Abschätzung der geforderten Restwassermengen nach „Qualitätszielverordnung – Ökologie“ in Gewässern der Steiermark

Diplomarbeit am

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG)

Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt

an der

Universität für Bodenkultur Wien

Betreuer:

Ao. Univ. Prof. DI Dr. Stefan Schmutz

DI Franz Greimel,

DI Bernhard Zeiringer

Fabian Jung

Wien, 2013

Danksagung

Diese Diplomarbeit wurde im Auftrag der Abteilung 14 A – Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit sowie der Abteilung 15 Energie, Wohnbau und Technik der steirischen Landesregierung in Auftrag gegeben und am Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) verfasst. Hiermit möchte ich mich bei allen Kollegen und Ansprechpersonen für ihre Unterstützung während der Ausarbeitung bedanken und hebe an dieser Stelle Herrn DI Franz Greimel hervor, der einer der Hauptinitiatoren dafür war, dass diese Arbeit überhaupt zustande kam. Danke auch, dass es mir ermöglicht wurde, eine praxisbezogene Diplomarbeit innerhalb meines Interessensbereiches zu schreiben.

Ao. Univ. Prof. DI Dr. Stefan Schmutz

DI Franz Greimel

DI Bernhard Zeiringer

DI Johann Wiedner

DI Urs Lesky

Mag. Barbara Friehs

Mag. Alfred Ellinger

Mag. Jörg Ambrosch

Mag. Volker Strasser

DI Wolfgang Troy

Manfred Knoll

Ganz besonders möchte ich mich auch bei meiner Familie bedanken, die mich zu jeder Zeit unterstützte und mir über Tiefpunkte hinweghalf. In diesem Sinne widme ich diese Diplomarbeit: Mag. Helmut Obergantschnig, Ingrid Jung, Simone Jung und „in memoriam“ Emilie Jung.

Zusammenfassung

Im Jahr 2000 wurde die europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) erlassen. Laut dieser Richtlinie muss bis zum Jahr 2027 in sämtlichen Fließgewässern des Landes zumindest der gute ökologische und chemische Zustand bzw. das gute ökologische Potential erreicht werden. Im Zuge der Umsetzung der EU-WRRL wurde die Qualitätszielverordnung (QZV) im Jahr 2010 erlassen. Darin wurden unter anderem für Restwasserstrecken einzuhaltende Grenzwerte festgelegt, um den geforderten Zielzustand erreichen zu können. Diese Grenzwerte sind einerseits als hydrologisch definierte Mindestrestwasserabgaben (hydrologische Kriterien) und andererseits als einzuhaltende Tiefen- und Fließgeschwindigkeitswerte für die Gewährleistung der Durchgängigkeit in der Restwasserstrecke definiert (hydraulisch/morphologische Kriterien – Anlage G, QZV).

Ziel der gegenständlichen Arbeit ist es, die benötigten Restwassermengen auf Basis der unterschiedlichen Kriterien der QZV unter Berücksichtigung der Flussgröße gegenüberzustellen.

Dazu wurden sämtliche hydrologische Kennzahlen für die untersuchten Restwasserstrecken erhoben. Außerdem konnte durch mehrmalige Begehungen der Restwasserstrecken die benötigte Restwassermenge zur Einhaltung der hydraulisch/morphologischen Kriterien für insgesamt 46 betroffene Gewässerstrecken abgeschätzt werden, wobei Schnellen nach der jeweiligen Schnellenausformung (natürlich/anthropogen) und anhand der vorherrschenden hydraulischen Bedingungen (Furt/Absturz) kategorisiert wurden. Um die unterschiedlichen Flüsse miteinander vergleichen zu können, wurden sämtliche ermittelte Abflussmengen im Verhältnis zum mittleren jährlichen Tagesniederwasser ($MJNQ_t$) ausgedrückt und die Restwasserstrecken nach der Einzugsgebietsgröße kategorisiert.

In den untersuchten Restwasserstrecken mit Einzugsgebietsgrößen kleiner 300 km² ist aus hydrologischer Sicht bei etwa einem Drittel der Strecken das $MJNQ_t$ Kriterium ausschlaggebend, bei größerer Einzugsgebietsfläche ist immer das NQ_t das maßgebliche Kriterium. Die Vorgabe einer dynamischen Restwasserabgabe ist von der Abflussganglinie des jeweiligen Flusses abhängig und somit im Einzelfall zu beurteilen.

Hinsichtlich der hydraulisch/morphologischen Kriterien nach Anlage G erfordert das Kriterium „Schnellentiefe“ in etwa 90% der Fälle die größte Restwasserdotation. Schnellen, welche als Abstürze kategorisiert wurden (künstliche Einbauten und natürliche Kaskaden) benötigen, im Vergleich zu Furten, eine erheblich größere Abflussmenge. In den verbleibenden 10% der Restwasserstrecken ist zur Einhaltung des Kriteriums „Geschwindigkeit im Wanderkorridor“ die größte Abflussmenge nötig, wobei davon ausschließlich Restwasserstrecken mit Einzugsgebietsgrößen von über 600 km² betroffen sind. Die Kriterien „mittlere Schnellengeschwindigkeit“ und „Talwegtiefe“ werden bei sämtlichen Strecken bereits bei vergleichsweise geringerer Restwasserdotation eingehalten.

Die Gegenüberstellung der benötigten Restwassermenge zur Einhaltung der hydrologischen und hydraulisch/morphologischen Kriterien zeigt, dass lediglich bei Flüssen ab einer Einzugsgebietsgröße von 600 km² davon ausgegangen werden kann, dass eine Restwasserabgabe von 50% $MJNQ_t$ die Durchgängigkeit gewährleistet. Bei kleineren Flüssen liegt die benötigte Dotation teilweise im Bereich von $MJNQ_t$ bzw. überschreitet $MJNQ_t$ um ein Vielfaches (bei Flüssen mit als Abstürzen kategorisierten Schnellen).

Aus ökologischer und messtechnischer Sicht konnten Schlussfolgerungen zur Relevanz der einzelnen Kriterien und zur Messmethodik abgeleitet werden. Abschließend werden einige Empfehlungen bezüglich ausreichender Restwasserdotation formuliert.

Abstract

In the year 2000 the Water Framework Directive (EU-WFD) was adopted. According to this directive at least the good ecological and chemical status or the good ecological potential must be achieved in all by 2027. As part of the Austrian Quality Target Ordinance (QTO) tresholds for residual flow were established in 2010 to achieve the objectives of the WFD. Tresholds are defined as both hydrologically defined minimum residual flows (hydrologic criteria) and as depths and velocity values to ensure continuity in the residual flow stretches (hydraulic/morphologic criteria – Annex G, QTO).

The aim of this work is to contrast the individual requirements of QTO with regard to the residual discharge rates under consideration of different river sizes.

First, all hydrologic indicators for the investigated residual flow reaches were collected. In addition, the required residual discharge rate to achieve the hydraulic/morphologic criteria for a total of 46 affected river segments was estimated by repeated inspections of the residual flow stretches. The different morphological structures (including riffles and transverse structures) are categorized according to the type (natural/anthropogenic) and dominant hydraulic conditions (riffle/drop). To be able to compare the different rivers with each other, all calculated discharge rates were expressed as ratio of the mean annual low flow (MALF) and were related to the catchment area.

In rivers with catchment areas of less than 300 km² the criterion MALF is decisive from a hydrological point of view in about 30% of the distances. In bigger catchments it is always the criterion lowest low flow (LLF). The requirement of a dynamic residual discharge rate is dependents on the annual hydrograph of the individual rivers and therefore, has to be examined on an individual basis.

Concerning the hydraulic/morphologic criteria the criterion „depth of the riffle“ is the most critical in 90% of the cases.

Chutes categorized as drops (artificial or natural cascades) require, in comparison to riffles, a considerable larger discharge rate. In the remaining 10% of the residual flow stretches the criterion „thalweg velocity“ is the decisive criterion. Those residual flow reaches have a

catchment area of more than 600 km². The criteria „middle riffle velocity“ and „thalweg depth“ are already fulfilled at lower residual discharge rates.

The comparison of the hydrologic and hydraulic/morphologic criteria for residual water flow assessment shows that only in rivers larger 600 km² catchment area the continuity can be ensured with a residual discharge rate of 50% MALF. In smaller rivers the required discharge rate equals or exceeds MALF several times (at rivers with riffles categorized as drops).

Conclusions were drawn from an ecological and methodological point of view regarding the relevance of the individual criteria. Finally some recommendations for sufficient residual discharge rates are formulated.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung, Fragestellung und Zielsetzung ..... - 1 -

2. Gesetzliche Grundlagen ..... - 4 -

2.1. Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) ..... - 4 -

2.2. Qualitätszielverordnung (QZV) ..... - 5 -

2.2.1. Hydrologisch definierte Vorgaben zur Mindestwassermenge in Restwasserstrecken ..... - 5 -

2.2.2. Hydraulisch/morphologische Vorgaben zur Mindestwassermenge in Restwasserstrecken ..... - 7 -

3. Methodik ..... - 11 -

3.1. Untersuchungsgebiet ..... - 11 -

3.2. Datenerhebung im Vorfeld ..... - 12 -

3.3. Datenerhebung im Freiland ..... - 14 -

3.3.1. Abflussmessung – Bestimmung Restwasserdotation ..... - 14 -

3.3.2. Datenerhebung in der Restwasserstrecke ..... - 15 -

3.3.2.1. Messmethodik/Aufnahme von Schnellen ..... - 17 -

3.3.2.2. Messmethodik zur Bestimmung der mittleren Talwegtiefe/Geschwindigkeit im Wanderkorridor ..... - 24 -

3.4. Abschätzung der benötigten Restwassermenge zur Einhaltung der hydraulisch/morphologischen Vorgaben nach QZV – Anlage G ..... - 25 -

4. Ergebnisse/Interpretation ..... - 29 -

4.1. Hydrologische Kriterien ..... - 29 -

4.2. Hydraulisch/morphologische Kriterien ..... - 32 -

4.3. Gegenüberstellung hydrologische Kriterien – hydraulisch/morphologische Kriterien ..... - 38 -

5. Diskussion/Schlussfolgerungen/Empfehlungen ..... - 42 -

5.1. Hydrologische Kriterien ..... - 42 -

5.2. Hydraulisch/morphologische Kriterien ..... - 43 -

5.3. Gegenüberstellung hydrologische Kriterien – hydraulisch/morphologische Kriterien ..... - 46 -

5.4. Zusammenfassende Empfehlungen ..... - 47 -

6. Literaturverzeichnis ..... - 48 -

7. Abbildungsverzeichnis ..... - 51 -

8. Tabellenverzeichnis ..... - 53 -

9. Anhang ..... - 54 -

Anhang 1 – Verwendete Restwasserstrecken ..... - 54 -

Anhang 2 – Schätzfehler bei Interpolation ..... - 55 -

Anhang 3 – Schätzfehler bei Extrapolation ..... - 57 -

Anhang 4 – Beispiel: Mittlere Gewässerbreite ..... - 58 -

Anhang 5 – Huchen ..... - 59 -

Anhang 6 – Fischregionen Österreich (Blatt Süd) ..... - 60 -

Anhang 7 – Technischer Bericht - Dotationsversuch Restwasserstrecke Peggau ..... - 61 -

Anhang 8 – Kolkausformungen bei unterschiedlicher Flussgröße ..... - 86 -

1. Einleitung, Fragestellung und Zielsetzung

Durch Wasserentnahme an Wehranlagen, meistens zum Zweck der Energiegewinnung, entstehen zwischen Wehranlage und der Rückleitung des Triebwassers sogenannte Restwasserstrecken mit stark reduzierten Abflussverhältnissen. Verschiedene Auswirkungen auf das Flussbett selbst, als auch auf das gewässernahe Umland, sind die Folge. Veränderungen bezüglich benetzter Oberfläche, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten führen zu Störungen der Wassertemperatur und des Sauerstoffhaushaltes (MELCHER et al. 2010). Kolmation des Interstitials, winterliche Eisbildung bzw. übermäßige Erwärmung im Sommer aufgrund geringer Fließgeschwindigkeiten sowie Unterbrechungen des Längskontinuums, reduzierter Lebensraum für aquatische Lebewesen und reduzierter Sedimenttransport sind nur einige Belastungen, die aufgrund geänderter Abflussverhältnisse entstehen können. Diese Einflussfaktoren wirken sich negativ auf die ökologische Funktionsfähigkeit der jeweiligen Fließgewässer aus (JUNGWIRTH et al. 2003).

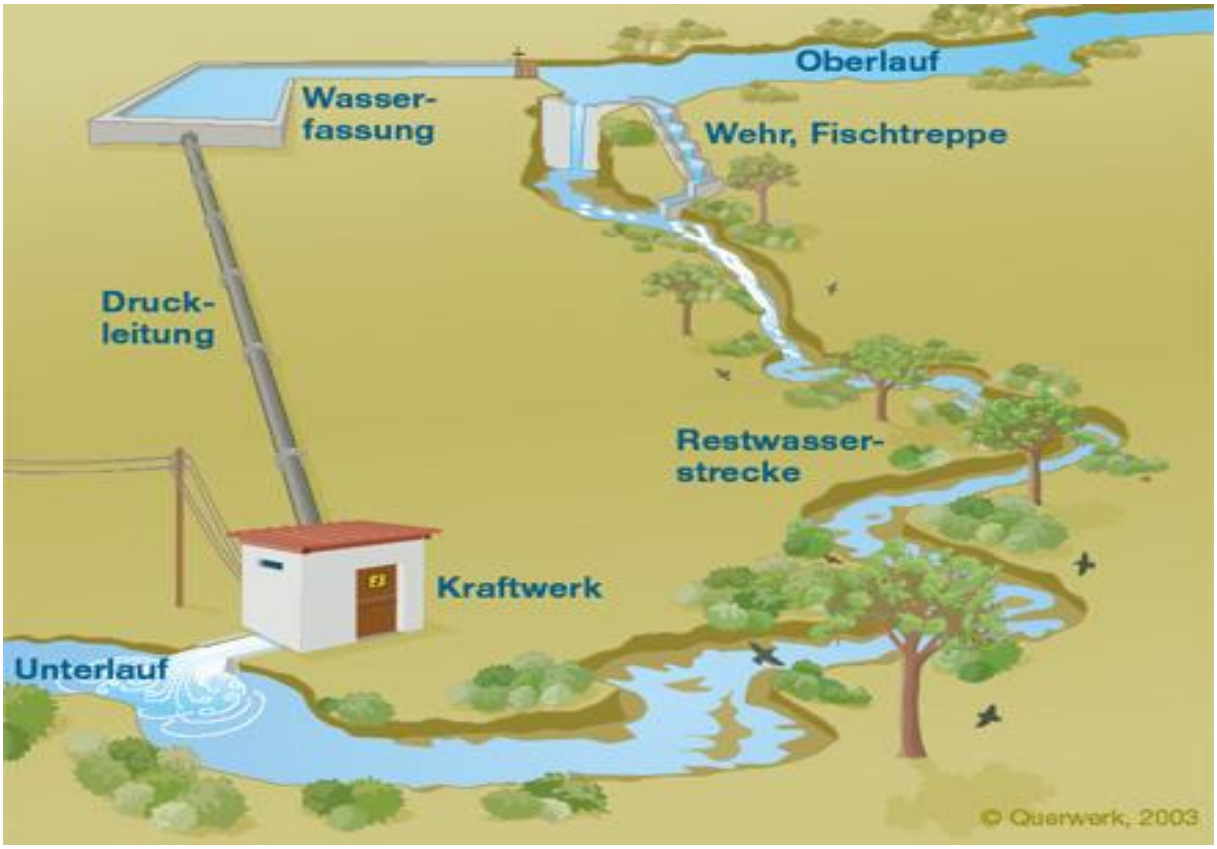


Abbildung 1: Schema-Skizze Restwasserstrecke (www.bafu.admin.ch, Bundesamt für Umwelt, BAFU Schweiz)

Der Maximierung des energiewirtschaftlichen Ertrages stehen die Forderungen der ökologischen Funktionsfähigkeit sowie die Erhaltung unserer Fließgewässer gegenüber.

Durch die Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, EU – RL 2000/60/EG vom 23.10.2000) verpflichtete sich jeder Mitgliedsstaat innerhalb bestimmter einzuhaltender Fristen in sämtlichen Fließgewässern zumindest den guten ökologischen und chemischen Zustand bzw. das gute ökologische Potential herzustellen. Durch die „Qualitätszielverordnung: Ökologie Oberflächengewässer“ (im Folgenden: QZV) sind für Restwasserstrecken verschiedene verpflichtend einzuhaltende Grenzwerte vorgeschrieben. Sie betreffen zum einen hydrologisch definierte Vorgaben, welche einen Bezug der abzugebenden Restwassermenge zu den unbeeinflussten Abflussbedingungen des Flusses herstellen (hydrologische Kriterien). Andererseits werden zur Gewährleistung der Durchgängigkeit der Restwasserstrecke hydraulisch/morphologische Vorgaben definiert (Anlage G).

Ziel dieser Arbeit ist es, die einzelnen Vorgaben der QZV im Hinblick auf die zur Einhaltung benötigte Restwasserdotation unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Flussgrößen gegenüberzustellen. Folgende Fragestellungen sollen im Detail beantwortet werden:

Hydrologische Kriterien

- Wie ist der Zusammenhang des NQ_t- und $MJNQ_t$-Kriteriums, durch welche die Mindestrestwasserabgabe aus hydrologischer Sicht bestimmt wird, in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße?
- Wie verhält sich die Vorgabe einer dynamischen Restwasserabgabe an ausgewählten steirischen Flüssen?

Hydraulisch/morphologische Kriterien

- Welches Kriterium nach QZV-Anlage G wirkt am häufigsten limitierend?
- Spielen die Schnellenausformung bzw. die hydraulischen Bedingungen an der pessimalen Schnelle eine Rolle bezüglich der erforderlichen Mindestrestwassermenge?

- Welche Restwasserdotation ist bei unterschiedlichen Flussgrößen erforderlich, um die hydraulisch/morphologischen Kriterien nach Anlage G einzuhalten?

Gegenüberstellung hydrologische Kriterien – hydraulisch/morphologische Kriterien

- Kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Restwasserabgabe von 50% $MJNQ_t$ die Durchgängigkeit gewährleistet ist bzw. die hydraulisch/morphologischen Kriterien nach Anlage G eingehalten werden?
- Wie ist der Zusammenhang zwischen sämtlichen hydrologischen und hydraulisch/morphologischen Kriterien an ausgewählten Flüssen der Steiermark?

2. Gesetzliche Grundlagen

2.1. Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL)

Um der fortlaufenden Verschmutzung von Oberflächengewässer und Grundwässer Einhalt zu gebieten, wurde im Jahr 2000 die europäische Wasserrechtspolitik durch die Einführung der EU-Wasserrahmenrichtlinie grundlegend erneuert. Alle 27 Mitgliedsstaaten beschlossen diese Richtlinie mit dem Ziel, bis zum Jahr 2027 in allen Oberflächengewässern und Grundwässern mindestens den guten ökologischen und chemischen Zustand bzw. das gute ökologische Potential herzustellen. Obersten Stellenwert hat das Ziel der systematischen Verbesserung und des Verbotes der Verschlechterung, um der wasserabhängigen Tier- und Pflanzenwelt auch in Zukunft einen möglichst natürlichen und qualitativ hochwertigen Lebensraum bieten zu können (WRRL, 2000).

Ökologischer Zustand:

Der ökologische Zustand eines Fließgewässers gibt die Qualität der Funktionsfähigkeit aquatischer - und mit Oberflächengewässern in Verbindung stehender - Lebensräume wieder. Durch folgende Qualitätskomponenten (QK) können Aussagen bezüglich des tatsächlichen Zustandes getroffen werden:

- Biologischen QK - Makrozoobenthos, Makrophyten, Phytobenthos sowie Fischfauna
- Hydromorphologische QK – Wasserhaushalt, Durchgängigkeit und Morphologie
- Physikalisch – chemische QK – Temperaturverhältnisse, Sauerstoff- und Nährstoff-verhältnisse

Qualitätsabstufungen der einzelnen Qualitätskomponenten sind in der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer zu finden.

2.2. Qualitätszielverordnung (QZV)

Um die zu erreichenden Zielzustände sowie die maßgeblichen Zustände im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot von Oberflächengewässer genau zu definieren, werden vom Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Verordnungen mit charakteristischen Eigenschaften, Grenz- oder Richtwerten erlassen. In Österreich: Qualitätszielverordnung - Ökologie Oberflächengewässer, kurz QZV - Ökologie OG, welche im Jahr 2010 in österreichisches Recht übernommen wurde.

Zielvorgabe QZV - Ökologie OG

Die vom Bundesminister zur Festlegung der zu erreichenden Zielzustände erlassene QZV - Ökologie OG definiert unter anderem Qualitätsziele für den sehr guten -, sowie den guten hydromorphologischen Zustand (WRRL, 2000).

Diese Ziele betreffen:

- die Mindestwassermenge in Restwasserstrecken
- die Durchgängigkeit und Morphologie
- Schwall und Sunk

Im Zuge dieser Arbeit werden lediglich die hydrologischen Qualitätskomponenten „Mindestwassermenge in Restwasserstrecken“ sowie die hydromorphologischen Qualitätskomponenten für die „Durchgängigkeit der Fließgewässer“ behandelt.

2.2.1. Hydrologisch definierte Vorgaben zur Mindestwassermenge in Restwasserstrecken

Der ökologisch notwendige Mindestabfluss stellt in allen Gewässern Menge und Dynamik der Wasserführung sicher, damit die für den guten Zustand geforderten Grenzwerte der biologischen Qualitätskomponenten mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit erreicht werden (QZV Ökologie OG, 2010).

Dieser ökologische Mindestabfluss wird erreicht, wenn:

1. eine solche Mindestwasserführung ständig im Gewässerbett vorhanden ist, die

    a. größer ist als der Wert für das natürliche niederste Tagesniederwasser ($NQ_{Restwasser} \geq NQ_{t\ natürlich}$),

    b. in Gewässern, bei denen der Wert für das natürliche niederste Tagesniederwasser kleiner ist als ein Drittel des natürlichen mittleren Jahresniederwassers, jedenfalls ein Drittel des natürlichen mittleren Jahresniederwassers ($NQ_{Restwasser} \geq 1/3\ MJNQ_{t\ natürlich}$) beträgt,

    c. in Gewässern, bei denen der Mittelwasserabfluss kleiner als 1 m³/s und der Wert für das natürliche niederste Tagesniederwasser kleiner ist als die Hälfte des natürlichen mittleren Jahresniederwassers, jedenfalls die Hälfte des natürlichen mittleren Jahresniederwassers ($NQ_{Restwasser} \geq ½\ MJNQ_{t\ natürlich}$) beträgt

    und im natürlichen Fischlebensraum die in Anlage G festgelegten Werte für die Mindesttiefe und die Mindestfließgeschwindigkeit erreicht, und

2. darüber hinaus eine dynamische Wasserführung gegeben ist, die im zeitlichen Verlauf im Wesentlichen der natürlichen Abflussdynamik des Gewässers folgt um sicherzustellen, dass

    a. die Saisonalität der natürlichen Sohlumlagerung und damit eine gewässertypische Substratzusammensetzung gewährleistet wird,

    b. eine ausreichende Strömung zu Zeiten der Laichzüge gewährleistet wird,

    c. unterschiedliche Habitatansprüche der einzelnen Altersstadien der maßgeblichen Organismen zu verschiedenen Zeiten des Jahres berücksichtigt werden und

    d. gewässertypische Sauerstoff- und Temperaturverhältnisse gewährleistet werden.

(Auszug für die Mindestwasserführung aus der QZV – Ökologie OG, 2010)

Bei der Festlegung des dynamischen Anteils sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Saisonalität der natürlichen Sohlumlagerung und damit eine gewässertypische Substratzusammensetzung. Die Dynamisierung trägt u.a. zu einer Feinsedimentmobilisierung bzw. einer Verhinderung von Sohlkolmatierung und somit zum Erhalt der gewässertypspezifischen Substratqualität und damit insbesondere auch Benthosfauna bei. Der zur Sohlumlagerung notwendige Abfluss ist gegebenenfalls durch hydraulische Modellierungen zu eruieren.

- eine ausreichende Strömung zu Zeiten der Laichzüge

- unterschiedliche Habitatansprüche der einzelnen Altersstadien der maßgeblichen Organismen zu verschiedenen Zeiten des Jahres

- die Größe des Lebensraums in seiner natürlichen Ausprägung (z.B. Breiten- und Tiefenvarianzen) wird nicht maßgeblich eingeschränkt. Durch eine entsprechende Dynamisierung des Abflusses wird der sich jahreszeitlich natürlicherweise ändernden Benetzung der Gewässerfläche Rechnung getragen.

- gewässertypische Sauerstoff- und Temperaturverhältnisse.

Eine Restwassermenge, die 20% der aktuell im Gewässer fließenden Wassermenge entspricht, erfüllt mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit die o.a. Anforderungen. Auch die Vorschreibung geringerer Mengen, wie z.B. ein dynamischer Anteil zwischen 10 und 20% des aktuellen Zuflusses, oder eine Dynamisierung auf Basis von Monatsmittelwerten bzw. saisonalen Werten kann für die Erreichung der biologischen Qualitätsziele ausreichen. Dies ist im Einzelfall zu beurteilen.

