwerk hindurchgeführt werden. Die örtlichen Gegebenheiten und die maximal möglichen Rückstauniveaus im sensiblen innerstädtischen Bereich können mit einem Standardbauwerk nicht ausreichend berücksichtigt werden, so dass mit einem umfassenden wasserbaulichen Modellversuch am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe im Jahre 2003 ein hinsichtlich der hydraulischen und betrieblichen Fragestellungen optimiertes Dükerbauwerk entwickelt wurde. Die Untersuchungsergebnisse wurden mit dem Bericht vom 28.11.2003 an den Auftraggeber DB ProjektBau GmbH übergeben.

Im Zuge des weiteren Projektfortschrittes ergibt sich nun auf Grund von neuen örtlichen Randbedingungen die Möglichkeit, das Dükerbauwerk des Hauptsammler (HS) Nesenbach verkürzt zu gestalten. Die Linienführung des verkürzten Dükers ist in Abbildung 1 der bisher planfestgestellten Linienführung gegenübergestellt. Die grundlegende Konzeption der baulichen Komponenten des Dükers (Anlaufstrecke, Oberhaupt, Dükerleitung, Unterhaupt etc.) wurden vom planfestgestellten Düker übernommen.

Als wesentliche Veränderung ergibt sich, dass beim verkürzten Düker das Oberhaupt um ca 75 m in Fließrichtung verschoben wird und nun neben der Schillerstraße angeordnet wird. Das Konzept des Oberhauptes mit seinen Trennlippen bleibt unverändert

Die eigentliche Dükerleitung des verkürzten Dükers wird abweichend von den bisherigen Planungen in offener Bauweise erstellt, so dass hier anstelle des bergmännischen Profils ein Rechteckprofil mit ausgerundeten Ecken vorgesehen ist.

In der Tieflage des verkürzten Dükers liegen die drei Dükerleitungen ( $Q_{\max}$ ,  $Q_{\text{crit}}$ ,  $Q_{2\text{tw}}$ ) nebeneinander, so dass am Übergang zum Unterhaupt eine Rückverschwenkung der beiden Teilstränge  $Q_{\text{crit}}$  und  $Q_{2\text{tw}}$  unter den  $Q_{\max}$  Querschnitt eingeplant ist, um hinsichtlich der Konzeption des Unterhauptes keine wesentlichen Veränderungen im Vergleich zum planfestgestellten Düker zu erhalten. Abbildung 1 zeigt die beiden Dükervarianten in der Draufsicht.



Abbildung 1: Linienführung der beiden Dükervarianten HS Nesenbach

## Veranlassung und Aufgabenstellung

---

Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung wurde von der DB Projektbau GmbH beauftragt, die hydraulische Machbarkeit dieser neuen Dükervariante nach zu weisen. Hierzu wurden die baulichen Komponenten des mittellangen Dükers mit den Komponenten des bereits untersuchten und nachgewiesenen planfestgestellten Dükers verglichen und im Rahmen einer Analogiebetrachtung die geometrischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede hinsichtlich des hydraulischen Verhaltens bewertet. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse dieses Vergleichs zusammen.

## 2. Untersuchungsmethodik

Der entsprechende Abschnitt des HS Nesenbach und das geplante Dükerbauwerk war bereits Gegenstand mehrerer Untersuchungen. Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) hat im Jahr 1997 eine Machbarkeitsstudie bearbeitet und im Jahre 2003 wurden umfangreiche wasserbauliche Modellversuche zur hydraulischen und betrieblichen Funktionalität an einem physikalischen Modell im Maßstab 1:14 durchgeführt.

Auf Grund der Komplexität des Strömungsgeschehens und der Sensitivität des Rückstauverhaltens des Dükers hinsichtlich Veränderungen der Geometrie wurde bei der Überarbeitung der Planung im Zuge der Variante „verkürzter Düker“ darauf geachtet, die baulichen Elemente des planfestgestellten Dükers zu übernehmen und die baulichen Anpassungen auf ein Minimum zu reduzieren.

Auf Grund der großen Übereinstimmung der geometrischen und konzeptionellen Gegebenheiten zwischen dem planfestgestellten Düker und der Planung zum verkürzten Düker und aufbauend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen der beiden Untersuchungen hat das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, KIT entschieden, den Nachweis der hydraulischen Machbarkeit über eine Analogiebetrachtung der baulichen Komponenten der beiden Dükervarianten zu erbringen. Auf eine weiterführende wasserbauliche Untersuchung wurde verzichtet.

Folgende Komponenten des Dükers wurden detailliert betrachtet und die baulichen Veränderungen hinsichtlich des hydraulischen Verhaltens qualitativ bewertet:

- Linienführung und Länge des gesamten Bauwerks
- Zulaufgerinne/Anströmung Dükeroberhaupt
- Dükeroberhaupt
- Dükerleitung  $Q_{\max}$
- Unterhaupt

Die Ergebnisse der Gegenüberstellung zwischen planfestgestellten Düker und verkürzten Düker werden in Kapitel 3 vorgestellt. Für die Bewertung wurde auf folgende Datengrundlage zurückgegriffen:

- Planfestgestellter Düker: Pläne 5.5.1 bis 5.5.10, Planungsstand 24.07.2009
- Verkürzter Düker: Pläne 7.6.1, 7.6.2, 7.6.3, 7.6.7, 7.6.8, Arbeitsstand 26.04.2013

---

### 3. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Vergleichs der baulichen Komponenten des planfestgestellten Dükers und des verkürzten Dükers vorgestellt und die geometrischen Unterschiede herausgearbeitet. In einem zweiten Schritt erfolgt eine qualitative Bewertung der geometrischen Unterschiede in Bezug auf die hydraulischen Aspekte wie z.B. Strömungsgeschehen und Energieverluste. Neben den hydraulischen Gegebenheiten werden auch die betrieblichen Aspekte der beiden Dükervarianten diskutiert.

#### 3.1. Linienführung und Länge des gesamten Bauwerks

In Abbildung 1 sind die Grundrisse der beiden Dükervariante HS Nesenbach dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der verkürzte Düker die gleiche Trassierung aufweist wie der planfestgestellte Düker. Durch die Verschiebung des Oberhauptes um ca. 75 m in Fließrichtung weist die eigentliche Dükerstrecke in der Variante „verkürzter Düker“ eine geringere Länge auf, dafür ist die Zulaufstecke, in der auch im Hochwasserfall Freispiegelabfluss herrscht, länger. Die Gesamtlänge der beiden Varianten ist identisch.

Die unterschiedlichen Längen mit Freispiegelabfluss in der Zulaufstecke bzw. mit Druckabfluss im Düker wirken sich nicht signifikant auf die Energieverluste des Gesamtsystems aus, da die kontinuierlichen Fließverluste maßgeblich von der Wandrauheit und der Fließgeschwindigkeit beeinflusst werden und sich die Querschnittsflächen in den beiden Teilbereichen nur gering unterscheiden.

##### **Hydraulische Bewertung:**

In Bezug auf die Linienführung und die Länge des Gesamtsystems ergeben sich beim verkürzten Düker keine höheren Fließ- bzw. Energieverluste, so dass das maximale Rückstauniveau nicht negativ beeinflusst wird.

#### 3.2. Zulaufgerinne/Anströmung Dükeroberhaupt

In Folge der Verschiebung des Oberhauptes fällt die Länge der Zulaufstrecke mit Freispiegelabfluss beim verkürzten Düker länger aus. Aus Abbildung 2 geht hervor, dass diese Verlängerung im Wesentlichen durch den Einschub eines Rechteckquerschnittes 520 x 360 erreicht wird. Die Verlängerung mit der Breite von 5,20 m ist notwendig, da es ansonsten zu räumlichen Konflikten im Bereich des Königin-Katharina-Stift und des Kabelschachtes der Telekom kommen würde.

Die Querschnittsfläche dieses Abschnittes liegt mit 18,75 m<sup>2</sup> in der gleichen Größenordnung wie die Querschnittsfläche des planfestgestellten  $Q_{\max}$ -Querschnittes ( $A = 18,95 \text{ m}^2$ ), so dass sich hieraus keine signifikanten Veränderungen in den Fließverlusten des Gesamtsystems ergeben.

Ergebnisse

Die Längen und die Knicke in der Linienführung im Bereich der Übergangsstücke sind als ähnlich zu bezeichnen. Die eigentliche Anströmstrecke mit dem Querschnitt 600 x 360 ( $A = 21,6 \text{ m}^2$ ) fällt beim verkürzten Düker etwas länger aus.