(Auszug für die Mindestwasserführung aus der WRRL, QZV – Ökologie OG, 2010 - Erläuterungen)

2.2.2. Hydraulisch/morphologische Vorgaben zur Mindestwassermenge in Restwasserstrecken

In der **QZV - Anlage G** sind die gesetzlich einzuhaltenden Grenzwerte der Mindestwassertiefen und Mindestwassergeschwindigkeiten, eingeteilt nach Fischregionen,

aufgelistet. Die Fischregionen stellen die längszonale Gliederung der Fließgewässer dar und beruhen auf der Abfolge typischer Lebensgemeinschaften (JUNGWIRTH et al. 2003).

Anlage G

Ökologische Mindestwasserführung in Fischlebensräumen (§ 13 Abs. 2 Z 2)

Durch eine Mindestdotation in Höhe von 50% MJNQt kann die Einhaltung der Werte für Mindesttiefen und Mindestfließgeschwindigkeiten und damit die Durchgängigkeit des Gewässers mit hoher Sicherheit gewährleistet werden. Bei Abgabe dieser Wassermenge kann eine Messung der Tiefen und Fließgeschwindigkeiten entfallen.

Mindesttiefen:

Fischregion	Für den Bereich der Schnelle	Für den Talweg
	Mindestwasser-tiefe T_{min} [m]	Ø Mindesttiefe T_{LR} [m] [3]
Epirhithral (> 10% Gefälle)	0,1	0,15
Epirhithral (3-10% Gefälle)	0,15	0,20
Epirhithral (≤3% Gefälle)	0,20	0,25
Metarhithral	0,20	0,30
Hyporhithral	0,20 (0,30 [2])	0,30 (0,40 [2]) [4]
Epipotamal	0,30	0,40 [4]

[1] Die Mindesttiefe gilt in den spezifischen Laich- und Entwicklungsphasen der jeweiligen standortbezogenen Leit- und Begleitfischarten.
[2] Die Werte in den Klammern gelten bei Vorkommen des Huchens.
[3] Die Ermittlung der Mindesttiefe im Talweg und der Mindesttiefe für den Lebensraum in der Laichzeit der Fische ist wie folgt durchzuführen:
In einem für das Gewässer charakteristischen 200 m Abschnitt sind in den fünf am deutlichsten ausgeprägten Furten oder Schnellen und in den fünf am deutlichsten ausgeprägten Kolken jeweils die maximalen Wassertiefen im Talweg bei Niederwasser oder Rest-wasserabfluss zu ermitteln. Daraus errechnet sich die jeweilige Tiefe im Talweg für die-sen Gewässerabschnitt bei einem bestimmten Abfluss. Das arithmetische Mittel aus den zehn Werten ergibt die jeweilige mittlere Tiefe im Talweg in diesem Gewässerabschnitt beim Abfluss zum Zeitpunkt der Tiefenmessung.
[4] Im Hyporhithral und Epipotamal sind zur Laichzeit gegebenenfalls höhere Mindestwassertiefen erforderlich, die entsprechend der standortbezogenen Leit- und Begleitfischarten individuell zu berücksichtigen sind.

Mindestfließgeschwindigkeiten:

Für den Bereich der Schnelle: v_{min} (m/s) [5]	≥0,3
Leitströmung im Wanderkorridor: v_{min} (m/s) [6]	≥0,3

[5] Mittlere Querschnittsgeschwindigkeit
[6] Die Leitstromung dient der rheotaktischen Orientierung von Fischen. Der Wanderkorridor für die Fische befindet sich meist seitlich im Bereich des Stromstriches in Stromungsbereichen unter 1 m/s. Die Ermittlung der Fliesgeschwindigkeiten erfolgt im Stromstrich im Bereich der vermessenen Furten oder Schnellen und Kolke (Messung in der Lotrechten, 3-Punkt Messung in 20%, 60% und 80% der Gesamtwassertiefe).

Abbildung 2: Anlage G aus der QZV – Ökologie OG

Schnelle

Als Schnelle bzw. Furt wird der Teil des Flusses bezeichnet, der durch sehr geringe Wassertiefen gekennzeichnet ist. Häufig werden Schnellen durch eine örtlich begrenzte Zunahme des Gefälles gebildet und verzeichnen erhöhte Fließgeschwindigkeiten. Aufweitungen des Gewässerprofils können ebenfalls durch sehr flach überströmte Abschnitte charakterisiert sein (QZV – Ökologie OG, 2010).

Als „**pessimale Schnelle**“ wird jener Abschnitt einer Restwasserstrecke bezeichnet, in dem die geringste Wassertiefe im Talweg der Restwasserstrecke auftritt und zumeist auch die höchste Fließgeschwindigkeit registriert wird. Bei zu geringer Restwassermenge stellen Schnellen eine Behinderung der Durchgängigkeit dar.

Abbildung 3: Pessimale Schnelle in einer Restwasserstrecke

Talweg

Der Talweg stellt die längszonierte Verbindungslinie der tiefsten Punkte im jeweiligen Querprofil einer Restwasserstrecke dar und repräsentiert somit den tiefsten Wasserstand in längszonaler Richtung des Flusses. Neben einer bestimmten Mindesttiefe auf ganzer Länge der Restwasserstrecke, muss im Wanderkorridor auch eine durchgehende Mindestgeschwindigkeit eingehalten werden, um die rheotaktische Orientierung der Fische gewährleisten zu können (QZV – Anlage G). Stagnationen des Restwassers aufgrund zu geringer Fließgeschwindigkeit, die wiederum zu Kolmationen der Gewässersohle, Temperaturerhöhungen und Sauerstofferniedrigungen im Sommer, sowie Eisbildungen (Grundeis) im Winter führen können, werden somit ebenfalls verhindert (JUNGWIRTH et al. 2003).

Abbildung 4: Kennzeichnung des Talweges als tiefsten Bereich der Querprofile

3. Methodik

3.1. Untersuchungsgebiet

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Vielzahl an Restwasserstrecken folgender steirischer Flüsse untersucht (vgl. Abbildung 5), wovon schließlich 46 Strecken zur Auswertung herangezogen werden konnten (vgl. Kapitel 3.4.). Im Anhang 1 sind die analysierten Restwasserstrecken unter Angabe des jeweiligen Gewässers, der Fischregion und weiterer spezifischer Parameter aufgelistet.

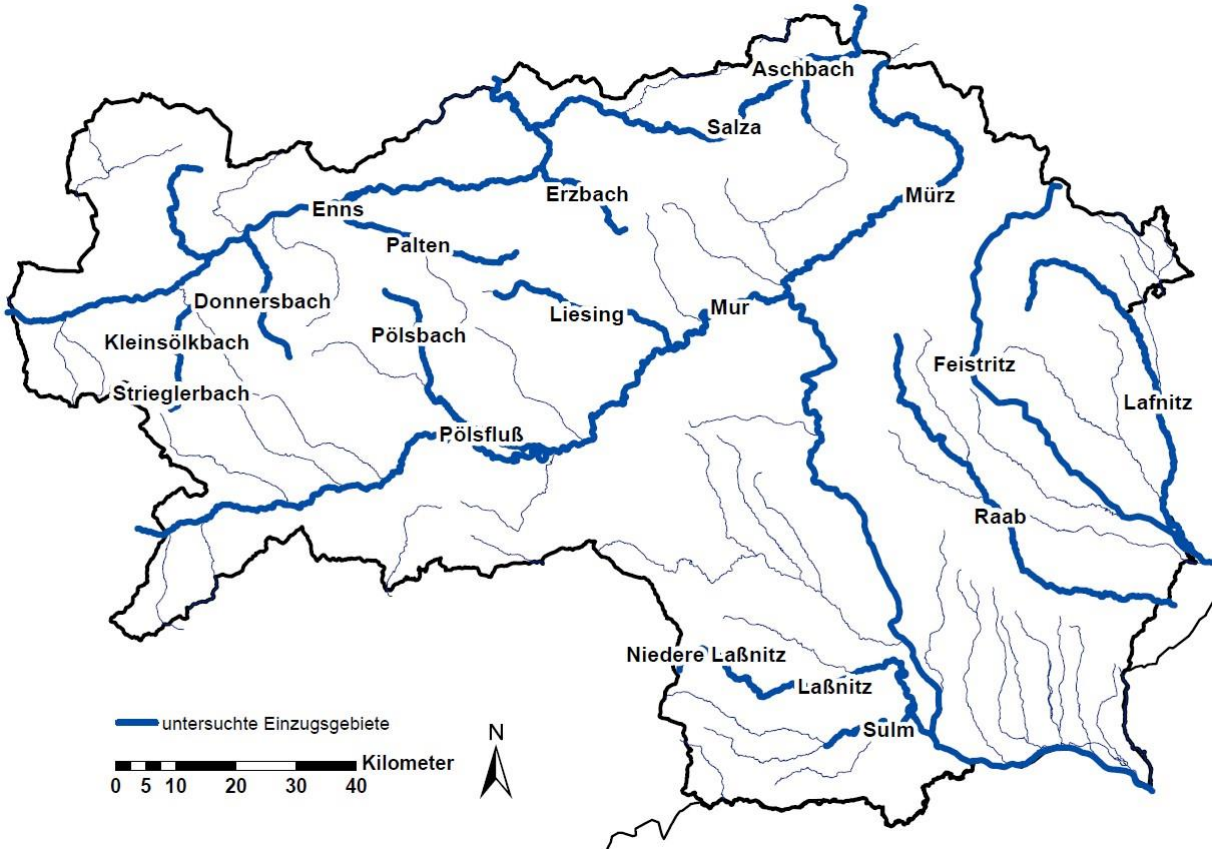


Abbildung 5: Darstellung der untersuchten Flüsse

3.2. Datenerhebung im Vorfeld

Beschreibung und Lage der vorhandenen Kraftwerke sowie die hydrologischen Kennwerte des Kraftwerksstandortes wurden dem Wasserbuch entnommen, bzw. vom hydrographischen Dienst des Landes Steiermark bereitgestellt. Die hydrologischen Verhältnisse geben Aufschluss über die Charakteristik des Wasserhaushalts und Abflussregime des betroffenen Gewässers und werden in Form von mittlerem jährlichen Abfluss (MQ), mittlerem jährlichen Niederwasser ($MJNQ_t$) sowie dem niedrigsten Tagesniederwasser (NQ_t) angeführt. Die Angabe bei hydrologischen Werten erfolgt als Liter pro Sekunde [l/s] bzw. als Kubikmeter pro Sekunde [m^3/s] (Önorm B 2400-Hydrologie, 2003 bzw. QZV Ökologie OG, 2010).

Mittlerer jährlicher Abfluss (MQ)

Der mittlere jährliche Abfluss ist die gängigste Form, um die hydrologischen Verhältnisse zu bezeichnen. Er wird als langjähriger Mittelwert (arithmetisches Mittel) aller Tagesmittelwerte des Abflusses während eines längeren Zeitabschnittes ausgedrückt.

Mittlere jährliche Niederwasser ($MJNQ_t$)

Das mittlere, jährliche Niederwasser ist das arithmetische Mittel der Jahresniederwässer einer zusammenhängenden Reihe von Jahren.

Niedrigste Tagesniederwasser (NQ_t)

Das niedrigste Tagesniederwasser beschreibt die geringste je verzeichnete Abflussmenge in dem betroffenen Gewässer über einen gewissen Zeitraum und charakterisiert üblicherweise einen natürlichen Extremwert.

Einzugsgebietsgröße

Die Einzugsgebietsgröße beschreibt ein zusammenhängendes Gebiet, welches durch Wasserscheiden begrenzt wird und bei dem alle Niederschläge und die daraus entstehenden ober- sowie unterirdischen Abflüsse in ein Gewässersystem eingeleitet werden. Einzugsgebiete beziehen sich auf jene Stelle des Flusses, die den Gebietsauslass darstellt (in diesem Fall auf das entsprechende Kraftwerk) und prägen im jeweiligen Klimaraum das Gewässer. (MADER, 1996) Die Einzugsgebietsfläche, angegeben in Quadratkilometer [km²], lässt sich in Österreich mittels digitalen hydrologischen Atlas ermitteln.

Durchflussganglinien

Die dargestellten Ganglinien wurden für den Zeitraum Jänner 2004 bis Dezember 2008 auf Basis der Tagesmittelwerte über eHYD bezogen (www.ehyd.gv.at).

Mittlere Breite der Restwasserstrecke

Im Zuge dieser Arbeit wird die mittlere Breite einer Restwasserstrecke als arithmetisches Mittel von fünf zufällig ausgewählten Gewässerbreiten, gemessen von Böschungsunterkante zu Böschungsunterkante, einer Restwasserstrecke definiert. Diese fünf Breiten wurden während der Aufnahmen erhoben oder bei großen Flüssen dem Luftbild entnommen.

Gefälle

Das mittlere Gefälle wurde mit Hilfe des digitalen Höhenmodells im digitalen Atlas Steiermark (www.gis.steiermark.at) durch Höhenabfragen unmittelbar flussab der Wehranlage und im Bereich der Rückleitung sowie der Länge der Restwasserstrecke berechnet.

Fischregionen und das Vorhandensein einer Huchen Population haben indirekt ebenfalls Einfluss auf die geforderte Restwassermenge (vgl. Kapitel 2.2.2.). Sie wurden dem digitalen Atlas Steiermark (www.gis.steiermark.at) entnommen bzw. nach SCHMUTZ et al. 2002 erhoben (vgl. Anhang 5, 6).

3.3. Datenerhebung im Freiland

3.3.1. Abflussmessung – Bestimmung Restwasserdotation

Der Restwasserabfluss wurde mit folgendem Messflügel in einem geeigneten Messprofil unmittelbar flussab der Wehranlage bestimmt:

Hersteller: **OTT, Deutschland**
Modell: **Zählgerät Z400, Kleinflügel C2**

Dieser Flügel wurde im firmeneigenen OTT-Messkanal in Anlehnung an die ISO-Norm 3455 kalibriert.

Für die Abflussmessung wird die Flügelmessung angewandt. Hierbei wird an einem Profil mit möglichst geringer Turbulenz, an mehreren Messlotrechten in verschiedenen Tiefen die Fließgeschwindigkeit mittels Flügelmessgerät bestimmt.

Die mittlere Geschwindigkeit jeder Messlotrechten bei 2-Punkt Messungen wird über die Formel **$vm = (0{,}31 * v_O + 0{,}634 * v_{38})$** nach Kreps berechnet. V_O ist die Fließgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche und v_{38} bezeichnet die Fließgeschwindigkeit in 38% der Wassertiefe, gemessen von der Gewässersohle (KREPS, 1975).

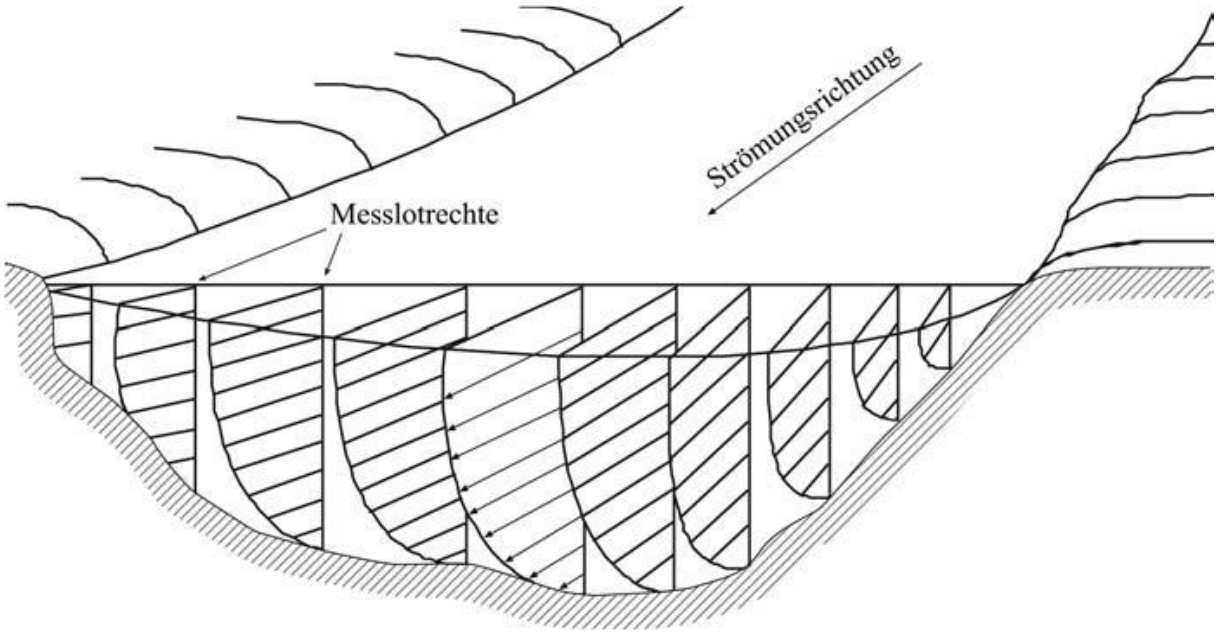


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Durchflussquerschnittes und der Geschwindigkeitsverteilung (Dyck u. Peschke 1995, S.95)

Aus folgender Gleichung errechnet sich der Durchfluss: Q = v * A [m³/s] (DYCK u. PESCHKE 1995, S. 93)

3.3.2. Datenerhebung in der Restwasserstrecke

Zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten und Tiefen der relevanten Profile innerhalb der Restwasserstrecken wurde auf einen anderen Flügel zurückgegriffen, welcher einfacher zu handhaben ist, sodass auch Daten von - aufgrund ihrer Lage schwierig zu begehender - Gewässerabschnitten erhoben werden konnten:

Hersteller: **Global Water, USA**
Modell: **FP111 Flow Probe**

Dieses Gerät funktioniert im Prinzip wie ein herkömmlicher Messflügel, besteht jedoch aus nur einem Teil (Propeller, Teleskopstange und Computer). Es ist also nicht nötig, wie bei herkömmlichen Flügeln eine Messstange, den Propeller und zusätzlich einen Computer mitzutragen, was im unwegsamen Gelände zwangsläufig zu Beschädigungen und erheblichen zeitlichen Mehraufwand geführt hätte. Der Flügel von Global Water wurde in den USA geeicht. Um die Genauigkeit des Global Water Flügels zu überprüfen wurde eine

Vergleichsmessung mit einem neu geeichten Flow Mate Gerät des Institutes für Hydrobiologie der BOKU Wien durchgeführt.

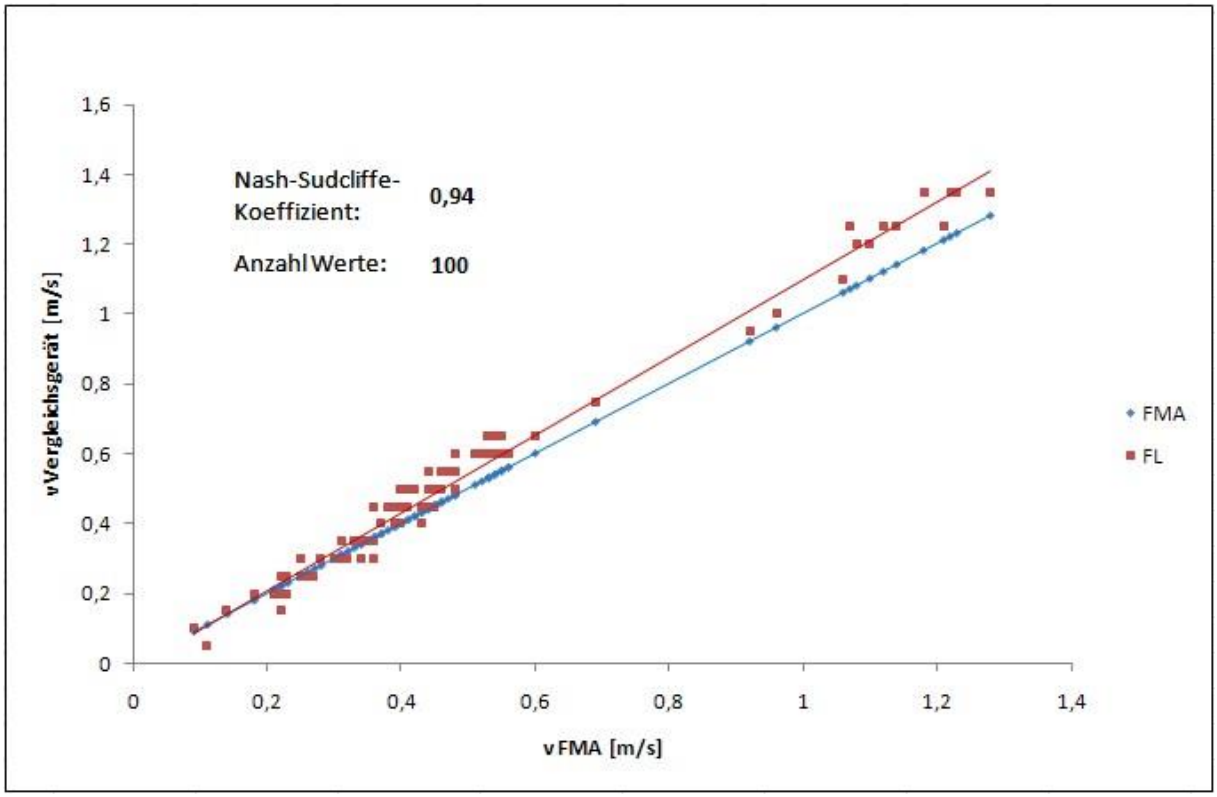


Abbildung 7: Vergleich der erhobenen Fließgeschwindigkeiten an identen Messpunkten mittels Flow Mate Gerät (blaue Punkte) und Flow Probe Flügel (rote Punkte)

Es wurden insgesamt 100 Messwerte im Geschwindigkeitsbereich von 0,1-1,4 m/s verglichen. Es ist ersichtlich, dass der Flow-Probe-Flügel geringfügig überschätzt, wobei die ermittelten Abweichungen in einer vertretbaren Größenordnung ausfallen (vgl. Abbildung 7).

3.3.2.1. Messmethodik/Aufnahme von Schnellen

Schnellen sind anhand der geringen Wassertiefe und des turbulenten Strömungsbildes leicht zu erkennen. Jenes Profil der Schnelle mit geringster Talwegtiefe wird als Messprofil festgelegt (vgl. Abbildung 8; mittleres Profil). Anschließend werden im Messprofil an der tiefsten Stelle die Wassertiefe T gemessen. Die Mindestfließgeschwindigkeit der Schnelle ist als mittlere Querschnittsgeschwindigkeit definiert. Im Messprofil werden drei Geschwindigkeitslotrechten mit jeweils drei Messpunkten pro Messlotrechten durchgeführt. Über die Formel $\mathbf{v_m = (v_{20}+v_{60}+v_{80})/3}$ (MANIAK, 2005) der Messungen in 20%, 60% und 80% der Wassertiefe, von der Wasseroberfläche aus gemessen, wird die mittlere Fließgeschwindigkeit einer Messlotrechte ermittelt. Anschließend wird die mittlere Querschnittsgeschwindigkeit durch arithmetische Mittelbildung der einzelnen an den drei Messlotrechten ermittelten Geschwindigkeiten berechnet. Da die pessimale Schnelle identifiziert und zur Bewertung herangezogen werden sollte, wurde grundsätzlich die gesamte Restwasserstrecke bei minimaler Restwasserabgabe begangen. Bei großen Flüssen wie beispielsweise der Mur können die Schnellen im Luftbild identifiziert werden, wodurch hier eine punktuelle Begehung möglich war. Eine Erhöhung bzw. Abminderung der Restwassermenge durch Zuflüsse, vermehrtem Abfluss innerhalb des Interstitials (Anm.: häufig bei Schnellen) oder Perkolation in den Grundwasserkörper wurde nicht berücksichtigt.

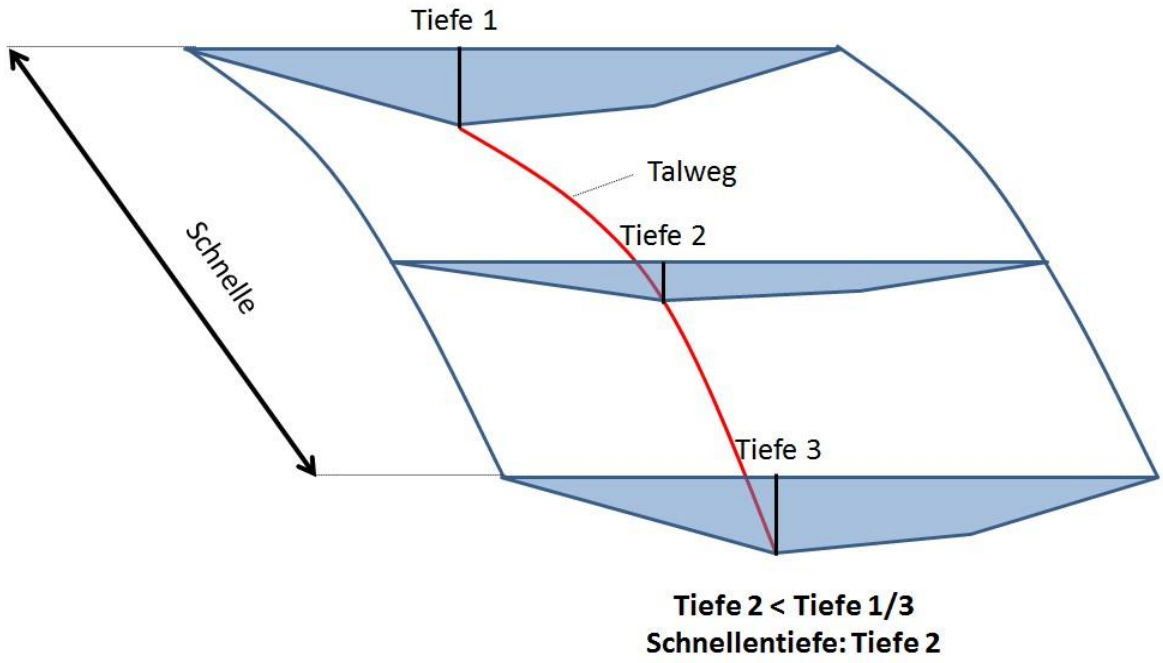


Abbildung 8: Ermittlung der pessimalen Schnellentiefe

Zusätzlich wurden die „Schnellenausformung“ sowie die „hydraulischen Bedingungen“ an der Schnelle durch Zuweisung von jeweils zwei Kategorien aufgenommen.