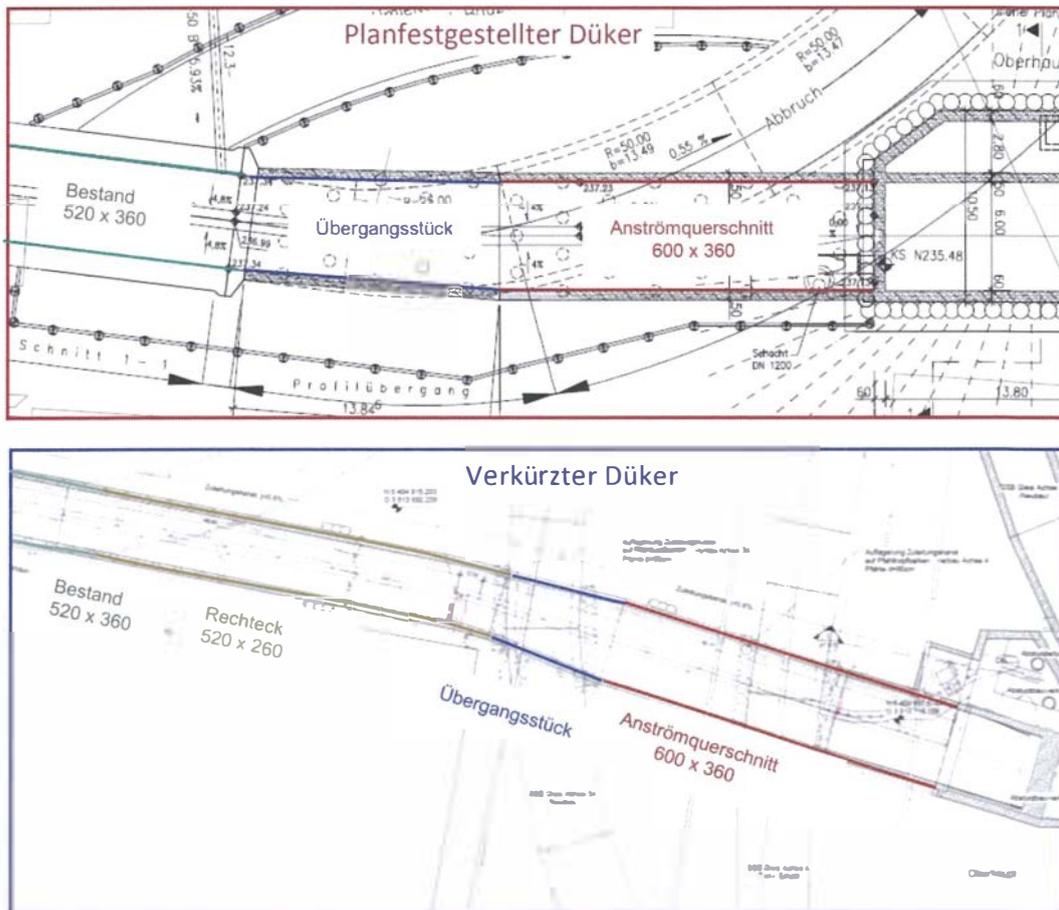


Abbildung 2: Grundriss Zulaufgerinne / Anströmung Oberhaupt

In Abbildung 2 sind die Zulaufkanäle der beiden Dükervarianten im Schnitt dargestellt. Die Sohlneigung in der Anströmstrecke beträgt jeweils 0,6 %. Durch die identisch Querschnittsfläche, Wandrauheit und Sohlneigung ist sichergestellt, dass es zu keiner Veränderung der Wasserstands-Abfluss-Beziehung am Oberhaupt kommt. Dieser Aspekt ist für das gewählte Konzept des Oberhauptes, bei dem der Volumenstrom aus dem Freispiegelkanal mittels verschiedener Trennlippen auf die drei Dückerstränge aufgeteilt wird, für die korrekte Funktionsweise wichtig.

Ergebnisse

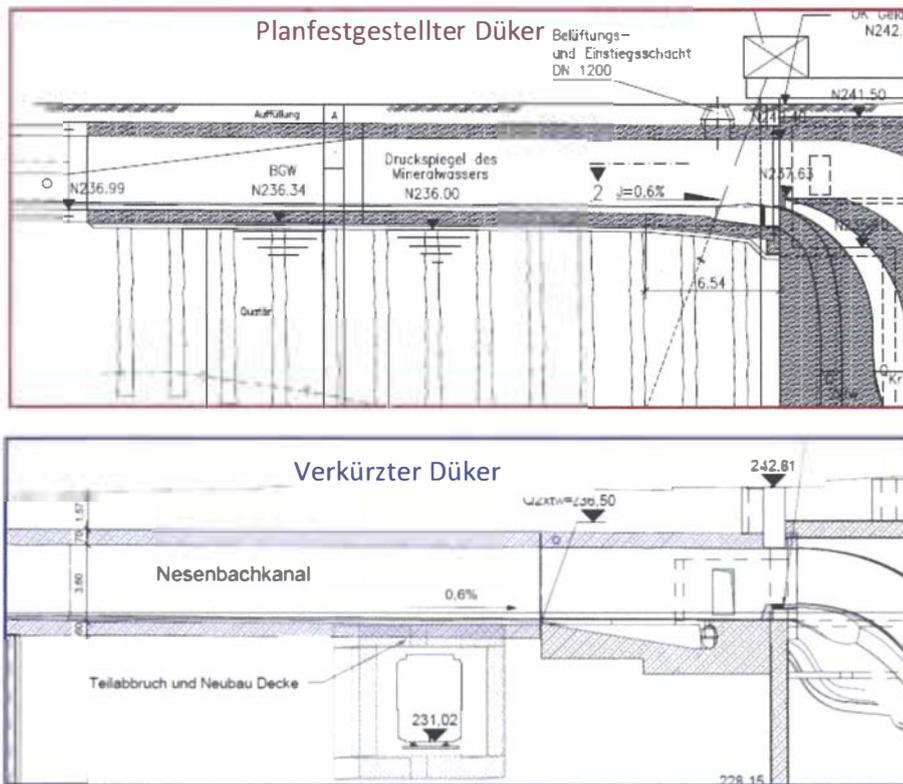


Abbildung 3: Schnitt Zulaufgerinne / Anströmung Oberhaupt

**Hydraulische Bewertung:**

In Bezug auf die Länge, die Querschnittsflächen und das Gefälle ergeben sich beim verkürzten Düker keine höheren Fließ- bzw. Energieverluste, so dass das maximale Rückstauniveau nicht negativ beeinflusst wird.