Schnellenausformung – weitgehend natürlich/anthropogen beeinflusst

Als **weitgehend natürliche Schnellen** werden jene Schnellen bezeichnet, die sich in einem natürlich ausgeformten Umfeld bzw. Flussabschnitt befinden. Das Gewässer besitzt weitgehend seinen natürlichen flussmorphologischen Charakter. Der Bereich der Schnelle wurde nicht bzw. nur sehr geringfügig anthropogen verändert oder beeinflusst (vgl. Abbildung 9).

Abbildung 9: Natürlich ausgeformte Schnelle

Anthropogen beeinflusste Schnellen befinden sich in Bachabschnitten, die wegen unterschiedlichster Beeinflussungen wenig natürlichen Charakter besitzen. Schutzbauten in Form von Steinschlichtungen an Bachläufen neben Straßen, Sohlgurte zur Stabilisierung der Gewässersohle (vgl. Abbildung 10) oder Verbreiterungen des Bachbettes aufgrund von Hochwasserschutzmaßnahmen sind nur einige Beispiele, die Eingriffe in den natürlichen Verlauf der Flüsse darstellen und diesen nachhaltig verändern.

Abbildung 10: Anthropogen beeinflusste Schnelle (Sohlsicherung)

Hydraulische Bedingungen – Furt/Absturz

Schnellen, die als Furten ausgeformt sind **(furtartige Schnellen)** werden aufgrund lokaler Steigerung des Gefälles oder Verbreiterung des Flussbettes ausgebildet. Die hydraulischen Bedingungen entsprechen etwa den Fließverhältnissen an einer Sohlrampe (vgl. Abbildung 11). Oftmals sind diese Furten das Ergebnis alternierender Kiesbänke (JÄGGI, 1979) oder Gewässeraufweitungen im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen.

Abbildung 11: Furt – hydraulische Bedingungen vergleichbar mit einer Sohlrampe

Absturzartige Schnellen haben unterschiedliche Entstehungsursachen, sie können wie furtartige Schnellen sowohl natürlichen Ursprungs, als auch anthropogen bedingt sein. Sohlschwellen oder Holzeinbauten zur Sohlsicherung sind die häufigsten von Menschen angefertigten Absturzbauwerke (vgl. Abbildung 13). Vor allem in höher gelegenen Gebirgsbächen kommen häufig natürlich ausgeformte Felsabstürze mit teilweise beträchtlicher Höhe und Gewässerstrecken mit kaskadenartiger Gewässermorphologie, sogenannten Step-Pool Systemen vor (WHITTAKER, 1982) (vgl. Abbildung 14).

Bei absturzartigen Schnellen kommt es zu einem Wechsel des Fließverhaltens von strömend zu schießend über den gesamten Gewässerquerschnitt (vgl. Abbildung 12). Dieser Übergang ist mit einer kontinuierlichen Veränderung von Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Energieliniengefälle und Energiehöhe über der Sohle verbunden (LOISKANDL, 2008). Als entscheidender Unterschied zur Kategorie der furtartigen Schnellen wurde ein vollständiger oder teilweise abgelöster Wasserstrahl definiert. Im Rahmen dieser Studie wurde versucht bei Abstürzen die jeweilige Grenztiefe $\mathbf{h_{gr}}$ als Schnellentiefe zu bestimmen, um eine standardisierte Messmethodik anzuwenden und so vergleichbare Daten zu erhalten.

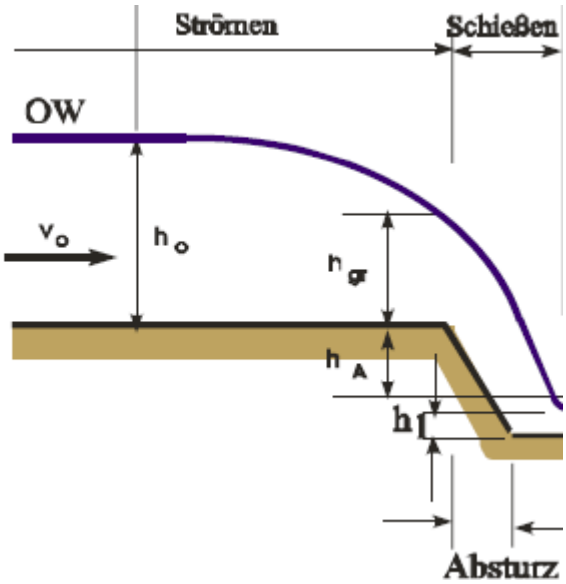


Abbildung 12: Darstellung der Grenztiefe h_{gr} sowie der Übergang Strömen – Schießen am Beispiel eines Absturzes (LOISKANDL, 2008)

Die Grenztiefe liegt am Übergang des Fließwechsels und lässt sich anhand der flussaufwärts gerichteten Wellenbewegung des Wassers erkennen. An jenem Punkt, an dem sich Störungen (z. B. das eintauchende Messgerät) in Form von Wellen nur mehr flussabwärts –

in Fliessrichtung – auswirken, ist die Grenztiefe erreicht und der schiessende Abfluss beginnt (LOISKANDL, 2008).

Abbildung 13: Schnellen, als Abstürze ausgebildet (anthropogen bzw. natürlich ausgeformt)

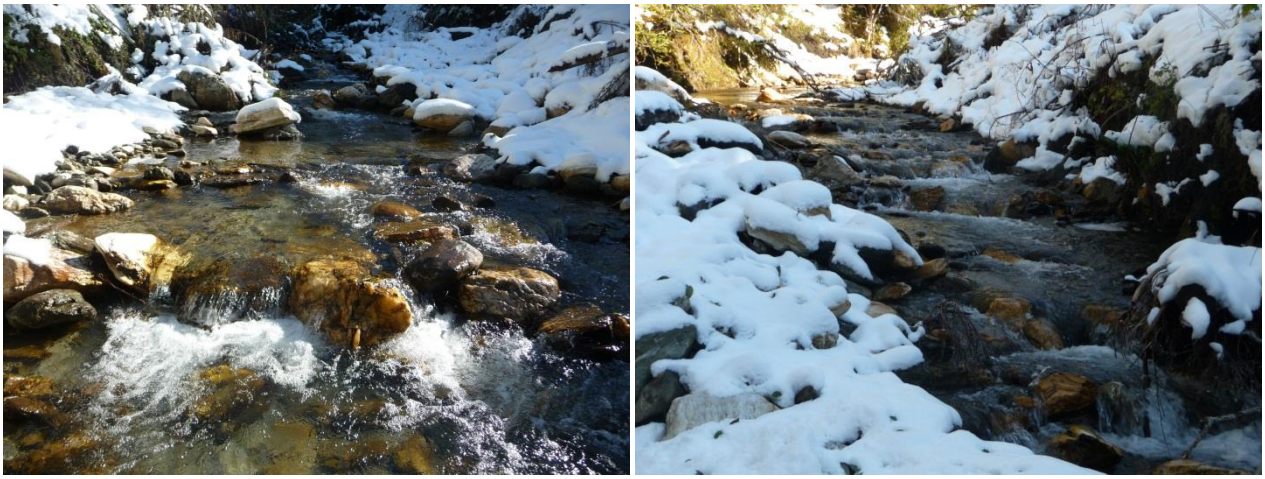


Abbildung 14: Schnellen, als Abstürze ausgebildet (Step-Pool-System)

3.3.2.2. Messmethodik zur Bestimmung der mittleren Talwegtiefe/Geschwindigkeit im Wanderkorridor

Die Anforderungen des Talwegkriteriums bzw. der Geschwindigkeit im Wanderkorridor sind unterschiedlich im Vergleich zu den Schnellenkriterien. So soll hier nicht das Profil mit geringster Wassertiefe gefunden und die mittlere Querschnittsgeschwindigkeit berechnet werden, sondern die durchschnittliche Mindesttiefe des Talweges und die minimale Fließgeschwindigkeit im Wanderkorridor der Restwasserstrecke wiedergegeben werden. Zur Ermittlung der durchschnittlichen Talweg-Mindesttiefe ist in einem für das Gewässer charakteristischen Abschnitt von 200 m Länge, jeweils aus den Maximaltiefen der fünf am deutlichsten ausgebildeten Schnellen und den fünf am deutlichsten ausgebildeten Kolken das arithmetische Mittel zu berechnen (vgl. Kapitel 2.2.2.). Im Zuge dieser Arbeit wurde auf die Ausweisung eines charakteristischen Abschnittes verzichtet und - um den Messvorgang in Grenzen zu halten – die Datenerhebung auf zumindest zwei Kolke im Nahbereich der pessimalen Schnelle bezogen. Als Messprofil im Kolk wird das Profil mit größter Talwegtiefe festgelegt. In diesem Profil wird die maximale Kolktiefe ermittelt (vgl. Abbildung 15) und durch Mittelwertbildung mit den erhobenen Schnellentiefen die mittlere Talwegtiefe berechnet. Da die Messmethodik zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit im Wanderkorridor in der QZV nicht näher definiert wird, wurde im Kolkprofil mit größter Talwegtiefe der Stromstrich identifiziert (vgl. Abbildung 15) und hier die mittlere Geschwindigkeit einer Messlotrechte durch eine 3-Punkt-Messung bzw. die Formel. $\mathbf{v_m = (v_{20}+v_{60}+v_{80})/3}$ (MANIAK, 2005) der Messungen in 20%, 60% und 80% der Gesamtwassertiefe - von der Wasseroberfläche aus gemessen - bestimmt. Durch diese Vorgehensweise wird die Messmethodik standardisiert, wodurch gewährleistet ist, dass die Daten unterschiedlicher Flüsse vergleichbar sind.

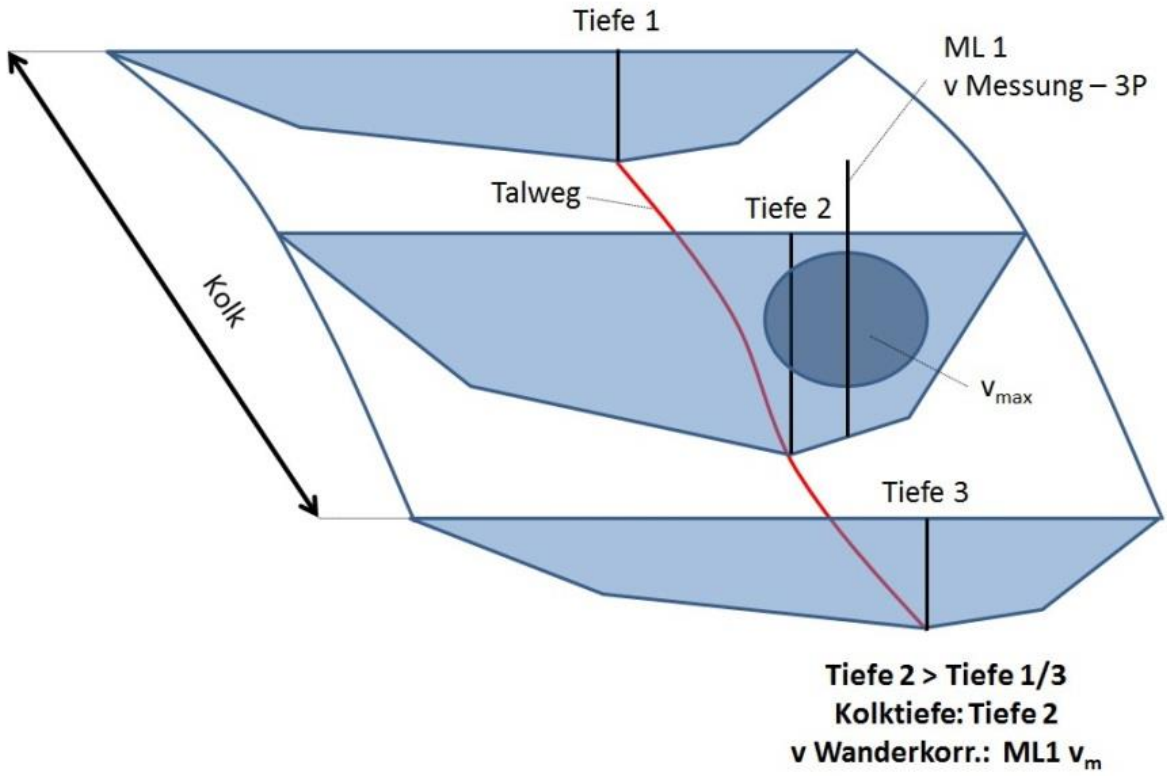


Abbildung 15: Ermittlung der max. Kolktiefe sowie der Geschwindigkeit im Wanderkorridor

3.4. Abschätzung der benötigten Restwassermenge zur Einhaltung der hydraulisch/morphologischen Vorgaben nach QZV – Anlage G

Durch eine zweimalige Begehung der Restwasserstrecke und Erhebung der maßgeblichen Parameterwerte (vgl. Kapitel 2.2.2.) bei einer geringen Restwasserdotation (Niederwasserperioden – Ausbaudurchfluss Kraftwerk > Tagesabfluss) bzw. erhöhtem Restwasserabfluss (Hochwasserperioden - Ausbaudurchfluss Kraftwerk < Tagesabfluss) an denselben Messprofilen, kann die zur Einhaltung des jeweiligen Kriteriums benötigte Restwassermenge durch Interpolation/Extrapolation - wie Abbildung 16 beispielsweise für das Kriterium „Schnellentiefe“ und Abbildung 17 für das Kriterium „Geschwindigkeit im Wanderkorridor“ zeigt - abgeschätzt werden. Dadurch ist es außerdem möglich die Einhaltung hydrologisch definierter Vorgaben mit den hydraulisch/morphologisch Kriterien im Kontext zu beurteilen.

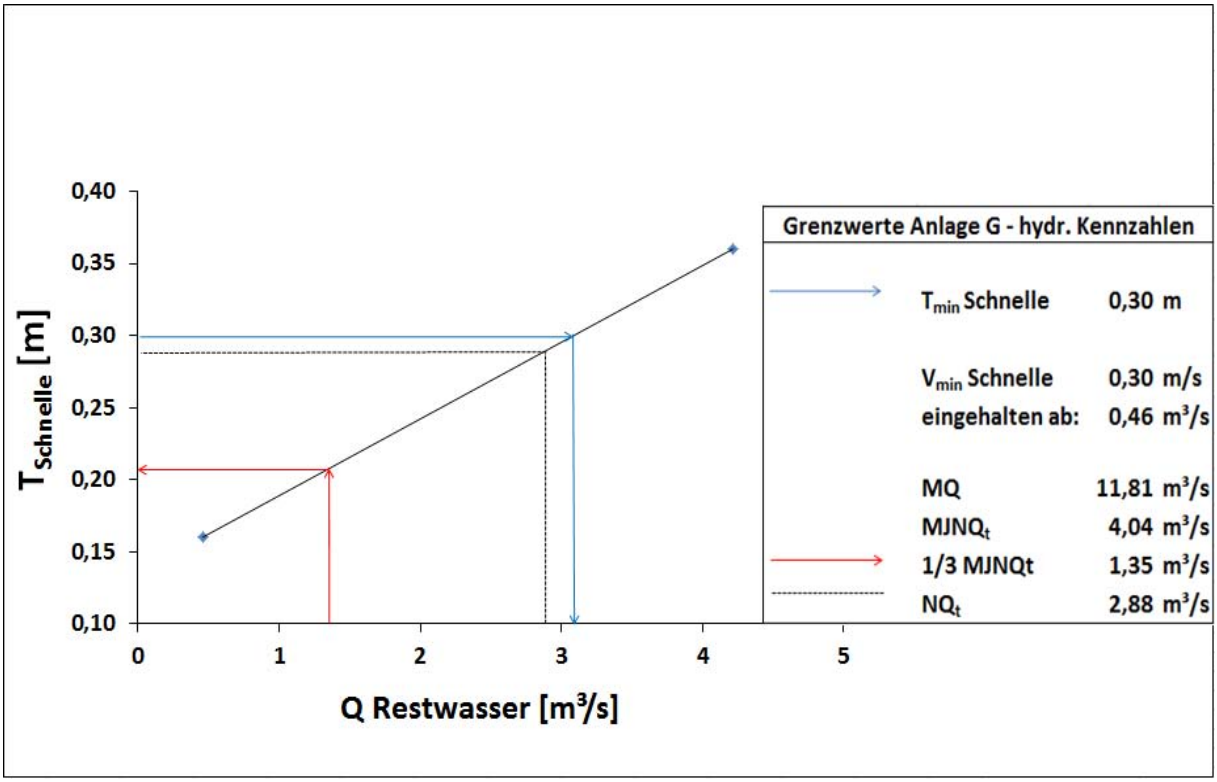


Abbildung 16: Interpolation des Kriteriums Schnellentiefe durch zwei Messungen bei unterschiedlicher Restwasserdotation (blaue Punkte) – Abschätzung der Tiefe bei best. hydrologischen Kenngrößen (z.B. 1/3 $MJNQ_t$ - roter Pfeil); Abschätzung der Restwasserdotation zur Erreichung einer best. Mindesttiefe (z.B. 30 cm – blauer Pfeil)

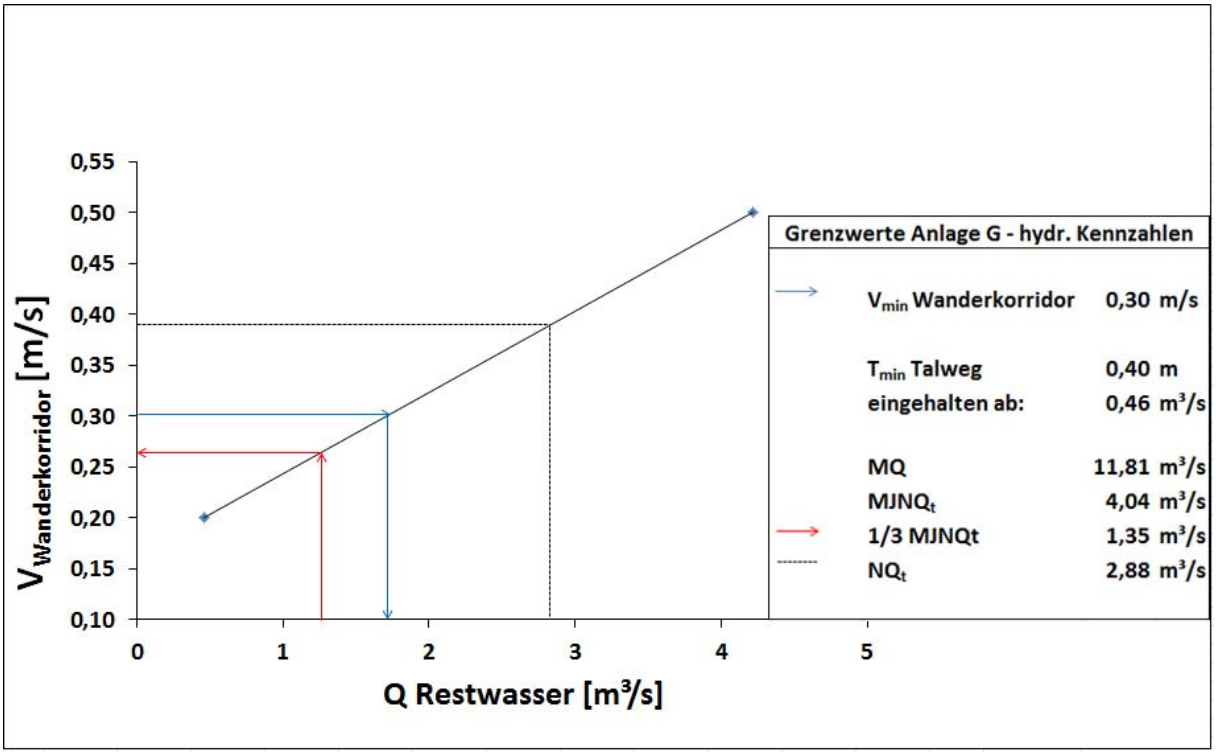


Abbildung 17: Interpolation des Kriteriums Geschwindigkeit im Wanderkorridor durch zwei Messungen (blaue Punkte) bei unterschiedlicher Restwasserdotation – Abschätzung der Geschwindigkeit bei best. hydrologischen Kenngrößen (z.B. 1/3 MJNQ$_t$ - roter Pfeil); Abschätzung der Restwasserdotation zur Erreichung einer best. Mindestgeschwindigkeit (z.B. 0,3 m/s – blauer Pfeil)

Zur Einstufung der Plausibilität bzw. Güte der Abschätzungen wurde an einer Restwasserstrecke der Zusammenhang zwischen den hydraulisch/morphologischen Kriterien und Restwassermenge im Detail durch einen Dotationsversuch mit fünf unterschiedlichen Restwasserdotationen ermittelt (vgl. Anhang 7). Abbildung 18 zeigt den Kurvenverlauf am Beispiel des Kriteriums Schnellentiefe.

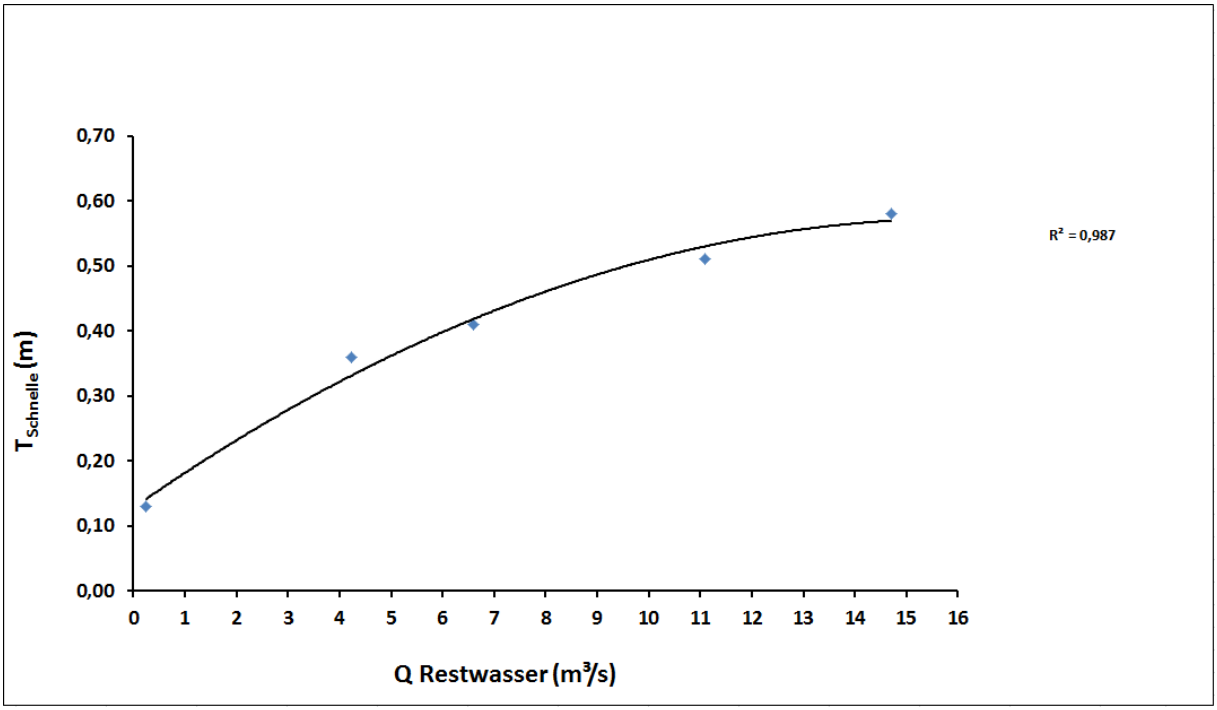


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Restwasserabfluss und Tiefe der pessimalen Schnelle

Je nach Lage der Messpunkte kann auf den jeweiligen Messfehler geschlossen (vgl. Anhang 2 und 3) und ein zulässiger Schätzbereich definiert werden (vgl. Abbildung 19). Zur Analyse werden lediglich Restwasserstrecken miteinbezogen, bei welchen eine plausible Abschätzung möglich war (46 Strecken). Im Anhang 1 sind diese Strecken nach Gewässern geordnet angeführt.