**3.3. Dükeroberhaupt**

Im Dükeroberhaupt wird der aus dem Kanal ankommende Abfluss auf die drei Dükerstränge  $Q_{max}$ ,  $Q_{crit}$  und  $Q_{2tw}$  aufgeteilt. Diese Grundkonzeption und auch die relativen Höhenlagen der Trennlippen wurden bei der Planung des verkürzten Dükers beibehalten. Auf Grund von räumlichen Zwangspunkten erfolgt beim verkürzten Düker das Ausschwenken des  $Q_{2tw}$  Querschnitts weiter Oberstrom.

Grundsätzliche Unterschiede in den Oberhäuptern der beiden Dükervarianten bestehen bei der Abstiegshöhe und der Linienführung der Übergangsbereiche zu den tiefliegenden Dükerleitungen (vgl. Abbildung 4).

Ergebnisse

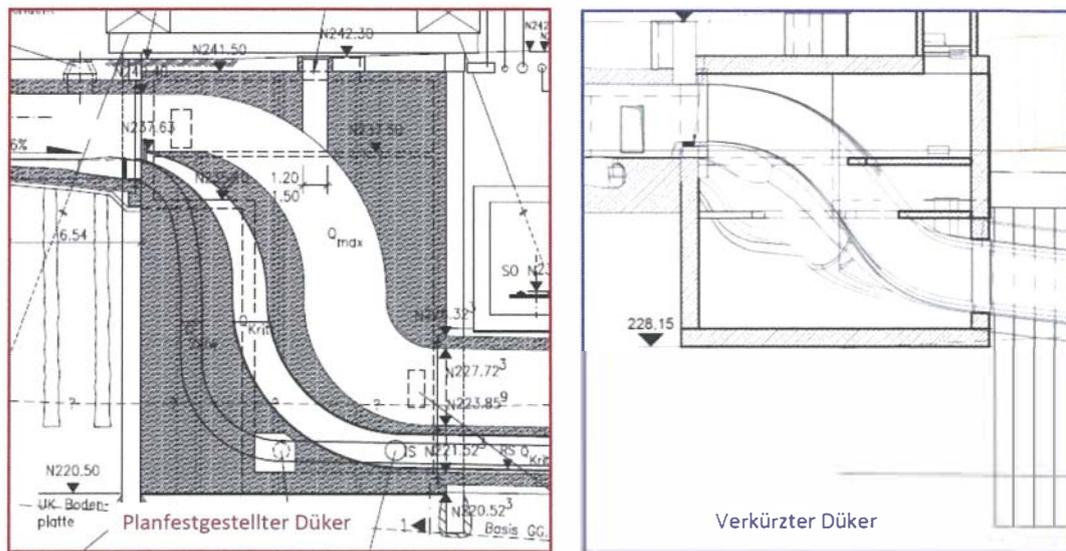


Abbildung 4: Schnitt Oberhaupt

Wie aus Abbildung 4 hervorgeht wurde beim verkürzten Düker die Abstieghöhe um ca. 6,0 m reduziert. Hierdurch ergab sich auch die Möglichkeit, die Umlenkwinkel im Bereich des Abstieges des verkürzten Dükers zu reduzieren, was geringer Umlenkverluste verursacht. Bei den Untersuchungen zum planfestgestellten Düker wurde ermittelt, dass die lokalen Verluste (Umlenkverluste im Ober- und Unterhaupt) des gesamten Dükers mit einer Energiehöhe von 1,26 m in etwa 55 % der Gesamtverluste ausmachen.

Der verkürzte Düker hat in der Tieflage einen größeren  $Q_{max}$ -Querschnitt (vgl. Kapitel 3.4), so dass auch im Übergangsstück zwischen Zulaufkanal und Tieflage  $Q_{max}$ -Querschnitt langsam aufgeweitet wird. Durch die hierdurch induzierte Reduktion der Fließgeschwindigkeit kommt es zu einer zusätzlichen Reduktion der lokalen Verluste.

In den Übergangs- und Verschwenkungsbereichen der einzelnen Teilsträngen herrscht bei allen Betriebszuständen Druckabfluss, so dass die veränderte Linienführung im Vergleich zum planfestgestellten Düker zu keiner signifikanten Veränderung der hydraulischen Verluste führt.