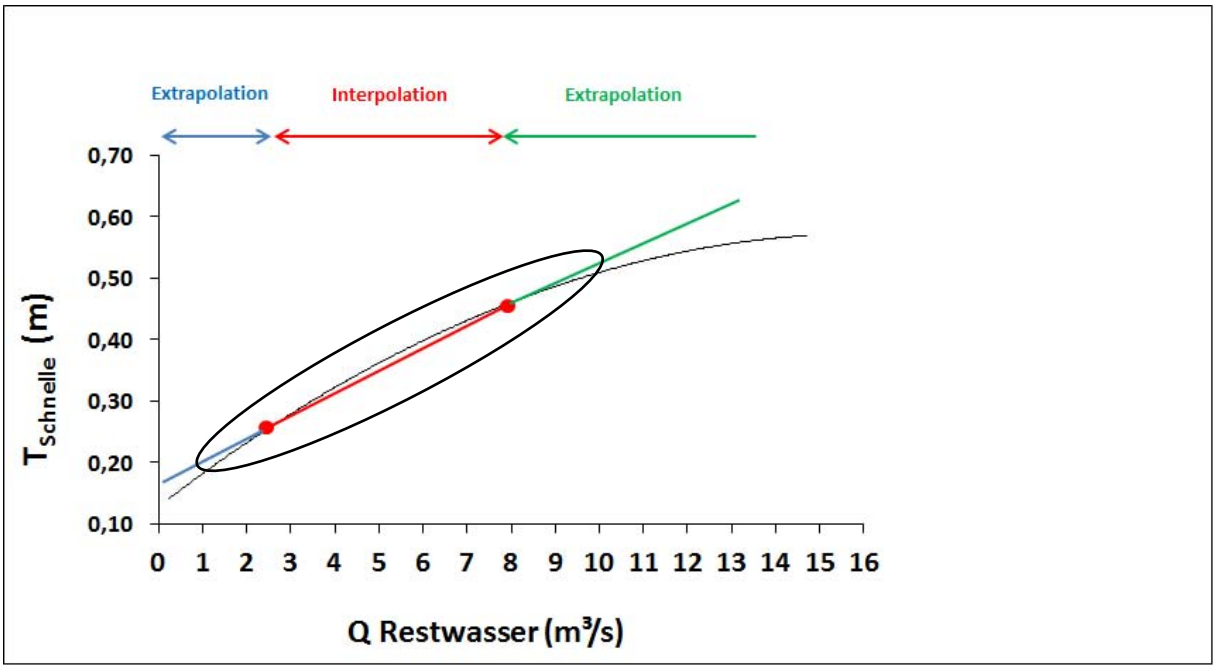


Abbildung 19: Darstellung des zulässigen Schätzbereiches (rote Punkte: Messpunkte)

4. Ergebnisse/Interpretation

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse im Hinblick auf die in der Einleitung (vgl. Kapitel 1) definierten Fragestellungen behandelt und interpretiert.

4.1. Hydrologische Kriterien

- Wie ist der Zusammenhang des NQ_t- und $MJNQ_t$-Kriteriums, durch welche die Mindestrestwasserabgabe aus hydrologischer Sicht bestimmt wird, in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße?

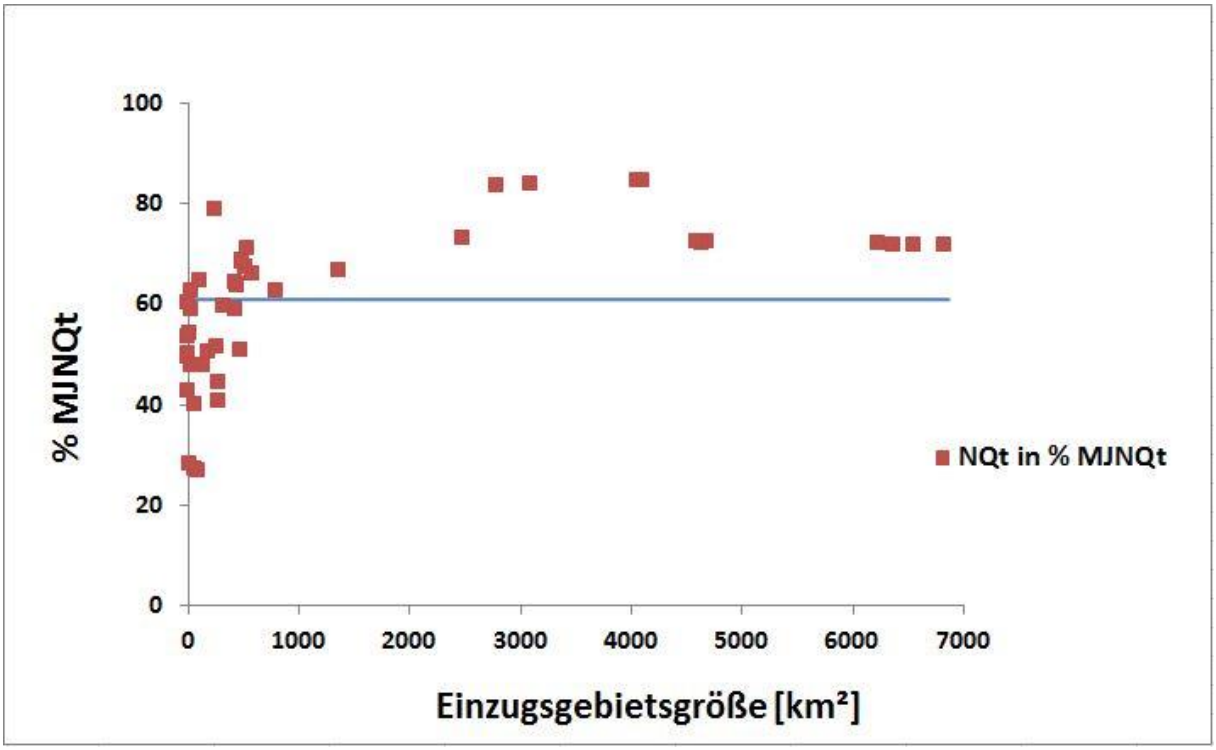


Abbildung 20: Darstellung von NQ_t in Prozent von $MJNQ_t$, abhängig von der Einzugsgebietsgröße

Abbildung 20 zeigt das Verhältnis von NQ_t und $MJNQ_t$ bei steigender Einzugsgebietsgröße. Durchschnittlich beträgt das NQ_t etwa 60% vom $MJNQ_t$. Es ist allerdings ersichtlich, dass bei Einzugsgebietsgrößen bis zu 600 km² das Verhältnis zwischen NQ_t und MJNQt sehr stark

schwankt (NQ_t: 28-80% $MJNQ_t$). Bei größeren Flüssen liegt das NQ_t im Durchschnitt bei 80% von $MJNQ_t$.

In der nachfolgenden Graphik wird dargestellt welches dieser Kriterien für die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße ausschlaggebend ist.

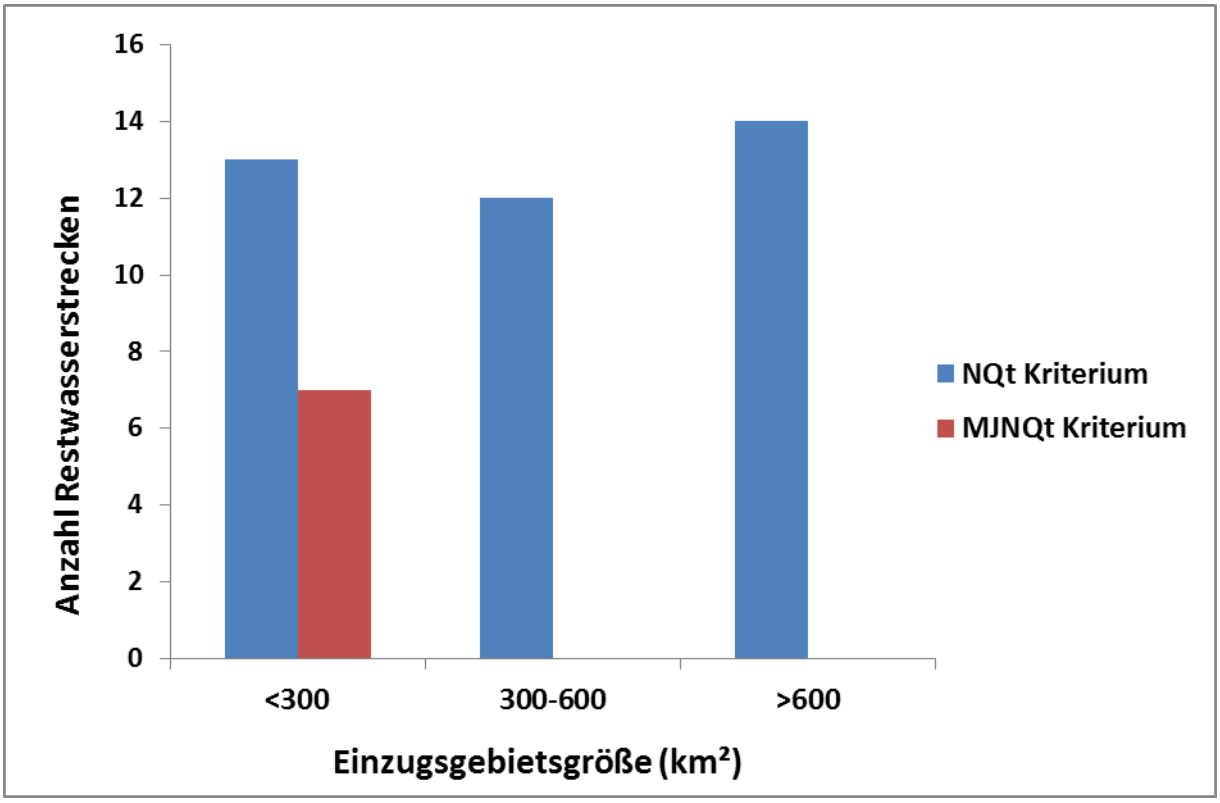


Abbildung 21: Ausschlaggebendes Kriterium bei Restwasserstrecken mit unterschiedlicher Einzugsgebietsgröße

Bei sämtlichen Restwasserstrecken mit einer Einzugsgebietsgröße über 300 km² erfordert das NQ_t Kriterium eine größere Restwasserabgabe, als das $MJNQ_t$ Kriterium und ist daher maßgeblich. Bei rund der Hälfte der Strecken mit Einzugsgebietsgrößen kleiner 300 km² ist das $MJNQ_t$ Kriterium ausschlaggebend.

- Wie verhält sich die Vorgabe einer dynamischen Restwasserabgabe an ausgewählten steirischen Flüssen?

20% der aktuell im Gewässer fließenden Wassermenge erfüllt laut QZV den Zweck einer dynamischen Restwasserführung bzw. geht auf sämtliche in den Erläuterungen zur QZV genannten Aspekte ein (vgl. Kapitel 2.2.1.). Zum Vergleich unterschiedlicher steirischer Gewässer werden in der nachfolgenden Graphik 20% des mittleren Monatsabflusses (2004 - 2008) im Verhältnis zu $MJNQ_t$ im Jahresverlauf dargestellt.

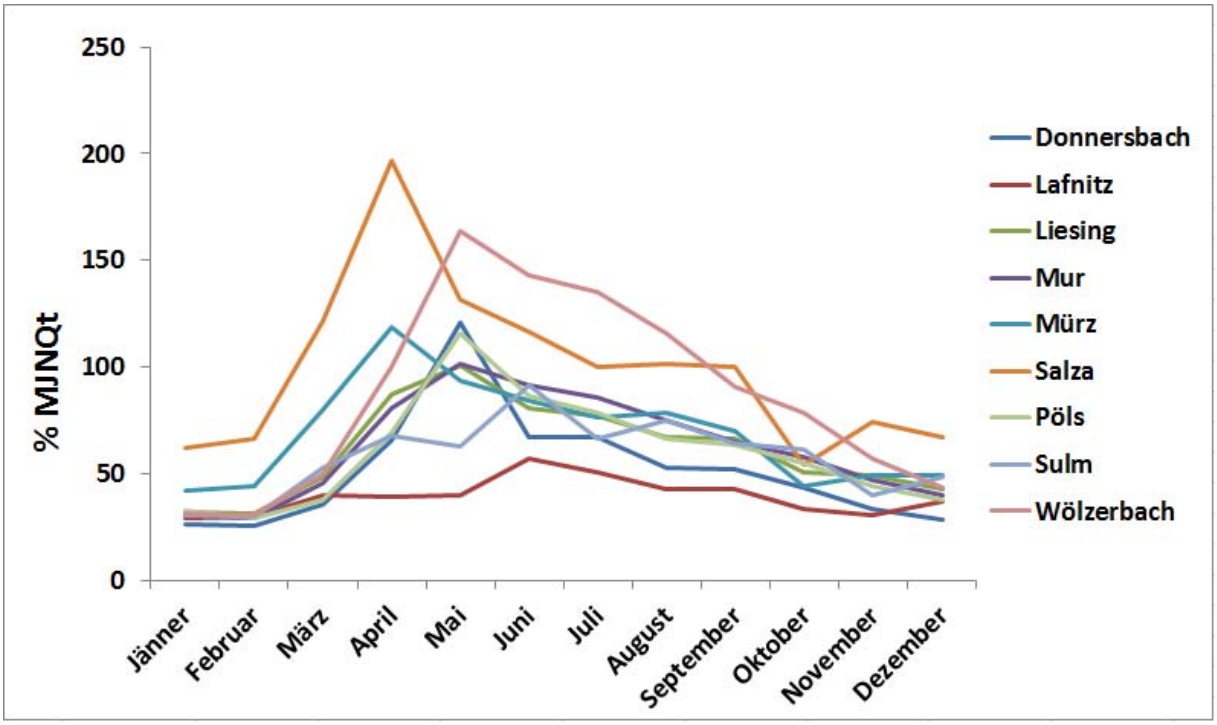


Abbildung 22: Dynamischer Anteil (20% mittlerer Monatsabfluss) an ausgewählten steirischen Flüssen

Es ist ersichtlich, dass der Großteil der dargestellten Flüsse (ausgenommen Sulm und Lafnitz) in unterschiedlichem Ausmaß nival geprägt ist (höchster mittlerer Monatsabfluss bei Schneeschmelze im Frühjahr). Die benötigte Abflussmenge, damit eine ausreichende Restwasserabgabe im Jahresverlauf vorhanden ist, sollte für jede Restwasserstrecke im Detail betrachtet werden, um dem natürlichen Abflussregime soweit als möglich zu entsprechen.

4.2. Hydraulisch/morphologische Kriterien

- Welches Kriterium nach QZV-Anlage G wirkt am häufigsten limitierend?

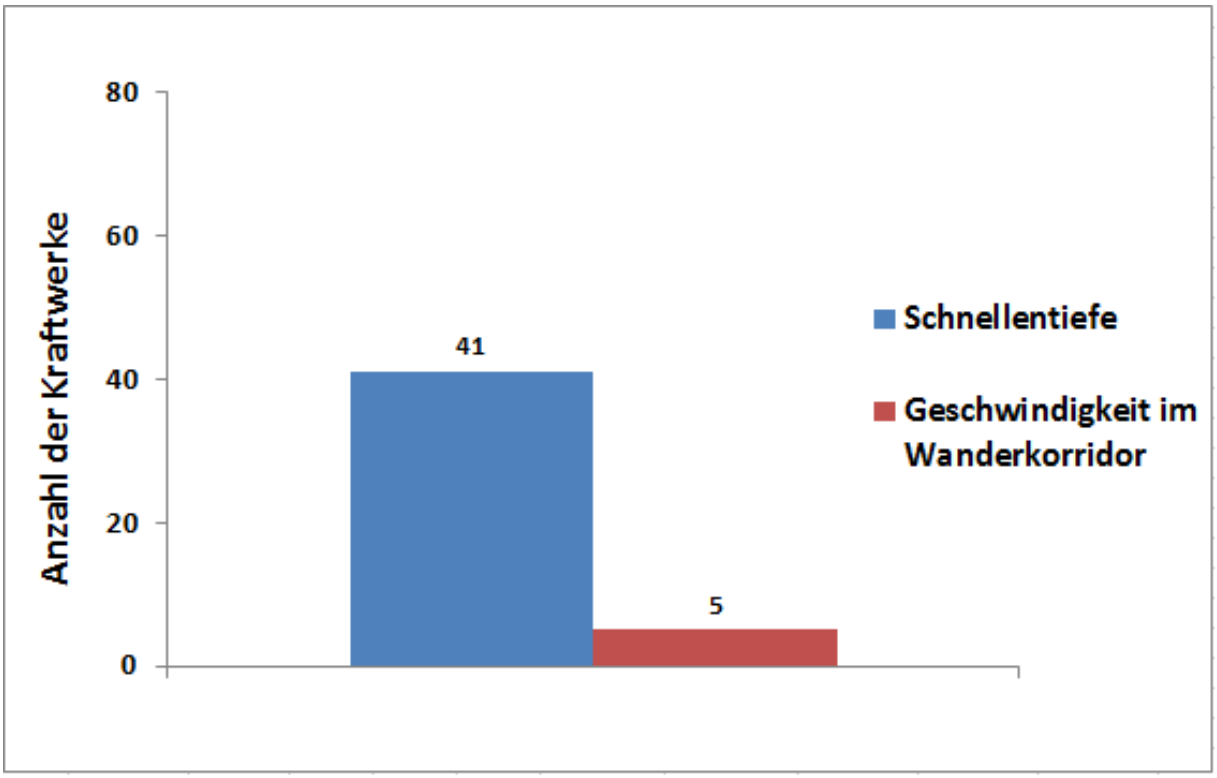


Abbildung 23: Limitierendes Kriterium der Anlage G

Bei etwa 90% der untersuchten Restwasserstrecken erfordert die Einhaltung des Kriteriums Schnellentiefe die größte Restwassermenge. Lediglich bei 5 Strecken ist zur Einhaltung des Kriteriums Geschwindigkeit im Wanderkorridor mehr Restwasser nötig, wobei dies unter den untersuchten Anlagen hauptsächlich Restwasserstrecken mit Einzugsgebietsgrößen über 600 km² betrifft. Die Kriterien mittlere Schnellengeschwindigkeit und mittlere Talwegtiefe werden bei sämtlichen Restwasserstrecken bei vergleichsweise geringeren Restwasserdotationen eingehalten.

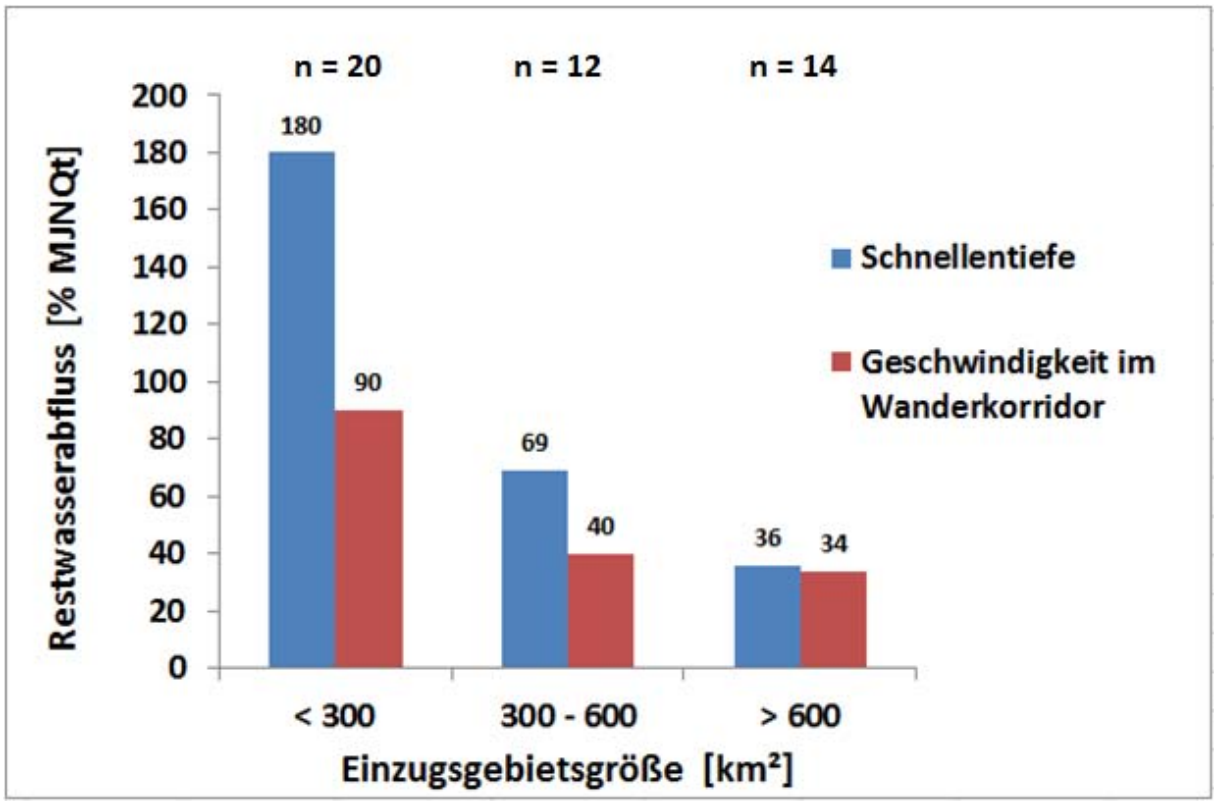


Abbildung 24: Durchschnittlich benötigter Restwasserabfluss in % $MJNQ_t$ zur Einhaltung der Kriterien Schnellentiefe (blau) und Geschwindigkeit im Wanderkorridor (rot)

Der Vergleich der durchschnittlich zur Einhaltung der beiden Kriterien Schnellentiefe und Mindestfließgeschwindigkeit im Wanderkorridor benötigten Restwassermenge bei unterschiedlicher Einzugsgebietsgröße zeigt, dass bei Flüssen mit einer Einzugsgebietsgröße unter 300 km² das Kriterium Schnellentiefe im Mittel die doppelte Restwassermenge fordert, als das Kriterium Geschwindigkeit im Wanderkorridor. Bei steigender Einzugsgebietsgröße nimmt die Differenz ab, bis sich die jeweils erforderliche Restwassermenge bei einer Einzugsgebietsgröße von größer 600 km² im Mittel etwa deckt.

- Spielen die Schnellenausformung bzw. die hydraulischen Bedingungen an der pessimalen Schnelle eine Rolle bezüglich der erforderlichen Mindestrestwassermenge?

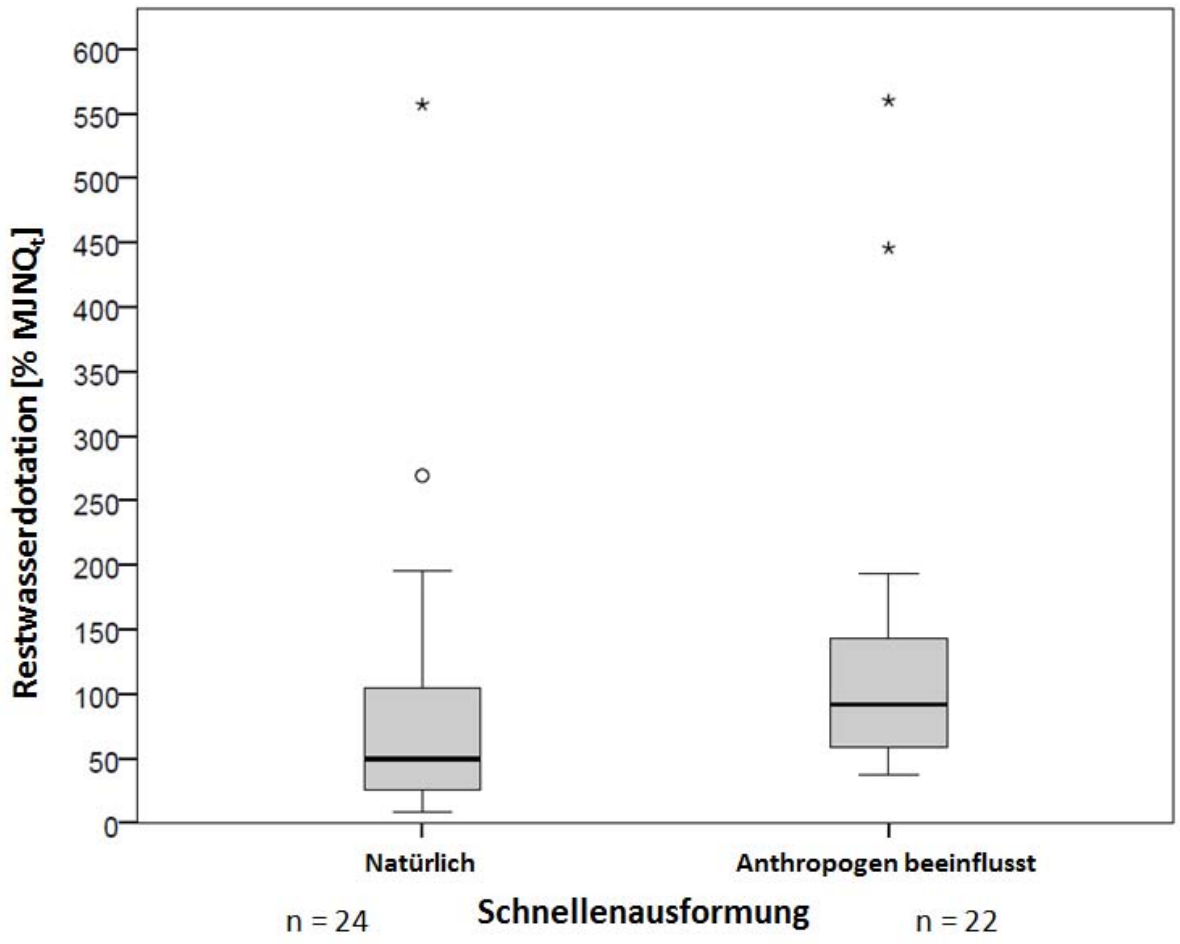


Abbildung 25: Erforderliche Restwasserdotation in % $MJNQ_t$ für die Einhaltung der Schnellentiefe bei unterschiedlicher Schnellenausformung

Generell ist zur Erreichung der geforderten Mindestwassertiefe an anthropogen beeinflussten Schnellen eine höhere Restwasserdotation erforderlich als bei natürlichen Schnellen, wobei der Unterschied nicht signifikant ist. Sämtliche Ausreißer in Abbildung 25 stellen Schnellen dar, welche aufgrund der hydraulischen Bedingungen als Abstürze kategorisiert wurden.

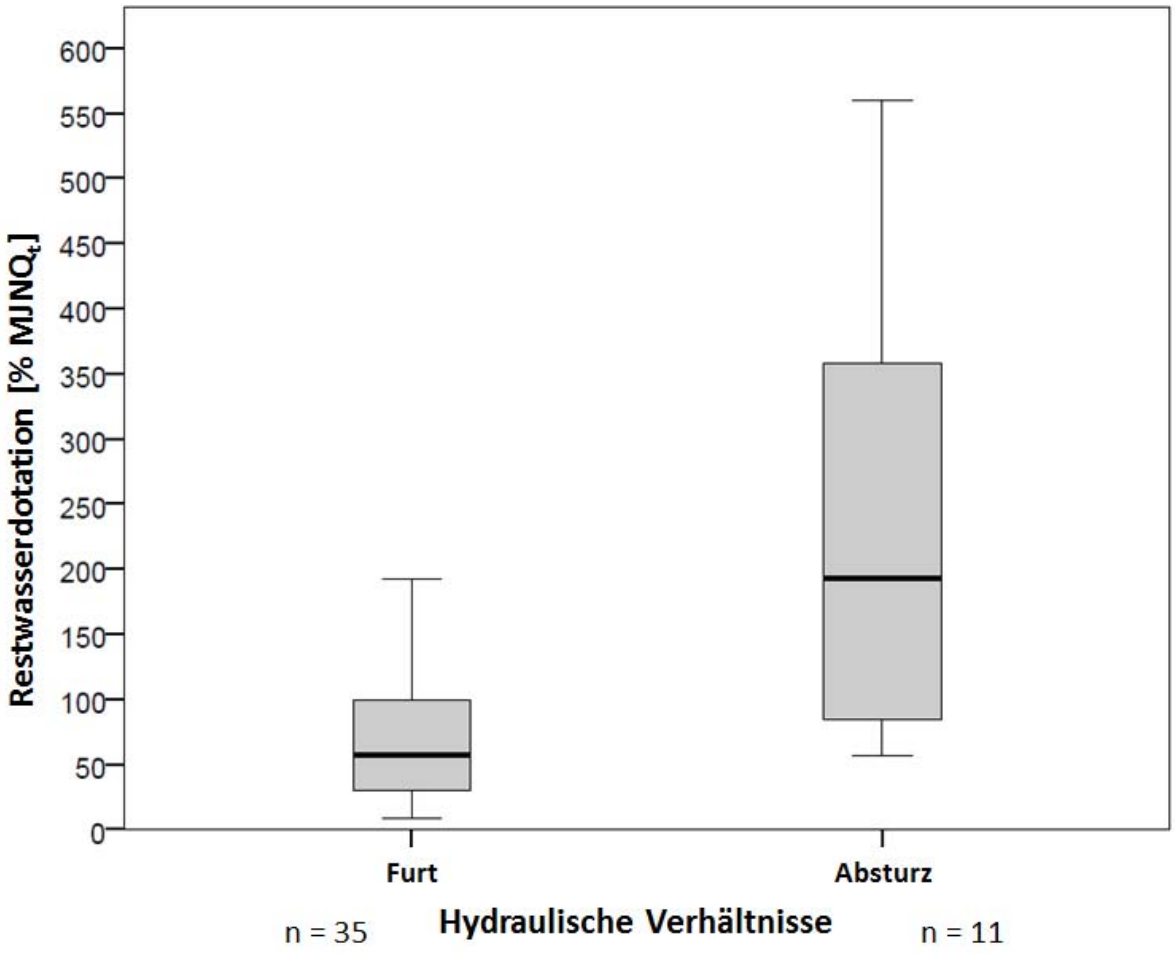


Abbildung 26: Erforderliche Restwasserdotation in % $MJNQ_t$ für die Einhaltung der Schnellentiefe bei unterschiedlichen hydraulischen Verhältnissen

Hinsichtlich der hydraulischen Bedingungen an den Schnellen wird in Abbildung 26 gezeigt, dass bei Schnellen, die als Absturz kategorisiert sind, im Vergleich zu Furten eine erheblich größere Restwasserdotation erforderlich ist, um das Kriterium Schnellentiefe einzuhalten. Die benötigte Restwassermenge übersteigt bei absturzartigen Schnellen meist das natürliche Wasserdargebot zu den jährlich auftretenden Niederwasserzeiten, da das $MJNQ_t$ teilweise um ein Vielfaches überschritten wird. Die Passierbarkeit von Schnellen, welche als Abstürze ausgebildet sind, kann zudem nicht ausschließlich durch die Tiefe der Schnelle bewertet werden, da der Höhenunterschied zwischen den Wasserspiegellagen unterhalb/oberhalb des Absturzes ein wesentliches Kriterium darstellt.

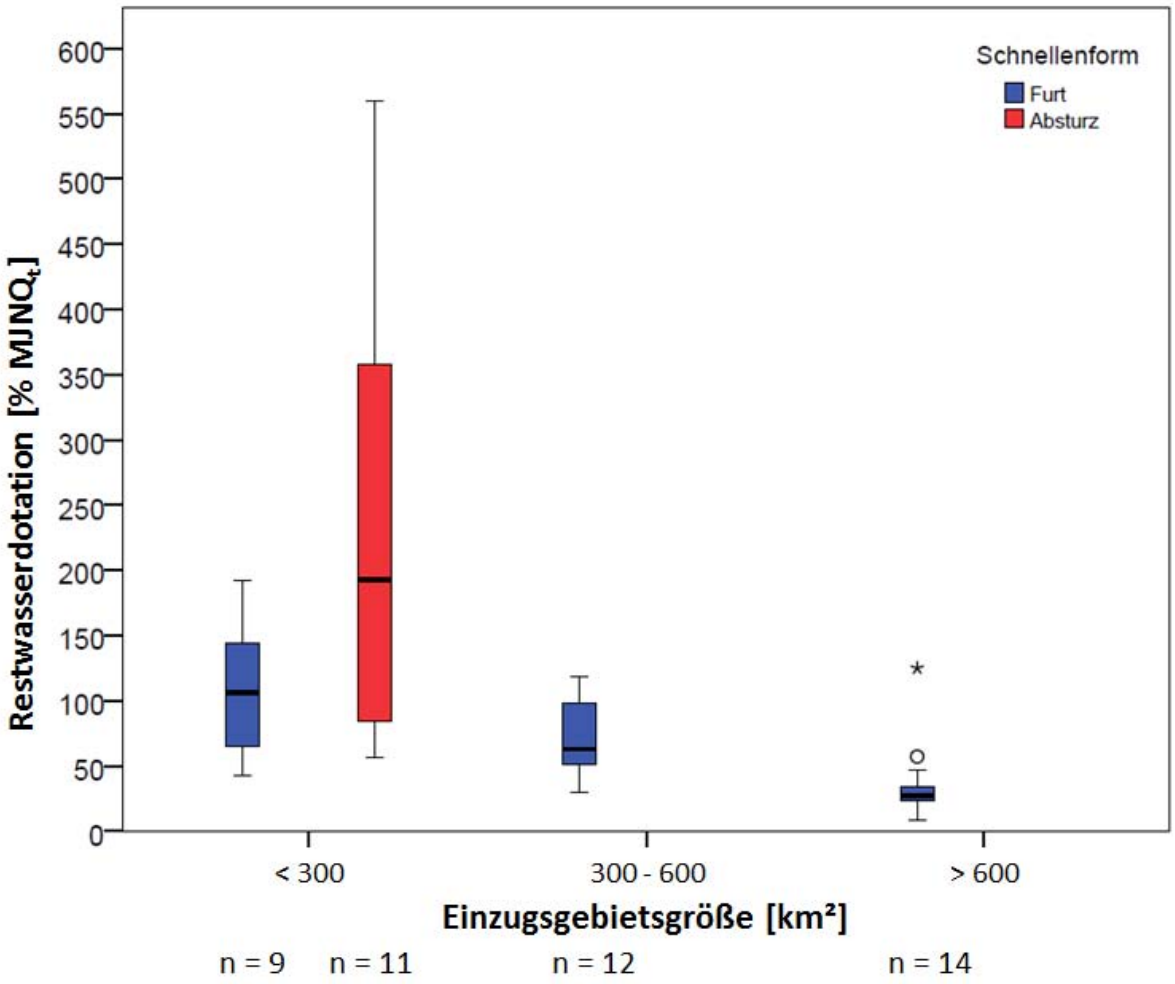


Abbildung 27: Erforderliche Restwasserdotation in % $MJNQ_t$ für die Einhaltung der Schnellentiefe bei unterschiedlicher Einzugsgebietsgröße bzw. unterschiedlichen hydraulischen Verhältnissen

In Abbildung 27 ist ersichtlich, dass die zur Einhaltung der Schnellentiefe erforderliche Restwasserdotation (im Verhältnis zum $MJNQ_t$) generell mit steigender Einzugsgebietsgröße sinkt und dass absturzartige Schnellen unter den analysierten Restwasserstrecken lediglich bei Einzugsgebietsgrößen kleiner 300 km² vorhanden sind.

- Welche Restwasserdotation ist bei unterschiedlichen Flussgrößen erforderlich, um die hydraulisch/morphologischen Kriterien nach Anlage G einzuhalten?

(Anm.: Restwasserstrecken mit absturzartigen Schnellen (Flüsse mit kaskadenartiger Gewässermorphologie oder anthropogen erzeugten Abstürzen) werden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt)

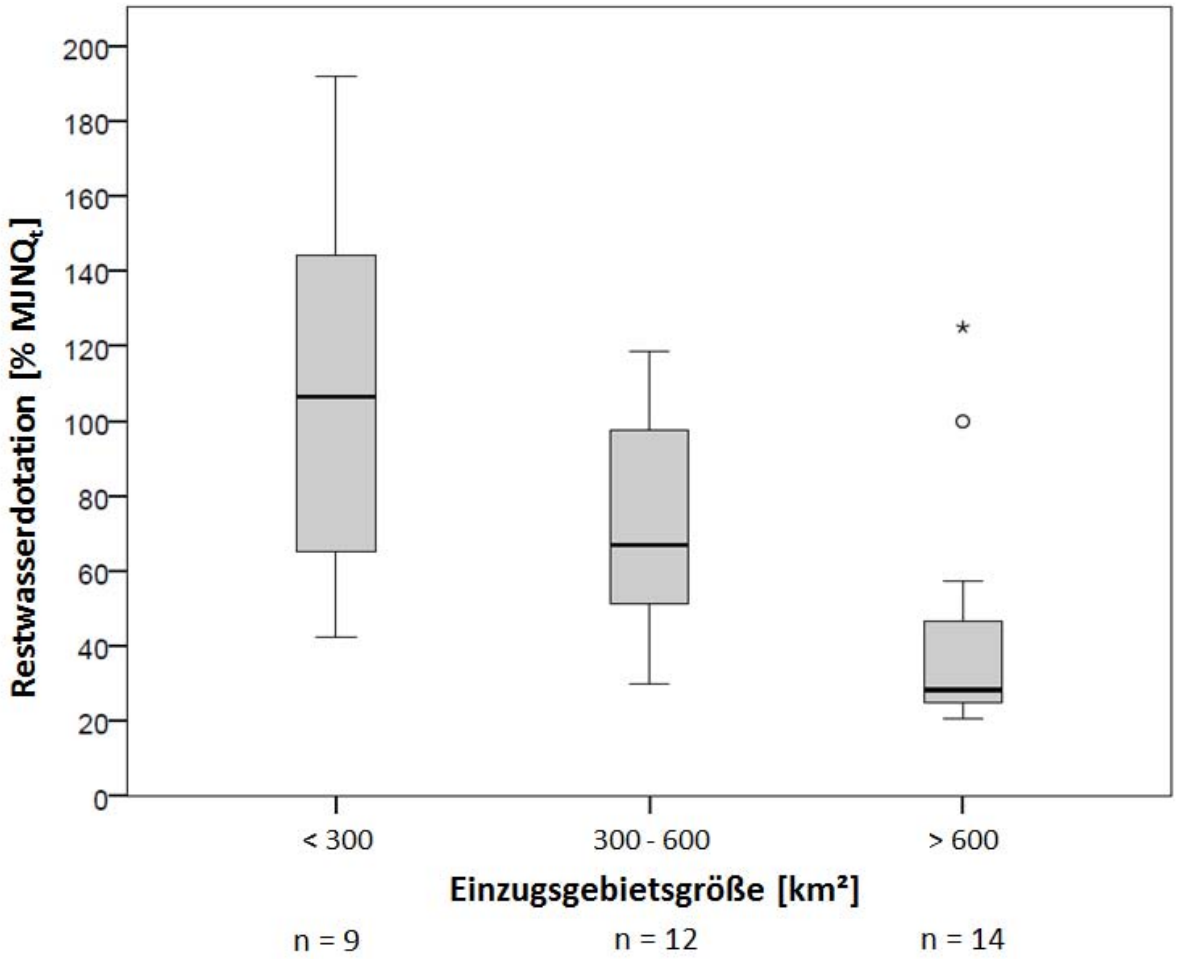


Abbildung 28: Erforderliche Restwasserdotation in % $MJNQ_t$ für die Einhaltung sämtlicher Kriterien lt. Anlage G bei unterschiedlicher Einzugsgebietsgröße (Gewässer mit absturzartigen Schnellen nicht miteinbezogen)

Ausgehend von Abbildung 28 ist ersichtlich, dass zur Erreichung der Durchgängigkeit in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße Restwasserdotationen im Bereich von 21-192 % des $MJNQ_t$ erforderlich sind, wobei die benötige Restwassermenge erheblich größer sein kann, wenn absturzartige Schnellen vorhanden sind (vgl. Abbildung 26 und 27).

Tabelle 1: Erforderliche Restwasserdotation in % $MJNQ_t$ zur Einhaltung sämtlicher Kriterien lt. Anlage G bei unterschiedlicher Einzugsgebietsgröße (ohne Berücksichtigung absturzartiger Schnellen)

EZG-Klasse	Anzahl Fälle	Unterer Whisker (% $MJNQ_t$)	25% Quartil (% $MJNQ_t$)	Median (% $MJNQ_t$)	75% Quartil (% $MJNQ_t$)	Oberer Whisker (% $MJNQ_t$)
< 300 km²	9	42	65	106	144	192
300-600 km²	12	30	54	67	93	119
>600 km²	14	21	25	28	44	57

(Anm.: Die in Tab. 1 genannten Grenzwerte orientieren sich an den Quartilen der Box Plots in Abbildung 28)

4.3. Gegenüberstellung hydrologische Kriterien – hydraulisch/morphologische Kriterien

- Kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Restwasserabgabe von 50% $MJNQ_t$ die Durchgängigkeit gewährleistet ist bzw. die hydraulisch/morphologischen Kriterien nach Anlage G eingehalten werden?

Durch Tabelle 1 bzw. Abbildung 28 wird deutlich gezeigt, dass nicht generell davon ausgegangen werden kann, dass bei einer Restwasserabgabe von 50% $MJNQ_t$ die Durchgängigkeit der Restwasserstrecke vorhanden ist. Bei Flüssen mit Einzugsgebietsgrößen kleiner 600 km² sind dafür, selbst wenn Restwasserstrecken mit absturzartigen Schnellen nicht berücksichtigt werden, in den meisten Fällen erheblich größere Restwasserdotationen erforderlich.

- Wie ist der Zusammenhang zwischen sämtlichen hydrologischen und hydraulisch/morphologischen Kriterien an ausgewählten Flüssen der Steiermark?

Beispielhaft werden die hydrologischen Kriterien sowie die ermittelte Wahrscheinlichkeit, dass bei einer gewissen Restwasserdotation die hydraulisch/morphologischen Kriterien nach Anlage G eingehalten werden können (vgl. Tabelle 1) für drei unterschiedliche steirische Flüsse dargestellt und interpretiert. Außerdem ist jene Restwasserdotation im Jahresverlauf eingezeichnet, welche erforderlich ist, um sämtliche gesetzlichen Vorgaben zu 100% erfüllen zu können (dicke schwarze Linie – Abb. 29-31).

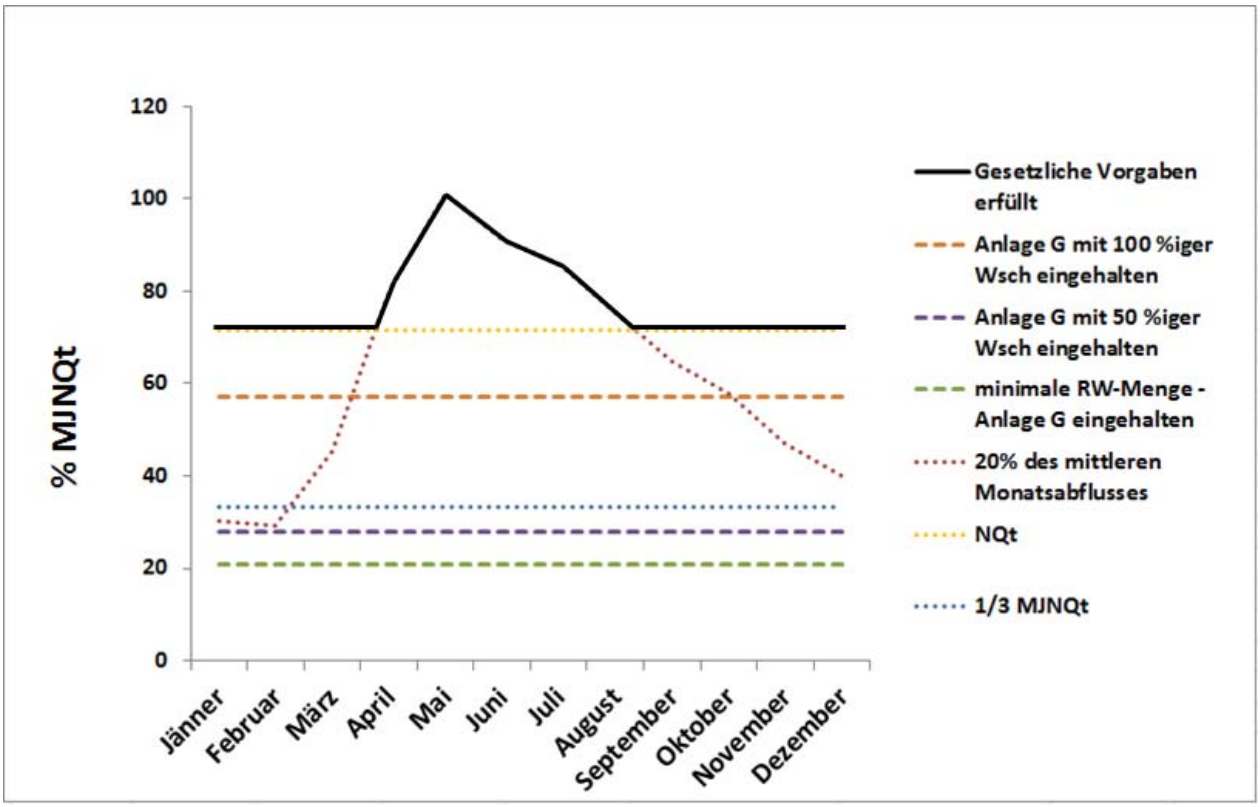


Abbildung 29: Beispiel Mur – Bruck a. d. Mur/Pernegg (> 600 km² Einzugsgebietsgröße)

Bei diesem Beispiel (EZG > 600 km²) ist zur Bestimmung der hydrologisch definierten Mindestrestwasserdotation das NQ_t Kriterium ausschlaggebend, da die Abflussmenge von NQ_t in der Größenordnung von über 70% von $MJNQ_t$ liegt (NQ_t > 1/3 $MJNQ_t$). In den Monaten April bis August übersteigen 20% des mittleren Monatsabflusses das NQ_t. In diesen Monaten ist die Mindestrestwasserdotation aufgrund der Vorgabe einer dynamischen Restwasserdotation dementsprechend anzuheben. Es kann davon ausgegangen werden, dass im gesamten Jahr durch die Abgabe der hydrologisch definierten Restwasserganglinie die Durchgängigkeit gewährleistet ist, da bei Gewässern dieser Einzugsgebietsklasse die

maximal benötigte Restwassermenge zur Einhaltung der Kriterien nach Anlage G knapp unter 60% von $MJNQ_t$ liegt. Dieser Wert wird durch die hydrologisch definierte Restwasserganglinie nicht unterschritten – somit sind bei dieser Restwasserdotation sämtliche gesetzlichen Vorgaben eingehalten.

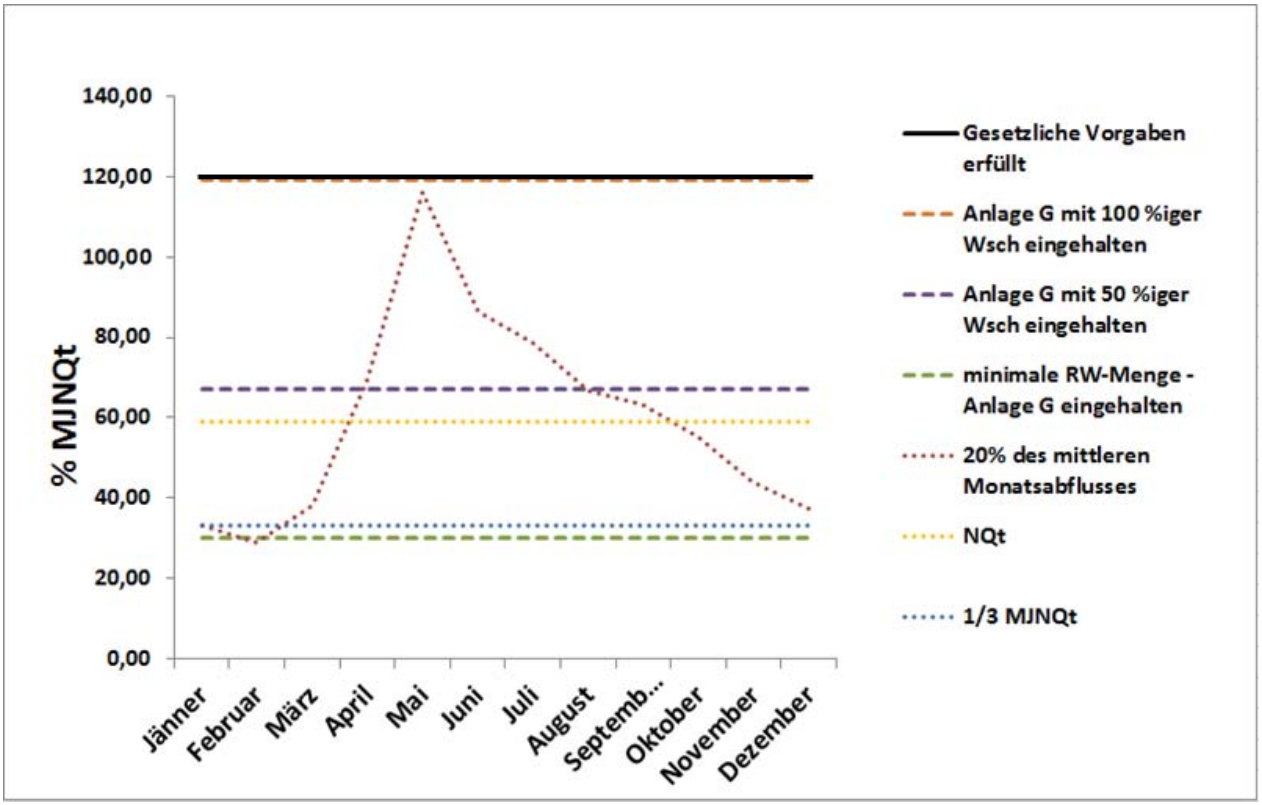


Abbildung 30: Beispiel Pöls – Pöls (300 - 600 km² Einzugsgebietsgröße)

Bei diesem Beispiel (EZG 300-600 km²) ist zur Bestimmung der hydrologisch definierten Mindestrestwasserdotation ebenfalls das NQ_t Kriterium ausschlaggebend, da die Abflussmenge von NQ_t etwa bei 60% von $MJNQ_t$ liegt (NQ_t > 1/3 $MJNQ_t$). In den Monaten April bis Oktober übersteigen 20% des mittleren Monatsabflusses das NQ_t. In diesen Monaten wäre die Mindestrestwasserdotation aufgrund der Vorgabe einer dynamischen Restwasserdotation dementsprechend anzuheben. Im Gegensatz zum Beispiel an der Mur, kann hier allerdings davon ausgegangen werden, dass in den Monaten in welchen aus hydrologischer Sicht NQ_t abzugeben wäre, die Kriterien nach Anlage G lediglich mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 50% eingehalten werden können. Nur im Mai ist die hydrologisch definierte Restwasserdotation so hoch, dass die Durchgängigkeit der Restwasserstrecke gewährleistet werden kann. Um alle gesetzlichen Vorgaben mit Sicherheit

einzuhalten, müsste demnach bei diesem Gewässer die minimale Restwasserdotation etwa bei 120% von $MJNQ_t$ liegen.