**Hydraulische Bewertung:**

Bedingt durch die geringe Abstieftiefe und die insgesamt gestrecktere Linienführung des  $Q_{max}$ -Querschnittes fallen die im Oberhaupt des verkürzten Dükers verursachten Energiehöhenverluste kleiner aus als im planfestgestellten Düker, so dass hinsichtlich des Rückstauniveaus im Hochwasserfall im Vergleich zum planfestgestellten Düker eine kleine Reserve geschaffen wurde.

## Ergebnisse

### 3.4. Dükerleitung $Q_{\max}$

Beim verkürzten Düker ist vorgesehen, die drei Teilstränge der Dükerleitung in offener Bauweise zu erstellen. Aus grundwasserhydraulischen Gründen wurde zudem angestrebt, die Tiefenlage der Leitungen unter dem Bahnhof zu reduzieren, so dass ein Rechteckquerschnitt mit ausgerundeten Ecken gewählt wurde. Die Querschnittsfläche wurde um ca. 20 % erhöht, um die kontinuierlichen Reibungsverluste innerhalb des Dükers zu reduzieren und damit eine gewisse Reserve in Bezug auf das Rückstauniveau zu erzielen. Der Vergleich zwischen den beiden  $Q_{\max}$ -Querschnitten ist in Abbildung 6 dargestellt.

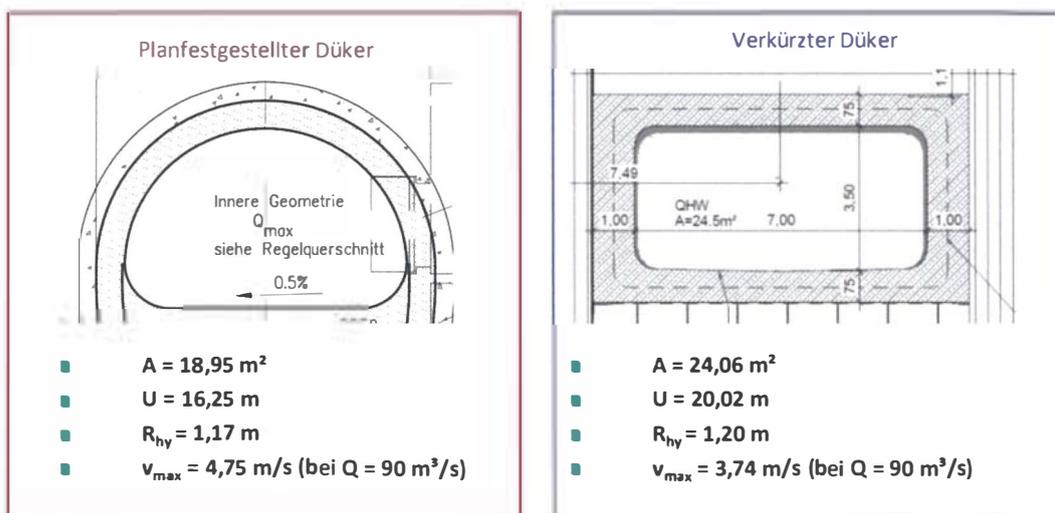


Abbildung 5: Querschnitte Dükerleitung  $Q_{\max}$

Durch die Vergrößerung der Querschnittsfläche des verkürzten Dükers werden diese kontinuierlichen Reibungsverluste um ca. 40 % reduziert. Im Zusammenhang mit den physikalischen Modellversuchen im Jahre 2003 wurde abgeschätzt, dass die kontinuierlichen Reibungsverluste im planfestgestellten Düker einen Energiehöhenverlust von ca. 0,95 m bewirken.

Neben der Querschnittsfläche wurde auch die Tiefenlage des Dükers entlang der Lauflänge verändert. Ausgehend vom Oberhaupt folgt zunächst ein Bereich mit einer Sohlneigung von  $11,2^\circ$  (vgl. Abbildung 5). Ab der Kante des Fernbahntunnels entspricht die Sohlneigung des verkürzten Dükers wieder der des planfestgestellten Dükers. Im Düker herrscht immer Druckabfluss, so dass die Sohlneigung keinen signifikanten Einfluss auf das Strömungsverhalten und die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems hat.

Im Bereich mit  $11,2^\circ$  Sohlneigung wird aus betrieblichen Gründen die Sohle in einem Teilbereich des Querschnitts treppenartig ausgeführt, um eine gefahrenlose Begehung vom Oberhaupt aus zu ermöglichen. Der hydraulische Einfluss dieser Sohlgestaltung wird als untergeordnet angesehen.

## Ergebnisse

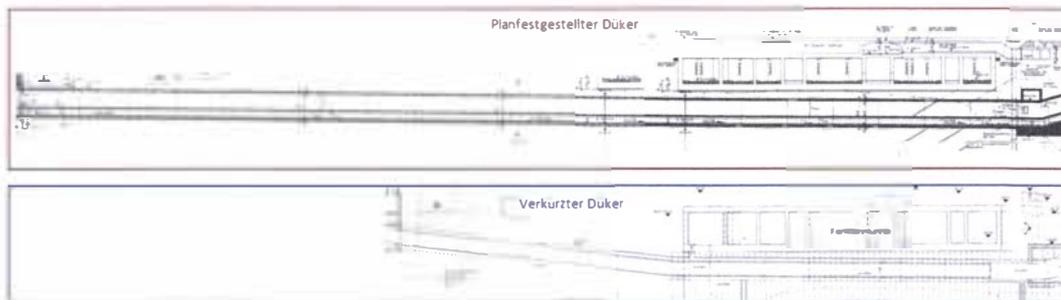


Abbildung 6: Schnitt Dükerleitung  $Q_{max}$

### Hydraulische Bewertung:

In Folge der Vergrößerung des  $Q_{max}$ -Querschnittes beim verkürzten Düker werden die kontinuierlichen Verluste reduziert, so dass hinsichtlich des Rückstauniveaus im Hochwasserfall eine kleine Reserve geschaffen wurde.

### 3.5. Einstiege Dükerleitungen $Q_{max}$ / $Q_{krit}$

Von Seiten der SES wurde die Forderung gestellt, am Ende der Fallstrecke direkt vor dem Tiefbahnhof jeweils ein seitlicher Einstieg in die Dükerleitungen  $Q_{max}$  und  $Q_{krit}$  anzuordnen. Hintergrund dieser Forderung sind die Sicherheitsvorgaben bezüglich der Länge der Fluchtwege.

Abbildung 7 zeigt die planerische Umsetzung dieser Forderung

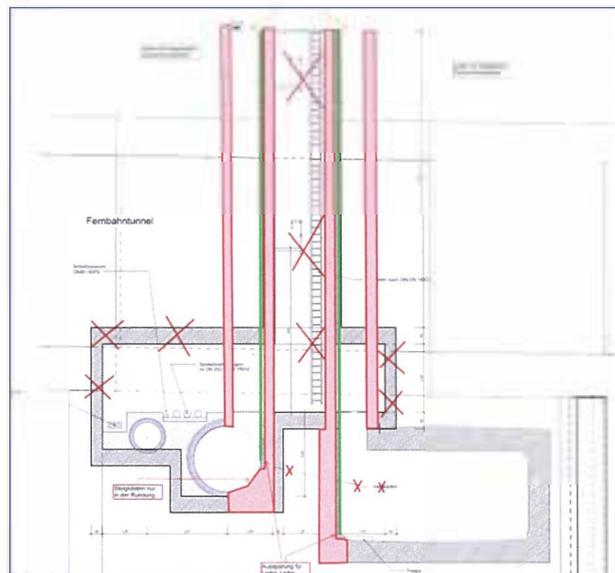


Abbildung 7: Seitliche Einstiege in die Dükerleitungen am Ende der Fallstrecke

Bei erhöhter Abflussführung des HS-Nesenbach kommt es zu einem Anspringen der beiden größeren Dükerleitungen. Auf Grund der tiefen Lage der Dükerleitungen liegt demzufolge immer

## Ergebnisse

---

Druckabfluss vor und die Zustiegsschächte sind deutlich eingestaut. Bedingt durch die geringe Längsentwicklung der Einstiegsschächte können keine großen Rücklaufzonen, die maßgeblich für die Energieverluste verantwortlich sind, in den Nischen angefacht werden. Die fest installierten Zustiegselemente sind strömungsgünstig außerhalb des eigentlichen Abflussprofils angeordnet.