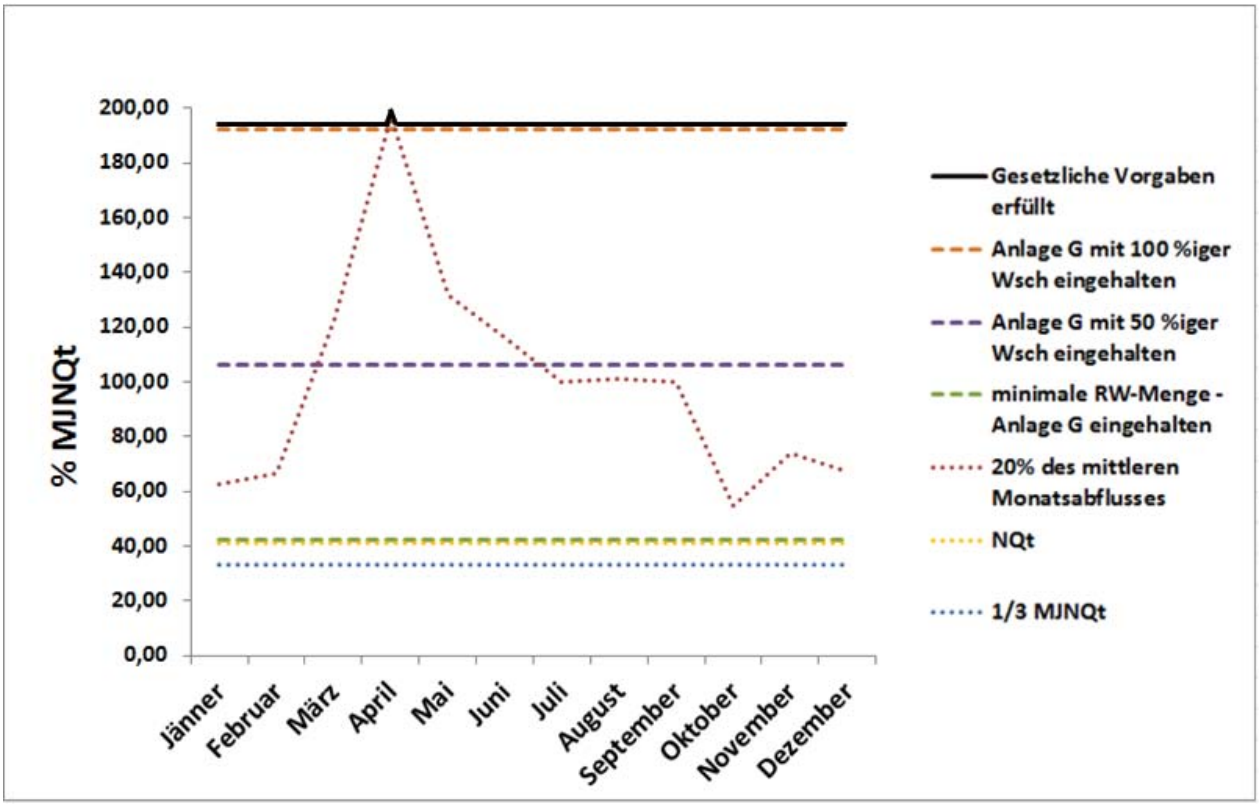


Abbildung 31: Beispiel Salza - Gußwerk (< 300 km² Einzugsgebietsgröße)

Bei diesem Beispiel (EZG < 300 km²) ist zur Bestimmung der hydrologisch definierten Mindestrestwasserdotation ebenfalls das NQ_t Kriterium ausschlaggebend, da die Abflussmenge von NQ_t etwa bei 40% von $MJNQ_t$ liegt (NQ_t>1/3 $MJNQ_t$). Allerdings übersteigt 20% des mittleren Monatsabflusses in sämtlichen Monaten das NQ_t, wodurch aus hydrologischer Sicht im Jahresverlauf jeweils 20% des mittleren Monatsabflusses abzugeben wäre. Wie beim Beispiel Pöls, kann aber durch Abgabe der hydrologisch definierten Restwassermenge nicht davon ausgegangen werden, dass die Durchgängigkeit mit Sicherheit gewährleistet ist – in den Monaten Oktober bis Februar liegt die Wahrscheinlichkeit unter 50%, in den Monaten Juli bis September etwa bei 50% und in den restlichen Monaten zwischen 50 und 100%. Lediglich im April ist die hydrologisch definierte Restwasserdotation so hoch, dass die Durchgängigkeit der Restwasserstrecke gewährleistet werden kann. Um alle gesetzlichen Vorgaben mit Sicherheit einzuhalten, müsste demnach bei diesem Gewässern die minimale Restwasserdotation bei knapp 200% von $MJNQ_t$ liegen.

5. Diskussion/Schlussfolgerungen/Empfehlungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse im Hinblick auf die in der Einleitung (vgl. Kapitel 1) definierten Fragestellungen diskutiert sowie Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet.

5.1. Hydrologische Kriterien

- NQ_t Kriterium/$MJNQ_t$ Kriterium

Die Begrenzung der minimalen Restwasserdotation durch eine hydrologische Kennzahl ist zielführend. Bei der aktuellen Gesetzeslage kann es vorkommen, dass bei Gewässern mit Einzugsgebietsgrößen kleiner 300 km² aufgrund des im Vergleich zum $MJNQ_t$ sehr geringen NQ_t sehr niedrige Restwasserdotationen gefordert werden.

Dieser Umstand entsteht dadurch, dass das NQ_t bei kleinen Flüssen bis zu lediglich 30% des $MJNQ_t$ beträgt, während das NQ_t bei großen Flüssen im Bereich von 80% des $MJNQ_t$ liegt. Dadurch ist bei großen Flüssen immer das NQ_t Kriterium ausschlaggebend, während bei kleinen Flüssen die minimale Restwasserdotation aufgrund des geringen NQ_t-Wertes teilweise auf 1/3 bzw. 1/2 $MJNQ_t$ abgemindert werden kann.

Die hydrologische Größe NQ_t stellt einen Wert dar, welcher stark durch Zufall beeinflusst sein kann, da es sich um einen einmaligen Extremwert aus der gesamten Pegelzeitreihe handelt. NQ_t ist zudem vor allem bei kleinen Teileinzugsgebieten, in welchen oft keine Pegeldaten vorhanden sind, lediglich mit großen Unsicherheiten modellierbar. Das NQ_t stellt daher unter den genannten Aspekten keinen geeigneten Parameter dar, um - vor allem bei Restwasserstrecken mit kleiner Einzugsgebietsgröße - als Grenzwert herangezogen zu werden.

Bei einer angepassten gesetzlichen Regelung der Mindestrestwasserdotation könnte das NQ_t-Kriterium folglich durch einen Prozentwert des $MJNQ_t$ ersetzt werden. Wie die

vorliegenden Untersuchungen zeigen, kann dieser Prozentsatz zur Erreichung der Durchgängigkeit in Abhängigkeit der individuellen Ausprägung des Gewässers und der Gewässergröße variieren. Zur genauen Festlegung sollten weitere Einzugsgebiete Österreichs untersucht werden.

- Dynamische Restwasserabgabe

Die gesetzliche Forderung von 20% der aktuell im Gewässer fließenden Wassermenge als dynamische Restwasserabgabe hat an jedem einzelnen Fluss - abhängig vom jeweiligen Abflussregime - unterschiedliche Auswirkungen auf die Restwassermenge und ist im Einzelfall zu beurteilen bzw. zu optimieren.

5.2. Hydraulisch/morphologische Kriterien

- Schnellentiefe

Das Kriterium der Schnellentiefe ist hinsichtlich Messmethodik klar definiert, es ist das am einfachsten zu messende und außerdem das am häufigsten limitierend wirkende Kriterium. Die Relevanz des Kriteriums der Schnellentiefe ist somit über sämtliche betrachteten Einzugsgebietsgrößen am höchsten. Bei Einhaltung der Schnellentiefe kann bei Flüssen unter 300 km² Einzugsgebietsgröße generell davon ausgegangen werden, dass sämtliche anderen Kriterien ebenfalls eingehalten werden.

Bei absturzartigen Schnellen ist durch die stark ungleichförmigen Abflussbedingungen allerdings mit einer vergleichsweise größeren Messungenauigkeit zu rechnen. Außerdem ist - um die geforderte Schnellentiefe zu erreichen - meist eine so hohe Restwasserdotation nötig, dass davon ausgegangen werden kann, dass die Tiefenwerte auch ohne Wasserentnahme nicht ganzjährig erreicht werden können. Zudem kann selbst bei Einhaltung der Schnellentiefe die Durchgängigkeit aufgrund der Höhe des Absturzes unter Umständen nicht gewährleistet werden.

Anthropogen erzeugte Abstürze stellen neben der Restwassersituation eine Mehrfachbelastung des Gewässers dar und sind prinzipiell nicht durch eine Erhöhung der Restwassermenge zu beheben, sondern durch Umbau so zu gestalten, dass die Passierbarkeit gewährleistet werden kann (vgl. AG-FAH, 2011).

Die Schnellentiefe von anthropogen erzeugten Abstürzen sowie natürlichen absturzartigen Schnellen sollte daher zur Ermittlung der Mindestrestwassermenge nicht berücksichtigt werden.

- Geschwindigkeit im Wanderkorridor

Das Kriterium Geschwindigkeit im Wanderkorridor ist hinsichtlich Messmethodik nicht klar definiert. Dadurch ist davon auszugehen, dass die erhobenen Daten nicht ohne weiteres reproduzierbar sind. Vor allem bei unterschiedlichen Messteams ist anzunehmen, dass die Daten nicht vergleichbar sind. Die in dieser Arbeit gewählte Methodik in welcher der Messort im Stromstrich des Kolkprofils mit größter Talwegtiefe festgelegt wurde (vgl. Abbildung 15), lässt darauf schließen, dass dieses Kriterium vor allem bei Flüssen mit Einzugsgebietsgrößen über 600 km² limitierend wirken kann und hier jedenfalls sehr relevant ist.

Die erzielbare Messgenauigkeit ist bei großen Flüssen durch die in den Messprofilen verhältnismäßig geringe Turbulenz in den räumlich weit ausgedehnten Kolken der Flusskrümmungen relativ hoch. Vor allem bei Restwasserstrecken in Flüssen mit Einzugsgebieten kleiner 300 km² ist die erzielbare Genauigkeit allerdings erheblich geringer, da in den Kolken oft die Turbulenz vergleichsweise hoch ist. Das Messprofil wird in den kleinräumigen Kolken oft von Strömungsfahnen bzw. bei flussauf liegenden Abstürzen von Wasserwalzen mit Kehrströmungen beeinflusst (vgl. Anhang 8). Es zeigte sich außerdem, dass es in Einzelfällen vorkommen kann, dass in der Restwasserstrecke ein (natürlich entstandener) Kolk vorhanden ist, in welchem es aufgrund der übergroßen Querschnittsfläche durch eine außergewöhnlich hohe Kolktiefe wahrscheinlich nicht möglich ist - bei einer Restwasserabgabe in verhältnismäßiger Größenordnung - die benötigte Geschwindigkeit zu erreichen.

Die Messmethodik sollte standardisiert werden, wobei sich die in dieser Arbeit gewählte Methodik vor allem bei größeren Flüssen über 300 km² Einzugsgebietsgröße anbietet. Bei Restwasserstrecken mit kleinerer Einzugsgebietsgröße ist anzunehmen, dass einerseits das Kriterium Schnellentiefe eine höhere Restwasserdotation erfordert und andererseits die Geschwindigkeit im Wanderkorridor schwer standardisiert messbar ist.

- Mittlere Talwegtiefe

Dieses Kriterium wirkte an keiner der untersuchten Restwasserstrecke limitierend und wurde im Allgemeinen bereits bei sehr geringer Restwasserdotation eingehalten. Dies kann dadurch erklärt werden, dass im allgemeinen Kolke auch bei sehr geringer Restwasserdotation hohe Tiefen aufweisen und das Kriterium dadurch auch in diesem Fall eingehalten werden kann. Die Kolke erinnern dann allerdings eher an stehende Gewässer, als an ein Fließgewässer. Lediglich beim gestreckten Flusstyp (MUHAR et al., 2003) kann es vorkommen, dass dieses Kriterium durch eine unverhältnismäßig geringe Restwasserdotation nicht eingehalten werden kann.

- Mittlere Schnellengeschwindigkeit

Dieses Kriterium wirkte an keiner Restwasserstrecke limitierend und wurde im Allgemeinen bereits bei sehr geringer Restwasserdotation eingehalten. Selbst bei kleinsten Restwasserabgaben ließen sich in den Schnellen mittlere Fließgeschwindigkeiten um 0,3 m/s nachweisen, welche bei steigender Restwasserabgabe oft auf über 1 m/s ansteigen.

5.3. Gegenüberstellung hydrologische Kriterien – hydraulisch/morphologische Kriterien

- hydrologische Kennzahlen – Durchgängigkeit

Wie die vorliegenden Untersuchungen zeigen, kann die Restwassermenge, welche zur Erreichung der Durchgängigkeit benötigt wird, in Abhängigkeit der individuellen Ausprägung des Gewässers und der Gewässergröße stark variieren.

Folgende Annahme „durch eine Mindestdotation in Höhe von 50% $MJNQ_t$ kann die Einhaltung der Werte für Mindesttiefen und Mindestfließgeschwindigkeiten und damit die Durchgängigkeit der Gewässer mit hoher Sicherheit gewährleistet werden“ ist der vorliegenden Untersuchung zufolge nicht haltbar. Es konnte nachgewiesen werden, dass dies vor allem bei Restwasserstrecken mit Einzugsgebietsgrößen kleiner 600 km² nicht zutrifft.

Diese Formulierung sollte daher aus der Anlage G entfernt werden und die zur Durchgängigkeit benötigte Restwasserdotation jeweils genau bestimmt werden.

- Sämtliche gesetzliche Vorgaben

Das Zusammenspiel von hydrologischen Kriterien zur Mindestrestwasserdotation und dynamischer Restwasserabgabe mit den hydraulisch/morphologischen Kriterien zur Erreichung der Durchgängigkeit ist bei abweichenden Flussgrößen und Einzugsgebietsbeschaffenheiten sowie unterschiedlichen gewässermorphologischen Ausprägungen nur mit sehr großen Unsicherheiten zu prognostizieren. Eine aus ökologischer Sicht ausreichende Restwasservorschreibung - welche unter anderem auch die Durchgängigkeit gewährleistet - kann vor allem bei Flüssen mit Einzugsgebietsgrößen kleiner 600 km² nicht durch theoretische Annahmen erstellt werden.

Als Alternative bieten sich detaillierte Dotationsversuche oder Habitatmodellierungen an.

5.4. Zusammenfassende Empfehlungen

Zur Festlegung einer aus den unterschiedlichen Gesichtspunkten betrachteten, optimalen Restwasserdotation im Jahresverlauf sollte folgendermaßen vorgegangen werden:

1. Bestimmung der benötigten Restwassermenge zur Gewährleistung der Durchgängigkeit (Anlage G) in der gesamten Restwasserstrecke durch einen Dotationsversuch oder einer Abflussmodellierung.

Aus gesetzlicher Sicht ist es nötig, die Messmethodik für das Kriterium Geschwindigkeit im Wanderkorridor näher zu definieren. Auf die Einhaltung der Kriterien Schnellentiefe (keine anthropogen bedingten Abstürze berücksichtigen) und Geschwindigkeit im Wanderkorridor (bei Einzugsgebietsgrößen über 300 km²) sollte erhöhtes Augenmerk gelegt werden.

2. Bestimmung der Mindestrestwasserabgabe durch die Kennzahl $MJNQ_t$.

Der Grenzwert muss vor allem bei steirischen Flüssen mit einer Einzugsgebietsgröße unter 600 km² oft deutlich über 50% $MJNQ_t$ betragen, um die Durchgängigkeit zu gewährleisten. Durch weitere hydromorphologische Analysen sollte die Bandbreite dieses Grenzwertes österreichweit erfasst werden, wobei neben der Durchgängigkeit auch die Habitatverfügbarkeit bei geringen Abflusswerten berücksichtigt werden sollte.

3. Jahreszeitliche Optimierung – Festlegung der dynamischen Restwasserdotation

Bei der Festlegung der dynamischen Restwasserabgabe im jahreszeitlichen Verlauf sollten, ausgehend von der zur Durchgängigkeit benötigten Restwassermenge (vgl. Punkt 1) und der zur Gewährleistung einer ausreichenden Habitatverfügbarkeit benötigten minimalen Restwasserdotation (vgl. Punkt 2) auch ökologische (z.B. Laichzeiten, Migrationszeiten, unterschiedliche Lebensraumansprüche, etc.) und hydromorphologische Begebenheiten (z.B. Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt) berücksichtigt werden.

6. Literaturverzeichnis

AG-FAH (2011): Grundlagen für einen österreichischen Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen (FAHs). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

DYCK, S., PESCHKE, G., (1995): Grundlagen der Hydrologie. Verlag für Bauwesen, Berlin,536 S

ISO 3455 (2007 – 06): Hydrometry – Calibration of current meters in straight open tanks

JÄGGI, M., (1979): Die Bildung von alternierenden Kiesbänken in geraden Flussläufen; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie, und Glaziologie an der ETH Zürich, 1979 - 50 Seiten

JUNGWIRTH, M., HAIDVOGEL, G., MOOG, O., MUHAR, S., SCHMUTZ, S. (2003): Angewandte Fischökologie in Fließgewässern, 552, Facultas Universitätsverlag, Wien, ISBN 3-8252-2113-X.

KREPS, H. (1975): Praktische Arbeit in der Hydrographie – 25 Jahre im Dienst der Hydrographischen Landesabteilung Steiermark, Wien, Mai 1975

LOISKANDL, W. (2008): Hydraulik und Hydromechanik – Vorlesungsskript; Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, BOKU Wien

MADER, H., STEIDL, T. & WIMMER, R. (1996): Abflussregime Österreichischer Fließgewässer. Beitrag zu einer Bundesweiten Fließgewässertypologie. Umweltbundesamt. Monographien, Bd. 82, Wien.

MANIAK, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure, 5., bearbeite und erweiterte Auflage, S. 66

MELCHER A., PLETTERBAUER F.; & SCHMUTZ S. (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserkraft in Österreich, - Präsentation der aktuellen Studien, Teil: Fischfauna und Klimaänderung

MORGENSCHWEIS, G. (2010): Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2010

MUHAR, S., POPPE, M., SCHMUTZ, S., EGGER, G., MELCHER, A. (2003): Analyse und Ausweisung naturräumlicher Flusstypen Österreichs, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 7-8, 113-121

ÖNORM B 2400, (2003): Hydrologie - Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen - Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN ISO 772

QZV, (2010): Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG, Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, (29. März 2010)

QZV, (2010): Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG: Erläuterungen

QZV, (2010): BGBL. II ausgegeben am 29. März 2010; Anlage G: Ökologische Mindestwasserführung in Fischlebensräumen (§13 Abs. 2 Z 2)

SCHMUTZ, S., ZITEK, A., ZOBEL, S., JUNGWIRTH, M., KNOPF, N., KRAUS, E., BAUER, T., KAUFMANN, T. (2002): Integrated Approach to the Conservation and Restoration of Danube salmon, Hucho hucho, Populations in Austria. In Freshwater Fish Conservation - Options for the Future (Coelho, M. M., ed.). Oxford: Fishing News Books.

WHITTAKER J. G., JÄGGI M. N. R. (1982): Origin of step-pool system in mountain streams. American Society of Civil Engineers, Journal of Hydraulic Division 108: 758-773.

WRRL, (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zu Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft.

www.bafu.admin.ch (Bundesamt für Umwelt, BAFU Schweiz)

www.ehyd.gv.at

www.gis.steiermark.at

7. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SCHEMA-SKIZZE RESTWASSERSTRECKE (WWW.BAFU.ADMIN.CH, BUNDESAMT FÜR UMWELT, BAFU SCHWEIZ) ..... - 1 -
ABBILDUNG 2: ANLAGE G AUS DER QZV – ÖKOLOGIE OG ..... - 8 -
ABBILDUNG 3: PESSIMALE SCHNELLE IN EINER RESTWASSERSTRECKE ..... - 9 -
ABBILDUNG 4: KENNZEICHNUNG DES TALWEGES ALS TIEFSTEN BEREICH DER QUERPROFILE ..... - 10 -
ABBILDUNG 5: DARSTELLUNG DER UNTERSUCHTEN FLÜSSE ..... - 11 -
ABBILDUNG 6: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES DURCHFLUSSQUERSCHNITTES UND DER GESCHWINDIGKEITSVERTEILUNG (DYCK U. PESCHKE 1995, S.95) ..... - 15 -
ABBILDUNG 7: VERGLEICH DER ERHOBENEN FLIEßGESCHWINDIGKEITEN AN IDENTEN MESSPUNKTEN MITTELS FLOW MATE GERÄT (BLAUE PUNKTE) UND FLOW PROBE FLÜGEL (ROTE PUNKTE) ..... - 16 -
ABBILDUNG 8: ERMITTLUNG DER PESSIMALEN SCHNELLENTIEFE ..... - 18 -
ABBILDUNG 9: NATÜRLICH AUSGEFORMTE SCHNELLE ..... - 19 -
ABBILDUNG 10: ANTHROPOGEN BEEINFLUSSTE SCHNELLE (SOHLSICHERUNG) ..... - 20 -
ABBILDUNG 11: FURT – HYDRAULISCHE BEDINGUNGEN VERGLEICHBAR MIT EINER SOHLRAMPE ..... - 21 -
ABBILDUNG 12: DARSTELLUNG DER GRENZTIEFE H_{GR} SOWIE DER ÜBERGANG STRÖMEN – SCHIEßEN AM BEISPIEL EINES ABSTURZES (LOISKANDL, 2008) ..... - 22 -
ABBILDUNG 13: SCHNELLEN, ALS ABSTÜRZE AUSGEBILDET (ANTHROPOGEN BZW. NATÜRLICH AUSGEFORMT) ..... - 23 -
ABBILDUNG 14: SCHNELLEN, ALS ABSTÜRZE AUSGEBILDET (STEP-POOL-SYSTEM) ..... - 23 -
ABBILDUNG 15: ERMITTLUNG DER TALWEGTIEFE SOWIE DER GESCHWINDIGKEIT IM WANDERKORRIDOR ..... - 25 -
ABBILDUNG 16: INTERPOLATION DES KRITERIUMS SCHNELLENTIEFE DURCH ZWEI MESSUNGEN (BLAUE PUNKTE) BEI UNTERSCHIEDLICHER RESTWASSERDOTATION – ABSCHÄTZUNG DER TIEFE BEI BEST. HYDROLOGISCHEN KENNGRÖßEN (Z.B. 1/3 $MJNQ_T$ - ROTER PFEIL); ABSCHÄTZUNG DER RESTWASSERDOTATION ZUR ERREICHUNG EINER BEST. MINDESTTIEFE (Z.B. 30 CM – BLAUER PFEIL) ..... - 26 -

ABBILDUNG 17: INTERPOLATION DES KRITERIUMS GESCHWINDIGKEIT IM WANDERKORRIDOR DURCH ZWEI MESSUNGEN (BLAUE PUNKTE) BEI UNTERSCHIEDLICHER RESTWASSERDOTATION – ABSCHÄTZUNG DER GESCHWINDIGKEIT BEI BEST. HYDROLOGISCHEN KENNGRÖßEN (Z.B. 1/3 $MJNQ_T$ - ROTER PFEIL); ABSCHÄTZUNG DER RESTWASSERDOTATION ZUR ERREICHUNG EINER BEST. MINDESTGESCHWINDIGKEIT (Z.B. 0,3 M/S – BLAUER PFEIL) ..... - 27 -
ABBILDUNG 18: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN RESTWASSERABFLUSS UND TIEFE DER PESSIMALEN SCHNELLE ..... - 28 -
ABBILDUNG 19: DARSTELLUNG DES ZULÄSSIGEN SCHÄTZBEREICHES (ROTE PUNKTE: MESSPUNKTE) ..... - 28 -
ABBILDUNG 20: DARSTELLUNG VON NQ_T IN PROZENT VON $MJNQ_T$, ABHÄNGIG VON DER EINZUGSGEBIETSGRÖßE ..... - 29 -
ABBILDUNG 21: AUSSCHLAGGEBENDES KRITERIUM BEI RESTWASSERSTRECKEN MIT UNTERSCHIEDLICHER EINZUGSGEBIETSGRÖßE ..... - 30 -
ABBILDUNG 22: DYNAMISCHER ANTEIL (20% MITTLERER MONATSABFLUSS) AN AUSGEWÄHLTEN STEIRISCHEN FLÜSSEN ..... - 31 -
ABBILDUNG 23: LIMITIERENDES KRITERIUM DER ANLAGE G ..... - 32 -
ABBILDUNG 24: DURCHSCHNITTLICH BENÖTIGTER RESTWASSERABFLUSS IN % $MJNQ_T$ ZUR EINHALTUNG DER KRITERIEN SCHNELLENTIEFE (BLAU) UND GESCHWINDIGKEIT IM WANDERKORRIDOR (ROT) ..... - 33 -
ABBILDUNG 25: ERFORDERLICHE RESTWASSERDOTATION IN % $MJNQ_T$ FÜR DIE EINHALTUNG DER SCHNELLENTIEFE BEI UNTERSCHIEDLICHER SCHNELLENAUSFORMUNG ..... - 34 -
ABBILDUNG 26: ERFORDERLICHE RESTWASSERDOTATION IN % $MJNQ_T$ FÜR DIE EINHALTUNG DER SCHNELLENTIEFE BEI UNTERSCHIEDLICHEN HYDRAULISCHEN VERHÄLTNISSEN ..... - 35 -
ABBILDUNG 27: ERFORDERLICHE RESTWASSERDOTATION IN % $MJNQ_T$ FÜR DIE EINHALTUNG DER SCHNELLENTIEFE BEI UNTERSCHIEDLICHER EINZUGSGEBIETSGRÖßE BZW. UNTERSCHIEDLICHEN HYDRAULISCHEN VERHÄLTNISSEN ..... - 36 -
ABBILDUNG 28: ERFORDERLICHE RESTWASSERDOTATION IN % $MJNQ_T$ FÜR DIE EINHALTUNG SÄMTLICHER KRITERIEN LT. ANLAGE G BEI UNTERSCHIEDLICHER EINZUGSGEBIETSGRÖßE (GEWÄSSER MIT ABSTÜRZEN WERDEN NICHT MITEINBEZOGEN) ..... - 37 -