### **Hydraulische Bewertung:**

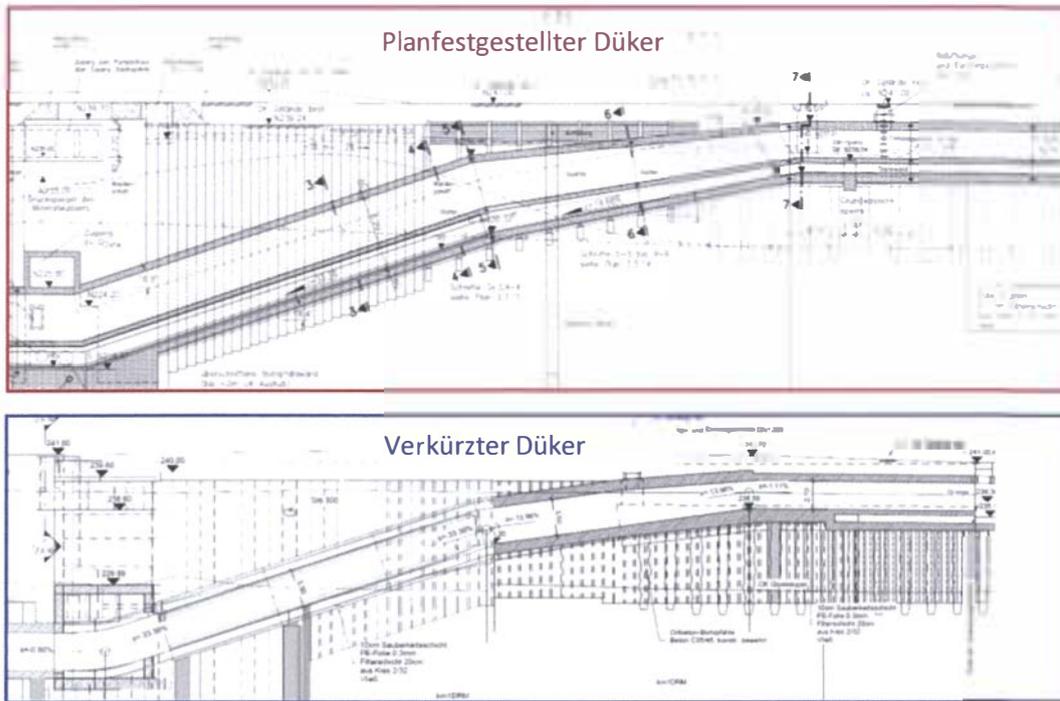
Die durch die Einstiegsöffnungen induzierten sehr geringen zusätzlichen hydraulischen Verluste wirken sich nicht auf die Funktionalität und Betriebssicherheit des Dükers aus. Das maximale Rückstauniveau wird nicht signifikant beeinflusst.

### **3.6. Unterhaupt**

In Kapitel 3.3 wurde das Konzept des Oberhauptes erläutert, bei dem der Abfluss im HS-Nesenbach auf die drei Dükerstränge aufgeteilt wird. Im Bereich der tiefliegende Dükerstrecke liegen beim verkürzten Düker die drei Querschnitte  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\text{crit}}$ , und  $Q_{2\text{tw}}$  nebeneinander. Beim planfestgestellten Düker sind diese z.T. übereinander angeordnet.

Hieraus ergeben sich auch am Unterhaupt bauliche Veränderungen, da beim verkürzten Düker in der zum Unterhaupt ansteigenden Leitung die beiden Querschnitte  $Q_{\text{crit}}$ , und  $Q_{2\text{tw}}$  wieder unter den  $Q_{\max}$ -Querschnitt verschwenkt werden. Abbildung 8 zeigt die beiden Dükervarianten im Schnitt.

Ergebnisse



**Abbildung 8: Schnitt Unterhaupt**

Die geometrischen Verhältnisse im Bereich der Zusammenführung der drei Teilstränge wurden beibehalten, so dass sich hinsichtlich der eigentlichen Konzeption keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Dükervarianten am Unterhaupt ergeben.

Einen maßgeblichen Einfluss auf die lokalen Verluste am Unterhaupt im Hochwasserfall hat der Querschnittsverzug des  $Q_{max}$ -Stranges am unterstromigen Ende des Dükers, da es hier zu einer leichten Beschleunigung der Strömung kommt. Auch in diesem Bereich wurde die charakteristische Geometrie des planfestgestellten Dükers auf den verkürzten Düker übertragen.

**Hydraulische Bewertung:**

In Bezug auf die geometrischen Verhältnisse am Unterhaupt ergeben sich beim verkürzten Düker keine höheren Fließ- bzw. Energieverluste, so dass das maximale Rückstauniveau nicht negativ beeinflusst wird.

**3.7. Betriebliche Aspekte**

Neben dem Nachweis der hydraulischen Machbarkeit muss auch beim verkürzten Düker sichergestellt sein, dass auch betriebliche Aspekte, wie z.B. der Durchtransport von Feststoffen durch die Dükerstränge, keine funktionale Verschlechterung des verkürzten Dükers gegenüber dem planfestgestellten erzeugen. Im Folgenden werden die betrieblichen Aspekte Feststofftransportvermögen und Verkläuserg/Verlegung diskutiert.

## Ergebnisse

**3.7.1. Feststofftransportvermögen**

Bereits in der Machbarkeitsstudie 1997 und den Untersuchungen 2003 wurde analysiert, ob im Düker bei Hochwasserabfluss ein ausreichendes Feststofftransportvermögen gegeben ist, um dauerhafte Ablagerungen zu verhindern. Die Ergebnisse zeigten, dass bei den gegebenen geometrischen und hydraulischen Randbedingungen die Schubspannungen so groß sind, dass ein Feststoffgemisch mit einem mittleren Korndurchmesser  $d_{50} = 32,2$  mm aus dem Düker ausgetragen wird. Da nach Aussagen des Tiefbauamtes Stuttgart beim HS Nesenbach mit einer Sedimentfracht vom  $d_m < 5,0$  mm zu rechnen ist, konnte keine Gefahr von dauerhaften Sedimentablagerungen erkannt werden.

Die im Dükerstrang herrschende Schubspannung beim Bemessungshochwasser wird maßgeblich von der Fließgeschwindigkeit bestimmt. Bei der Variante des verkürzten Dükers ist vorgesehen, den Dükerstrang  $Q_{max}$  als ausgerundeten Rechteckquerschnitt mit einer Querschnittsfläche vom ca.  $24,0$  m<sup>2</sup> auszuführen. Beim planfestgestellten Düker 2003 betrug die Querschnittsfläche ca.  $19,0$  m<sup>2</sup> (vgl. Abbildung 5). Die maximale Fließgeschwindigkeit im Dükerstrang  $Q_{max}$  reduziert sich gegenüber der Variante 2003 demnach um ca. 20 % auf  $3,75$  m/s. Die hierdurch hervorgerufene Reduktion der Schubspannungen liegt bei ca. 62 %.

Auf Grund der oben aufgezeigten großen Sicherheit hinsichtlich des Feststofftransportvermögens der tatsächlich auftretenden Sedimente kann auch bei einer Reduktion der maximalen Schubspannungen um 62 % aus Sicht des IWG keine signifikant gesteigerte Gefahr von dauerhaften Sedimentablagerungen beim Bemessungshochwasser ( $Q_{max}$ -Querschnitt  $Q = 90$  m<sup>3</sup>/s) im Dükerstrang  $Q_{max}$  erkannt werden. An den Querschnittsflächen der beiden Teilstränge  $Q_{crit}$  und  $Q_{2tw}$  wurde keine Veränderung vorgenommen, so dass die Untersuchungsergebnisse zum Feststofftransportvermögen des planfestgestellten Dükers weiterhin Bestand haben.

**3.7.2. Verklausung / Verlegung**

Im Rahmen der Untersuchungen zum planfestgestellten Düker wurden auch die Verklausungsgefährdung z.B. der Teilstränge am Oberhaupt im Bereich der Trennlippe diskutiert. Die projektbegleitende Arbeitsgruppe kam zu dem Ergebnis, dass keine gesteigerte Verklausungs-/Verlegungsgefahr besteht.

Das Konzept des Oberhauptes vom planfestgestellten Düker ist vollständig in den Entwurf des verkürzten Dükers eingeflossen und auch im Bereich des Unterhauptes wurde die Charakteristik der Verzugsstücke der jeweiligen Dükerstränge übernommen. Die Ergebnisse zur Verklausung bzw. Verlegung des planfestgestellten Dükers gelten daher ohne Einschränkung auch für den verkürzten Düker.

Zusammenfassung

## 4. Zusammenfassung

Im Jahre 2003 wurden vom Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (heute IWG) Untersuchungen zur hydraulischen und betrieblichen Funktionalität des geplanten Dükers HS Nesenbach durchgeführt und in Absprache mit dem Planer ein optimierter Ausführungsvorschlag für den Düker und seine baulichen Komponenten (Oberhaupt, Unterhaupt, usw.) erarbeitet.

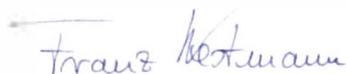
Im Zusammenhang mit dem weiteren Projektfortschritt ergibt sich nun auf Grund von Veränderungen der baulichen Randbedingungen die Möglichkeit, die Länge der eigentlichen Dükerstrecke zu verkürzen.

Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung wurde von der DB Projektbau GmbH beauftragt die hydraulische Machbarkeit des verkürzten Dükers zu bewerten. Hierzu wurden die baulichen Komponenten des Dükers in den beiden Varianten „planfestgestellter Düker“ und „verkürzter Düker“ hinsichtlich der geometrischen Ähnlichkeit untersucht und Unterschiede und Gemeinsamkeiten herausgearbeitet. In einem zweiten Schritt erfolgte aufbauend auf den Erkenntnissen der Untersuchungen aus dem Jahre 2003 an einem physikalischen Modell die Bewertung hinsichtlich der hydraulischen Funktion.

**Die Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass der Entwurf BGS/BuP – „verkürzter Düker“ aus hydraulischer Sicht hinsichtlich des Rückstauniveaus dem planfestgestellten Düker aus dem Jahre 2003 als gleichwertig zu bezeichnen ist. Das im Hochwasserfall ( $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) zu erwartende Rückstauniveau am oberstromigen Anschluss an den Bestand liegt ebenfalls in dem bei den Untersuchungen aus dem Jahre 2003 prognostizierten Wasserstandsbereich von 240,40 bis 240,70 mNN.**

Neben den hydraulischen Aspekten wurden auch Fragen des Betriebes diskutiert. Hierbei konnte aufgezeigt werden, dass auch beim verkürzten Düker sichergestellt ist, dass Feststoffe mit der Strömung aus dem Dükerbauwerk ausgetragen werden.

Karlsruhe, Mai 2013



Prof. Dr.-Ing. F. Nestmann, Ordinarius