ABBILDUNG 29: MUR – BRUCK A. D. MUR/PERNEGG (> 600 KM² EINZUGSGEBIETSGRÖßE) ..... - 39 -
ABBILDUNG 30: PÖLS – PÖLS (300 - 600 KM² EINZUGSGEBIETSGRÖßE) ..... - 40 -
ABBILDUNG 31: SALZA - GUßWERK (< 300 KM² EINZUGSGEBIETSGRÖßE) ..... - 41 -

8. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ERFORDERLICHE RESTWASSERDOTATION IN % MJNQT ZUR EINHALTUNG SÄMTLICHER KRITERIEN LT. ANLAGE G BEI UNTERSCHIEDLICHER EINZUGSGEBIETSGRÖßE (OHNE BERÜCKSICHTIGUNG ABSTURZARTIGER SCHWELLEN) ..... - 38 -

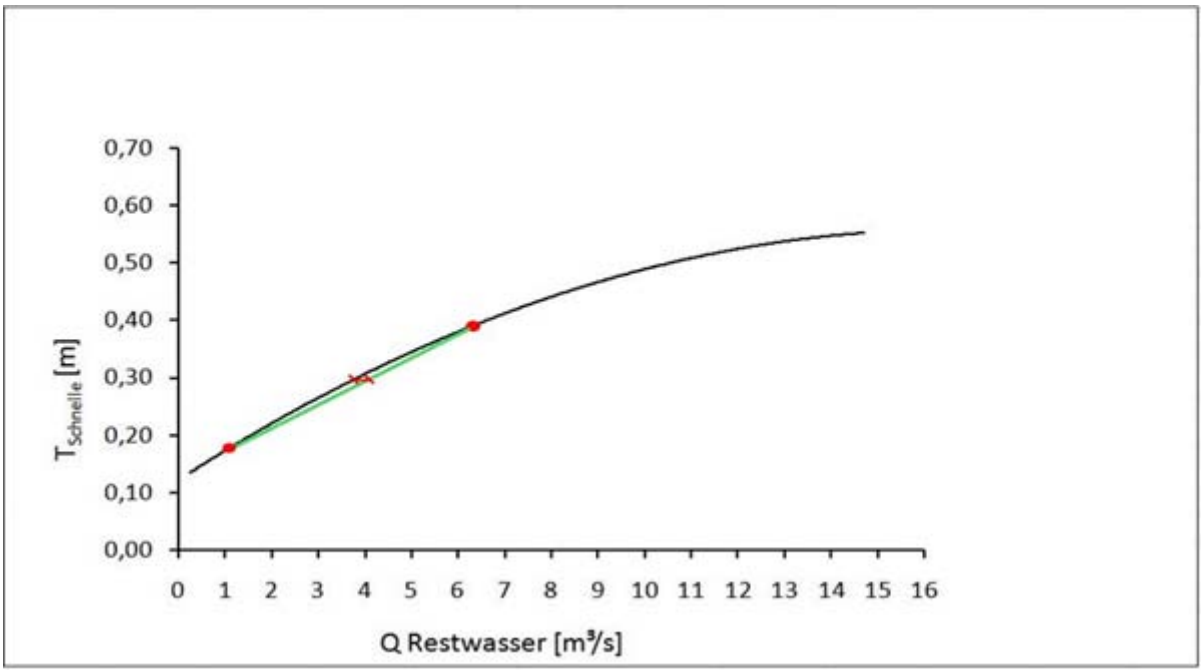
9. Anhang

Anhang 1 – Verwendete Restwasserstrecken

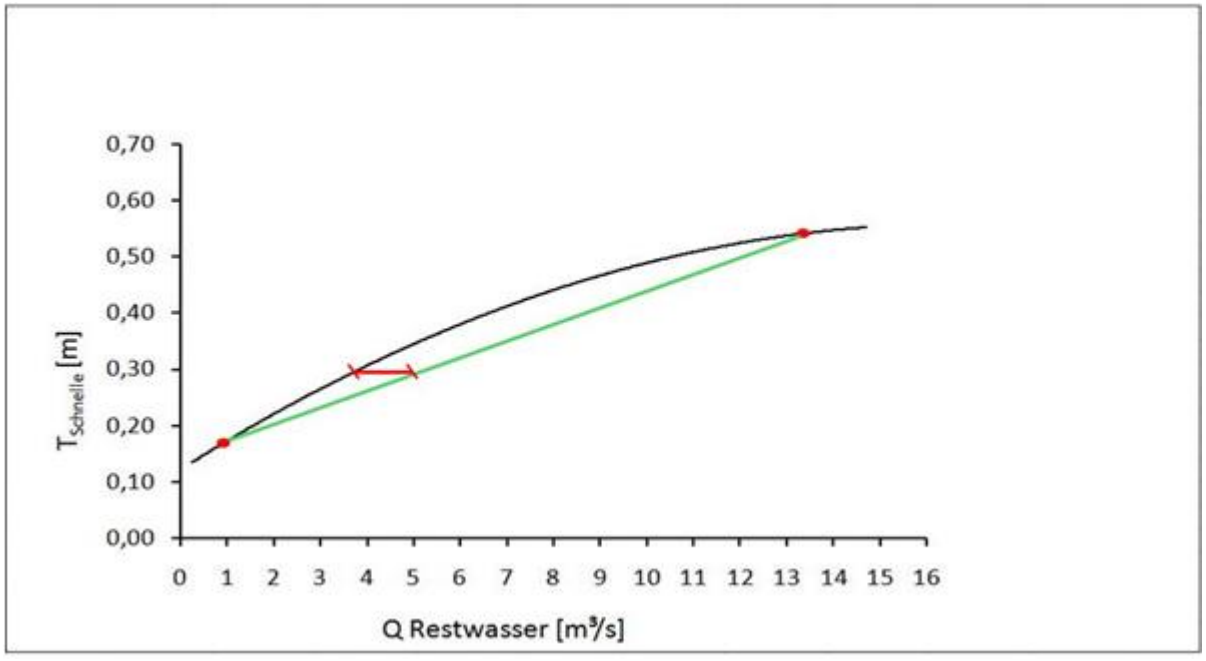
Gewässer	Fischregion	Einzugsgebiet [km²]	Ø Breite [m]	MQ [m³/s]	MJNQt [m³/s]	NQt [m³/s]
Aschbach	hr	114,3	11,4	2,36	0,75	0,49
Authalbach	er	18,3	6,2	0,62	0,23	0,12
Donnersbach	er	97,3	10,6	3,01	1,14	0,31
Donnersbach	er	73,1	12,6	2,30	0,87	0,24
Enns	hr	4103	47,7	125,49	32,59	27,69
Enns	hr	4057	46,8	123,12	32,04	27,20
Enns	hr	3097	40,0	94,64	25,41	21,38
Enns	hr	2788	28,6	85,62	23,30	19,52
Erzbach	mr	141	11,7	5,36	1,25	0,60
Feistritz	ep	800	11,5	6,97	2,72	1,71
Feistritz	ep	594	11,6	5,84	2,53	1,68
Feistritz	ep	584	12,7	5,82	2,53	1,68
Feistritz	ep	531	8,5	5,49	2,47	1,67
Feistritz	hr	501	11,4	5,25	2,43	1,67
Feistritz	hr	495	10,8	5,22	2,42	1,67
Freßnitzbach	er	7,5	4,2	0,13	0,04	0,02
Lafnitz	ep	445	7,3	3,18	1,43	0,92
Lafnitz	ep	442	6,2	3,16	1,42	0,91
Lafnitz	ep	433	7,2	3,11	1,39	0,90
Liesing	hr	333,5	8,5	7,30	2,95	1,77
Liesing	hr	253,9	12,0	5,70	2,08	1,65
Lietzelbach	er	17	6,5	0,56	0,21	0,06
Mörsbach	er	11,1	5,3	0,34	0,07	0,03
Mur	ep	6837	54,9	117,00	40,67	29,32
Mur	ep	6559	47,9	113,00	39,15	28,25
Mur	ep	6368	41,4	110,50	38,06	27,49
Mur	ep	6239	36,1	108,50	37,34	26,98
Mur	hr	4687	48,7	84,40	28,49	20,70
Mur	hr	4647	40,6	83,90	28,40	20,53
Mur	hr	4597	42,2	83,70	28,11	20,43
Mur	hr	2477	34,3	48,30	15,33	11,23
Mürz	hr	1361	23,9	17,48	7,06	4,74
Mürz	hr	535	21,4	11,81	4,04	2,88
Niedere Laßnitz	er	36	9,7	0,83	0,25	0,12
Niedere Laßnitz	er	11,3	5,4	0,35	0,13	0,07
Palten	hr	282,5	12,5	7,20	2,35	1,05
Pölsbach	mr	472	12,6	9,60	2,93	1,50
Pölsbach	mr	436,4	12,7	9,25	2,82	1,67
Pölsbach	er	36,5	5,7	1,28	0,31	0,20
Pretulbach	er	11,4	3,4	0,34	0,11	0,07
Raab	hr	182	9,5	1,52	0,61	0,31
Salza	mr	284	19,3	7,10	1,56	0,64
Schrabach	er	10	6,8	0,32	0,09	0,04
Stanzbach	er	62,4	5,0	0,75	0,29	0,11
Strieglerbach	er	42,1	7,9	1,68	0,28	0,16
Sulm	hr	263	13,5	4,14	1,49	0,77

Anhang 2 – Schätzfehler bei Interpolation

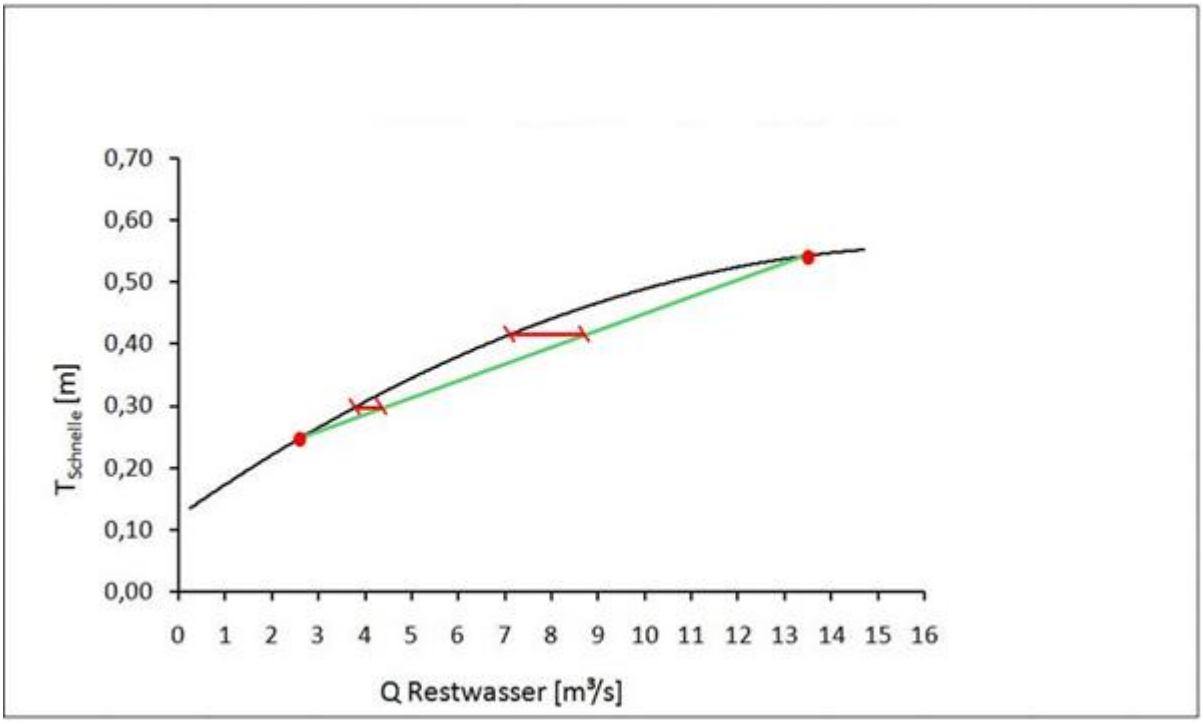
Die Abflussermittlung mittels Interpolation ist die am häufigsten angewendete Methode.



Geringer Schätzfehler mittels linearer Interpolation bei kleinem Abstand der Messpunkte zueinander



Schätzfehler mittels Interpolation bei großem Abstand der Messpunkte zueinander



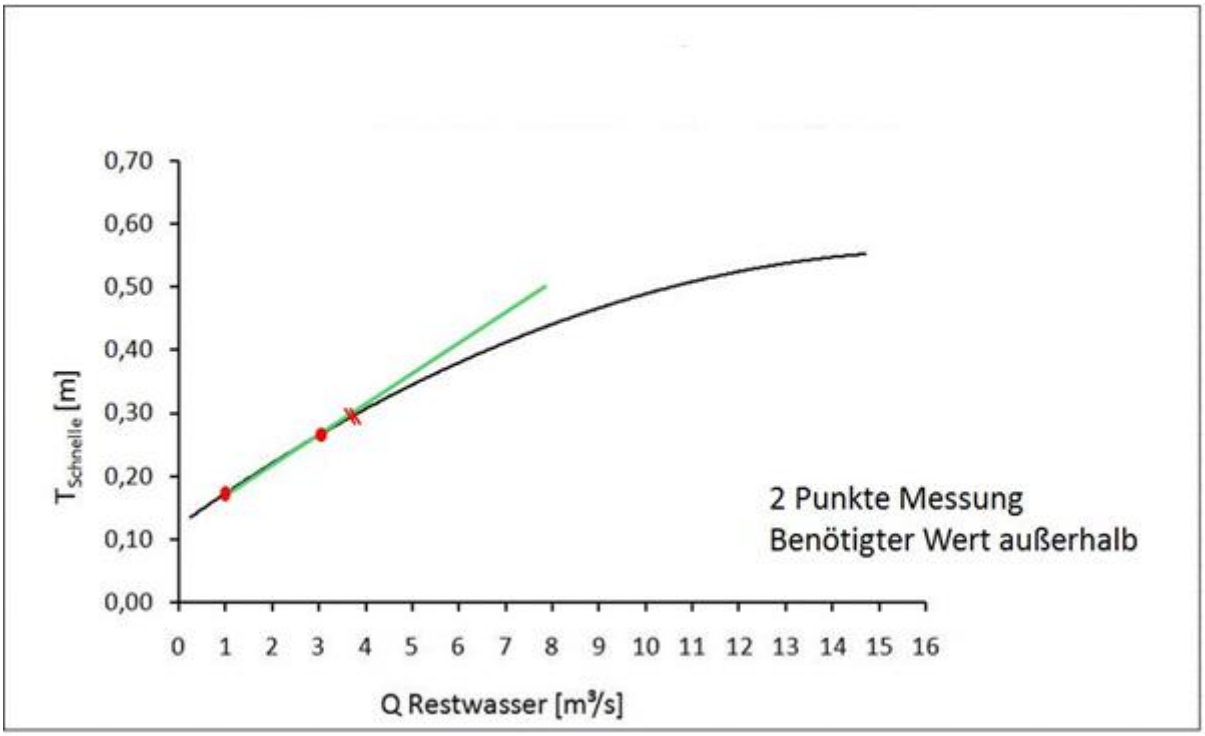
Schätzfehler mittels Interpolation bei verschiedenen Abständen der gesuchten Punkte zu den Messpunkten

Für die Genauigkeit einer linearen Interpolation ist einerseits der Abstand der gemessenen Punkte zueinander ausschlaggebend. Andererseits spielt der Abstand der gemessenen Punkte zu dem gesuchten Punkt ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Fehlerabschätzung. Je größer der Abstand der zwei Messpunkte zueinander ist, desto größer wird auch der Schätzfehler sein. Liegt der gesuchte Punkt knapp neben einem Messpunkt, so wird der Schätzfehler minimal gehalten.

Anhand dieser Graphiken ist ersichtlich, dass die ermittelte Abflussmenge durch Interpolation, in Abhängigkeit von dem Abstand der Messpunkte zum gesuchten Punkt aber auch vom Abstand der Messpunkte zueinander, zu einem mehr oder weniger geringen Anteil überschätzt wird.

Anhang 3 – Schätzfehler bei Extrapolation

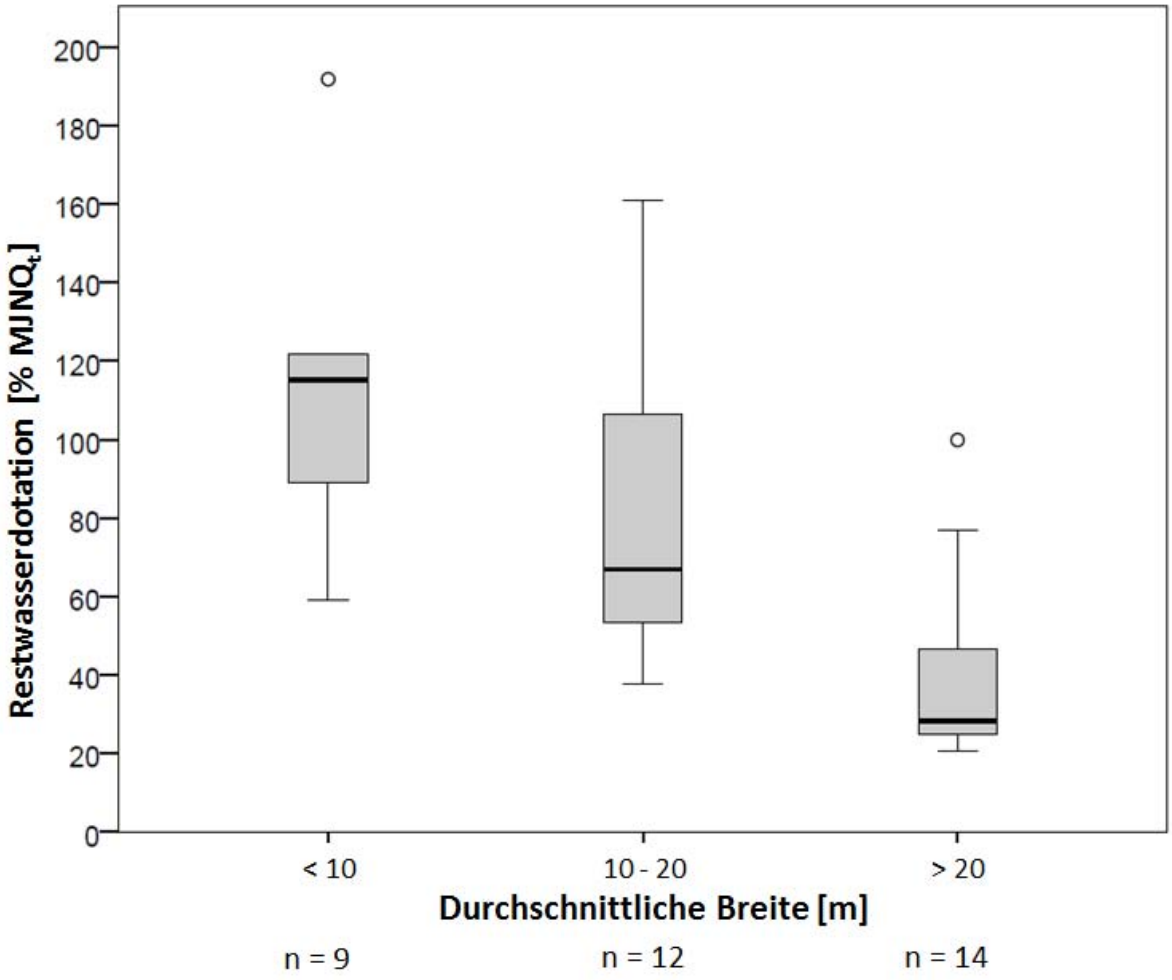
Bei der Extrapolation ist der Einfluss der Entfernung der gemessenen Punkte zueinander nicht so gravierend wie bei der Interpolation.



Schätzfehler bei der Extrapolation

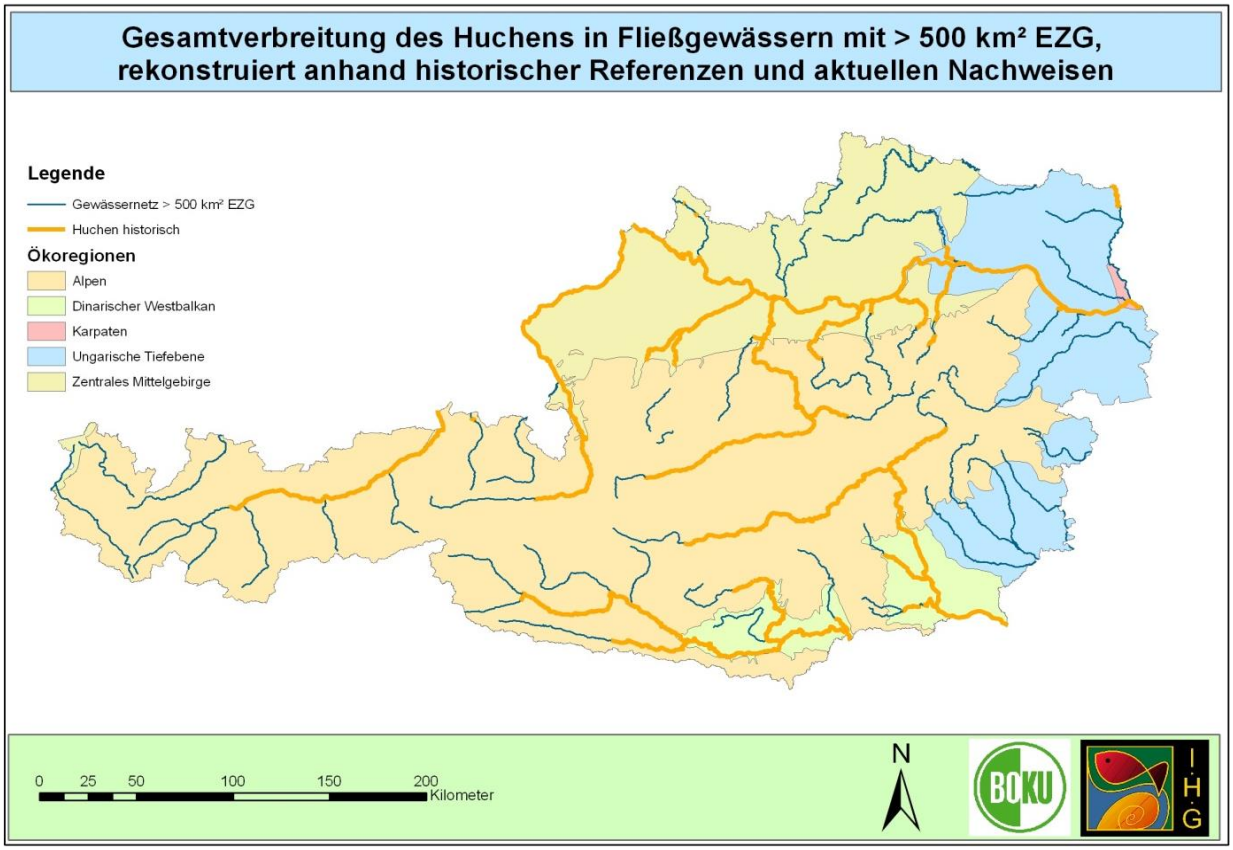
Es treten jedoch mit fortschreitender Entfernung des gesuchten Punktes zum gesicherten Bereich verhältnismäßig große Fehler auf. Deutlich wird auch, dass die zu ermittelnde Abflussmenge, im Gegensatz zur tatsächlich benötigten Abflussmenge, mit fortschreitender Entfernung zum gesicherten Bereich mehr oder weniger unterschätzt wird.

Anhang 4 – Beispiel: Mittlere Gewässerbreite



Erforderliche Restwasserdotation in % $MJNQ_t$ für die Einhaltung sämtlicher Kriterien lt. Anlage G bei unterschiedlicher Gewässerbreite (Gewässer mit Abstürzen werden nicht miteinbezogen)

Anhang 5 – Huchen



Potentielle Verbreitung des Huchen (Hucho hucho) im österreichischen Bundesgebiet. (Quelle: SCHMUTZ et al 2002)

Anhang 6 – Fischregionen Österreich (Blatt Süd)

Anhang 7 – Technischer Bericht - Dotationsversuch Restwasserstrecke Peggau (Mur)

Technischer Bericht - Dotationsversuch

Restwasserstrecke Peggau (Mur)

durchgeführt von Fabian Jung, am 19.10.2011

im Rahmen einer Diplomarbeit für das Amt der Steirischen Landesregierung

FA - 19 A Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft

in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüro Greimel

1. Ziele des Dotationsversuches

- Aufnahme von jeweils drei charakteristischen Schnellen- und Talwegprofilen bei drei unterschiedlichen Dotationen.
- Ermittlung und graphische Darstellung des Zusammenhanges der Einhaltung der Kriterien lt. Qualitätszielverordnung (QZV) Anlage G und abgegebener Restwassermenge anhand der untersuchten Profile, wobei vorhandene Datensätze berücksichtigt werden sollen.
- Vergleich von unterschiedlichen Methoden zur Bestimmung der mittleren Fließgeschwindigkeit einzelner Messlotrechten.

Anmerkung:

Die Messungen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Hydrobiologie – BOKU Wien in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüro Greimel durchgeführt. Aus den erhobenen Daten kann kein vollständiges Restwassergutachten nach den Anforderungen der Qualitätszielverordnung Ökologie erstellt werden.

2. Methodik

Abflussmessung:

Im Zuge des Versuches wurden durch den Kraftwerksbetreiber am Mittwoch den 19. Oktober 2011 drei verschiedene Dotationen eingestellt und an einem geeigneten Querschnittsprofil unterhalb der Wehranlage die tatsächliche Restwasserabgabe ermittelt.

Als Messgerät wurde das induktive Strömungsmessgerät „Marsh-McBirney Flowmate Modell 2000, des Instituts für Hydrobiologie und Gewässermanagement – BOKU Wien, herangezogen.

Mittels indirekter Abflussmessung wurde der tatsächliche Abfluss ermittelt. Um eine größtmögliche Genauigkeit der Messung zu gewährleisten, ist eine möglichst genaue

Modellierung der Gewässersohle anzustreben. Weiters wurde darauf geachtet, dass der Bereich des Stromstriches (Bereich der größten Fließgeschwindigkeiten) sehr detailliert aufgenommen wurde.

Die Ermittlung des Abflusses bzw. Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit der einzelnen Messlotrechten wird nach folgenden Vorgaben durchgeführt:

Maniak, U., 2005

Morgenschweis, G., 2010

Zur Abflussbestimmung wurde grundsätzlich die Methode nach KREPS angewandt. Zum Vergleich der Methode nach Kreps mit einer Methode mit einer größeren Anzahl von Messpunkten wurde die Messpunktanzahl anhand der Tiefe variiert, wobei bis zu sechs Messpunkte/Messlotrechte aufgenommen wurden (im Folgenden: Methode mit erhöhter Punktanzahl):

Zwischen 0 und 50 cm Wassertiefe wurden pro Messlotrechte 2 Messpunkte nach Methode Kreps eingemessen (Quelle: Kreps, 1975). Hierbei wird die Fließgeschwindigkeit knapp unter der Wasseroberfläche (v_O) sowie in 38% der Wassertiefe (v_{38}), von der Gewässersohle aus gemessen, ermittelt. Die mittlere Fließgeschwindigkeit (v_m) ergibt sich aus der Formel:

$$v_m = 0.31 * v_O + 0.634 * v_{38}$$

Bei Wassertiefen über 50 Zentimeter wurde die 6-Punkte Methode verwendet. Die Fließgeschwindigkeit wurde unmittelbar unter der Wasseroberfläche (v_{100}), in 20%, 40%, 60%, 80% sowie möglichst nahe der Gewässersohle (v_{bed}) gemessen. Die mittlere Fließgeschwindigkeit ergibt sich aus der Formel:

$$v_m = 0{,}1 * (v_{100} + 2v_{80} + 2v_{60} + 2v_{40} + 2v_{20} + v_{bed})$$

Aus den erhobenen Daten (Fläche, mittlere Fließgeschwindigkeit) lässt sich mittels der Formel

$$Q = v_m * A$$

der Durchfluss (m^3/s) bestimmen, wobei die Ergebnisse nach Kreps mit der Methode mit erhöhter Punktanzahl verglichen werden. (Quelle: DYCK u. PESCHKE 1995, S. 93)

Geschwindigkeitsmessung Schnellen- und Talwegprofile:

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Geschwindigkeit der einzelnen Messlotrechten an Schnellen- und Talwegprofilen, wurde die 3-Punkte-Messung laut Qualitätszielverordnung herangezogen. Dabei wurde die Fließgeschwindigkeit in 20%, 60% und 80% der Wassertiefe, von der Wasseroberfläche aus gemessen, bestimmt und die mittlere Geschwindigkeit der Messlotrechte (v_m) berechnet, wobei ein gewichtetes Mittel und das arithmetische Mittel der drei Messpunkte nach folgenden Formeln berechnet und verglichen wurde. (Quelle: MANIAK, 2005 bzw. MORGENSCHWEIS, 2010

gewichtetes Mittel: $v_m = 0{,}25 * (v_{20}+2*v_{60}+v_{80})$ (im Folgenden: gew. M-V)

arithmetisches Mittel: $v_m = (v_{20}+v_{60}+v_{80})/3$ (im Folgenden: arithm. M-V)

Bei Schnellen wurde eine Vielzahl an Messlotrechten eingemessen und die mittlere Querschnittgeschwindigkeit berechnet. Im Gegensatz dazu wurde bei Talwegprofilen lediglich eine Messlotrechte im Stromstrich/Wanderkorridor eingemessen (vgl. QZV – Anlage G).

Die maximale Schnellentiefe wurde im Zuge der Geschwindigkeitsmessungen der einzelnen Messlotrechten ermittelt. Die Talwegtiefe wurde anhand der Schnellentiefen und maximalen Kolktiefen berechnet (vgl. QZV – Anlage G).

Durchführung Dotationsversuch - ergänzende Daten:

Dem eigentlichen Dotationsversuch gingen eine Begutachtung der Restwasserstrecke am Tag zuvor, sowie eine Markierung der gewählten Schnellen- und Talwegprofilen mittels drei Eisenstangen pro Profil, voraus. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass bei den verschiedenen Dotationen immer an derselben Stelle gemessen wurde. Zusätzlich sind zur Veranschaulichung der Wasserspiegeländerung bei jedem Durchfluss Fotos der Profile aus möglichst gleichem Blickwinkel aufgenommen worden. Außerdem wurden die Profile in Orthofotos verzeichnet.

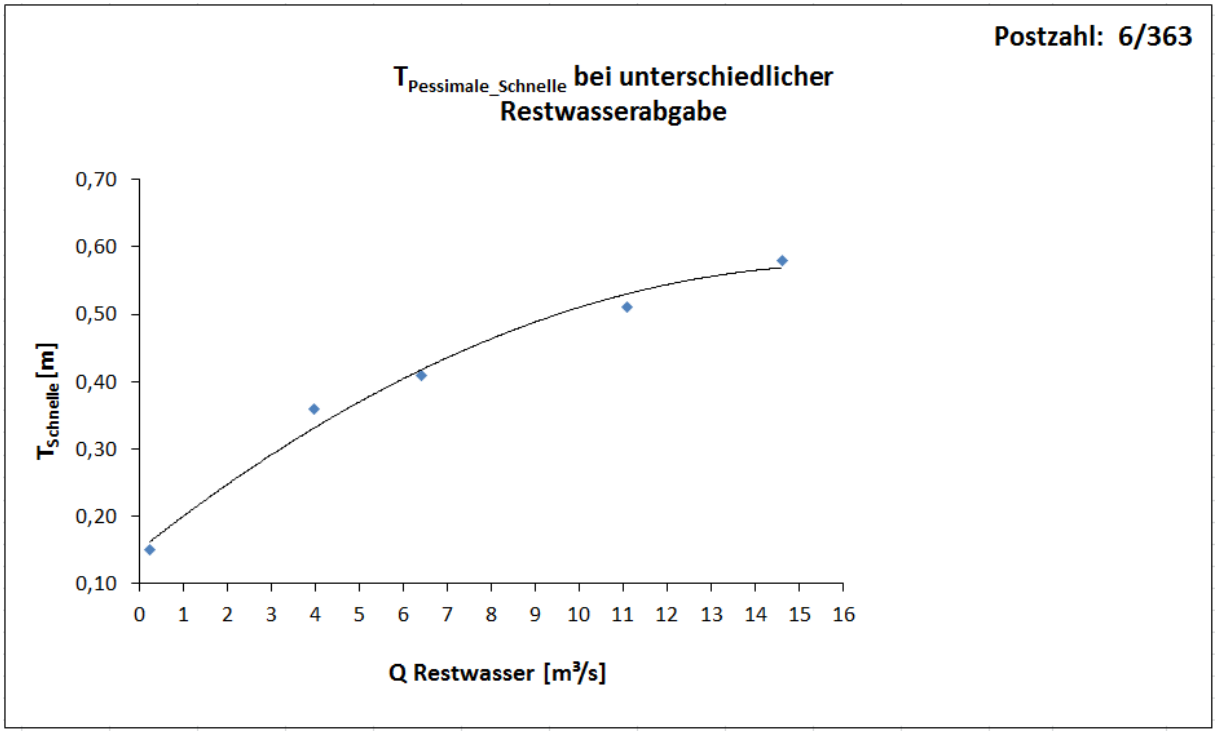
Nach Beendigung der Messungen und Datenaufnahmen wurden die Stangen aus der Gewässermitte wieder entfernt, die zwei Stangen seitlich des Gewässers wurden zur späteren Wiederauffindung der Profile im Gelände belassen.

Laut Betreiber wurden im Laufe des Dotationsversuches Restwasserdotation von 15 m³/s (Dotation 1), 7 m³/s (Dotation 2) und 4 m³/s (Dotation 3) eingestellt.

Zusätzlich sind vom Ingenieurbüro Greimel im Auftrag der FA 19A - Amt der steirischen Landesregierung bereits im Sommer 2011 bei einer Restwasserdotation von 0,25 m³/s und 11,1 m³/s Begehungen und Bemessungen durchgeführt worden, wobei zur Abflussbestimmung die Methode nach Kreps und für die einzelnen Messlotrechten der Schnellen- und Talwegprofile die oben beschriebene 3-Punkt-Methode mit arithmetischer Mittelung der Fließgeschwindigkeiten der 3 Messpunkte/Messlotrechte durchgeführt wurde. Die Ergebnisse wurden zur Verfügung gestellt und in die Auswertungen integriert.

3. Ergebnisse/Interpretation

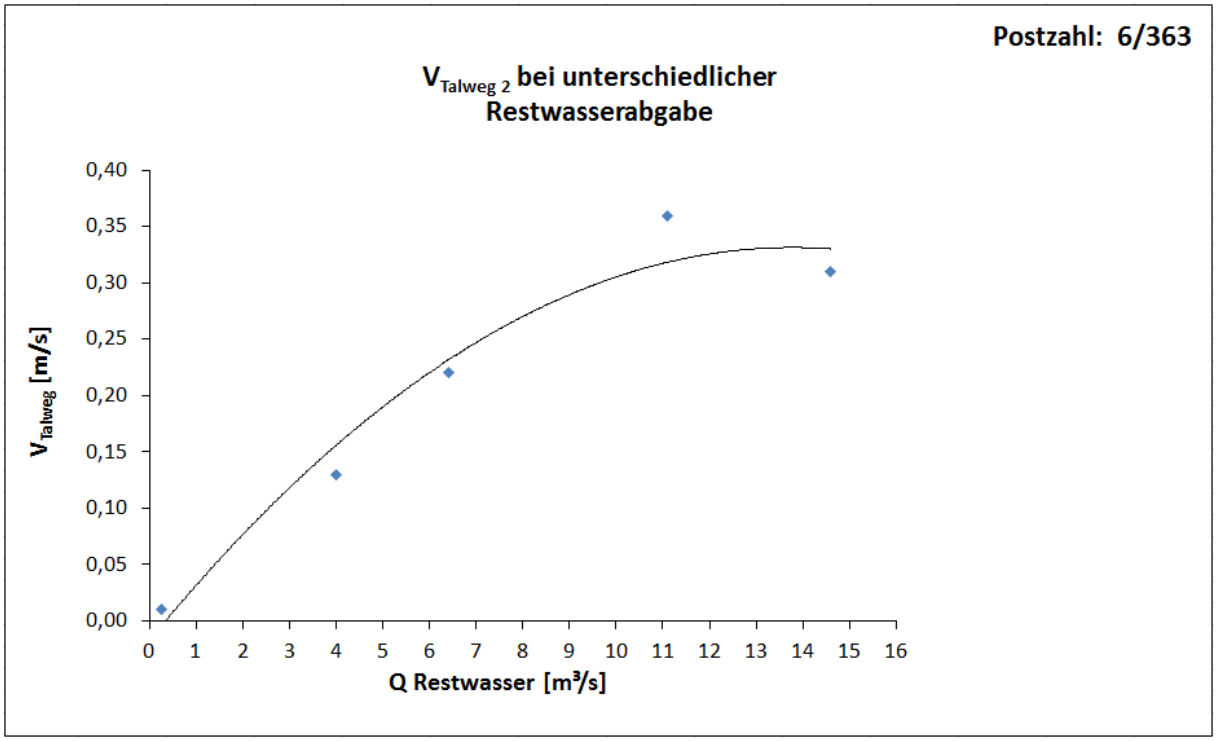
Tiefe der pessimalen Schnelle:



Darstellung des Zusammenhanges der abgegebenen Restwassermenge und erreichter Schnellentiefe in der Restwasserstrecke an der pessimalen Schnelle.

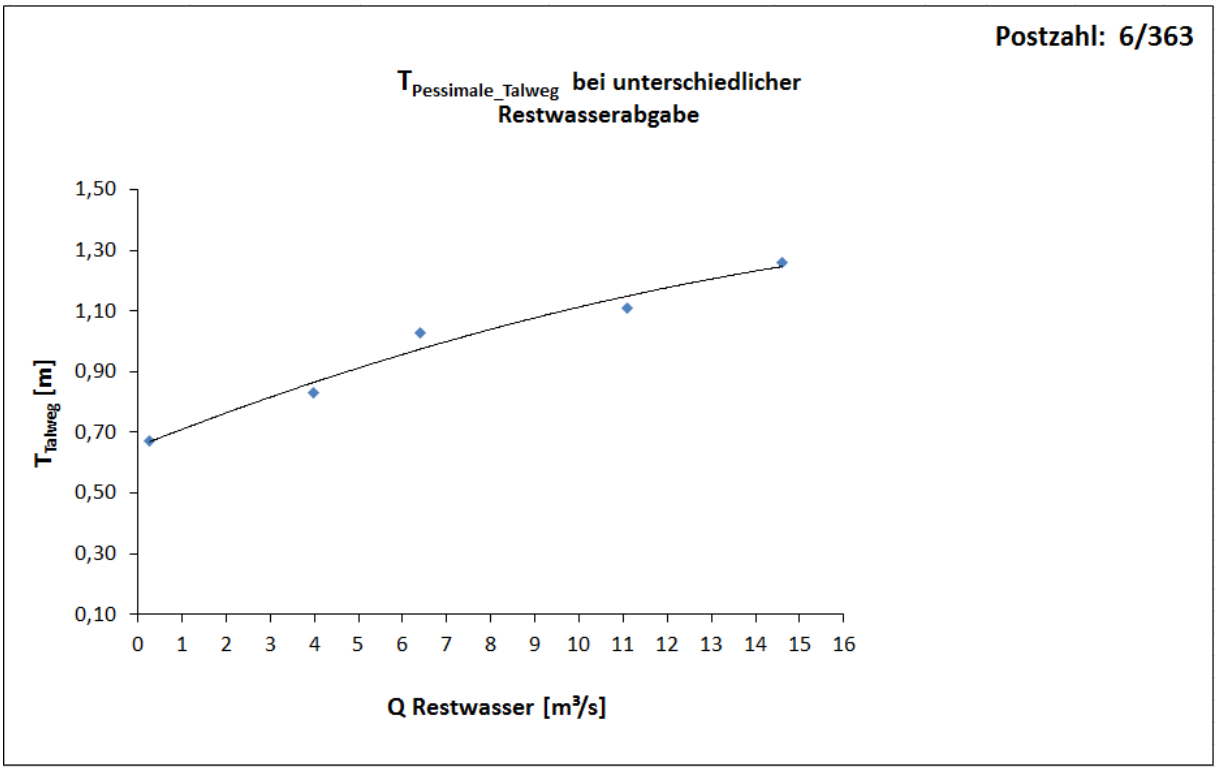
Die benötigte Schnellentiefe von 30 cm (Epipotamal) kann bei einer Restwassermenge von etwa 3,5 m³/s erreicht werden.

Fließgeschwindigkeit im Talweg:

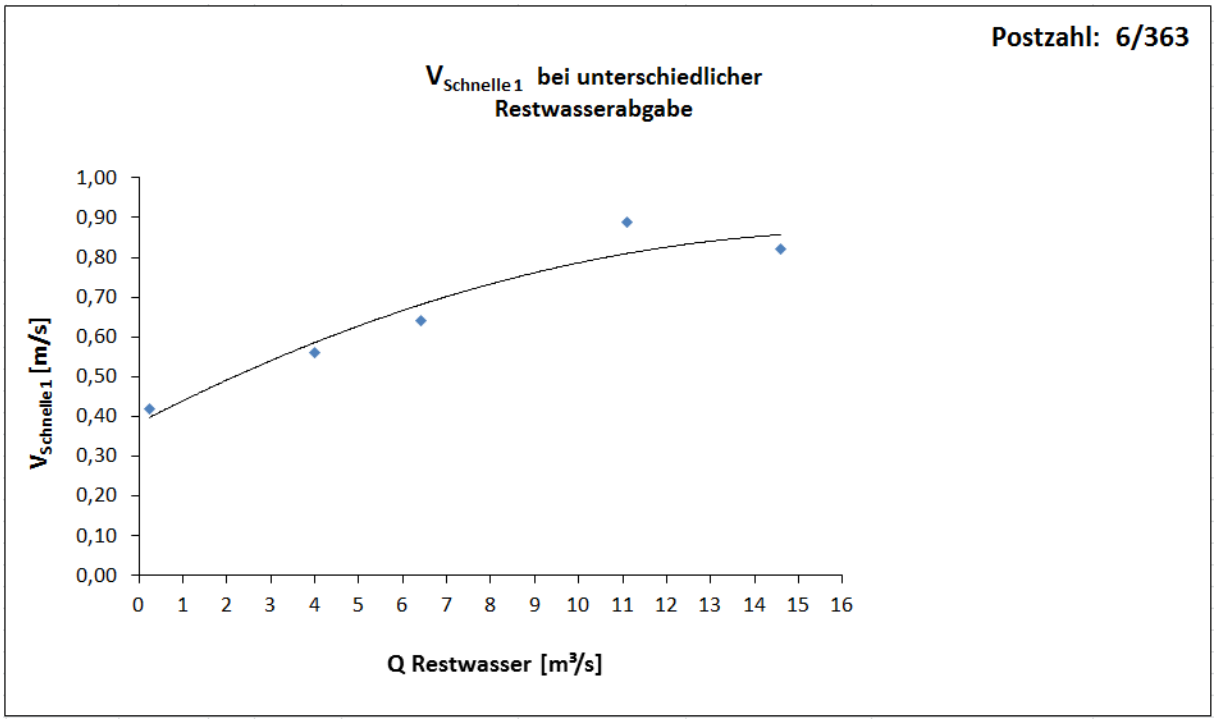


Darstellung des Zusammenhanges der berechneten Talweggeschwindigkeit bei unterschiedlichen Restwasserdotationen in Talwegprofil 2 (Profil mit geringster Fließgeschwindigkeit im Wanderkorridor – arithmetische Mittelung zur Berechnung der mittl. Fließgeschwindigkeit der Messlotrechten).

Die Fließgeschwindigkeit im Wanderkorridor stellt in der Restwasserstrecke des Kraftwerkes Peggau, aufgrund tiefer Kolke mit verhältnismäßig großer benetzter Querschnittsfläche und daraus resultierenden geringen Fließgeschwindigkeiten das limitierende Kriterium dar. Um die erforderlichen 0,3 m/s Fließgeschwindigkeit im Wanderkorridor erreichen zu können, ist eine Restwassermenge von mindestens 9,5 m³/s erforderlich.



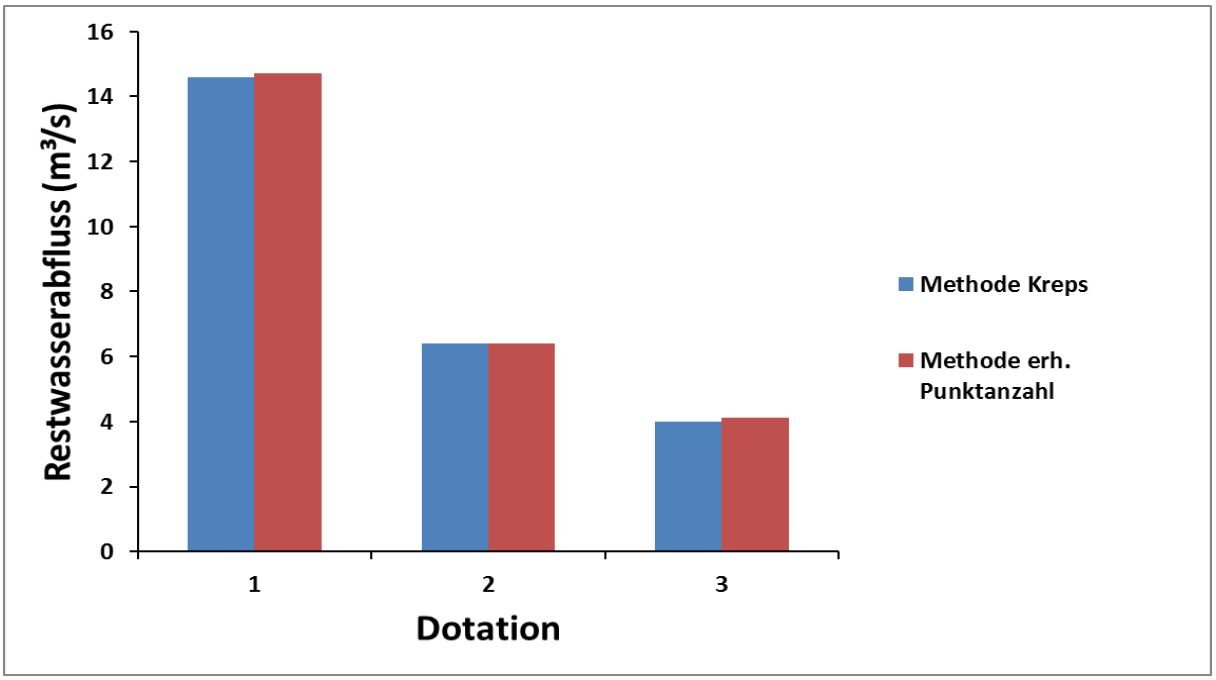
Darstellung des Zusammenhanges der abgegebenen Restwassermenge und erreichter Talwegtiefe in der Restwasserstrecke.



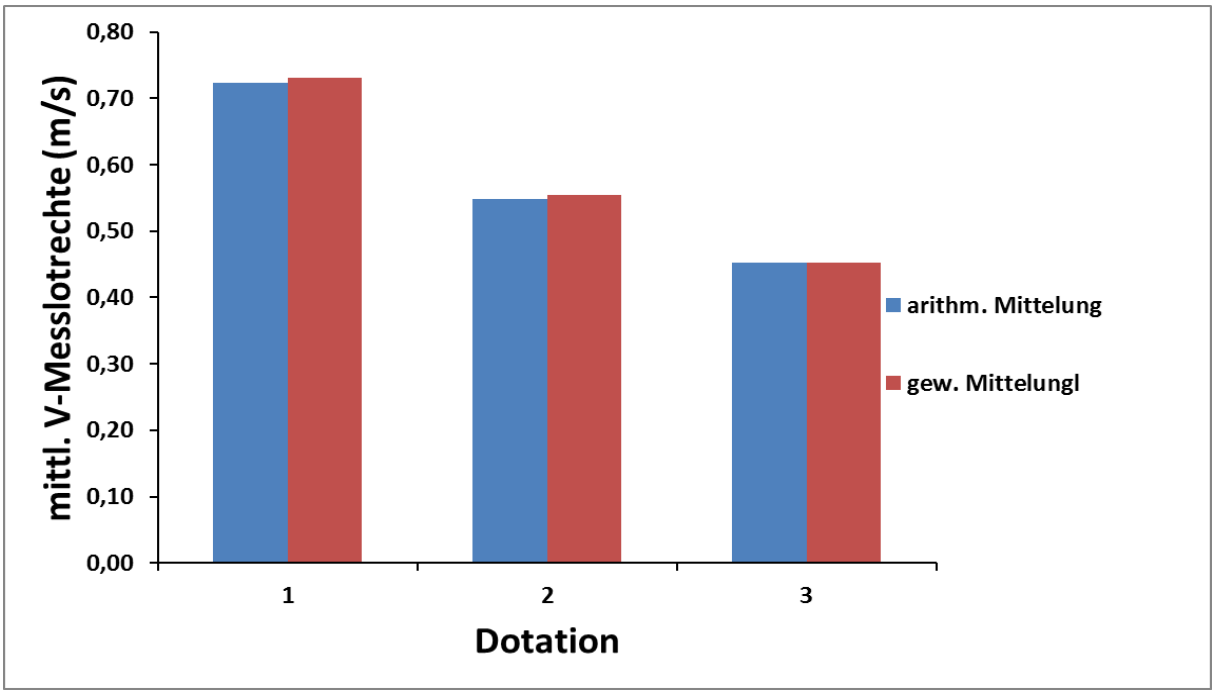
Darstellung des Zusammenhanges der abgegebenen Restwassermenge und erreichter Schnellengeschwindigkeit am Beispiel der Schnelle 1. (Arithmetische Mittelung zur Berechnung der mittl. Fließgeschwindigkeit der Messlotrechten)

Die erforderliche Tiefe des Talwegs von 40 cm (Epipotamal) und die benötigte Fließgeschwindigkeit der Schnelle von mindestens 0,3 m/s werden bereits bei sehr geringer Restwasserabgabe eingehalten.

Messmethodik:



Darstellung der berechneten Restwasserdotation nach Methode Kreps und Methode mit erhöhter Punktanzahl

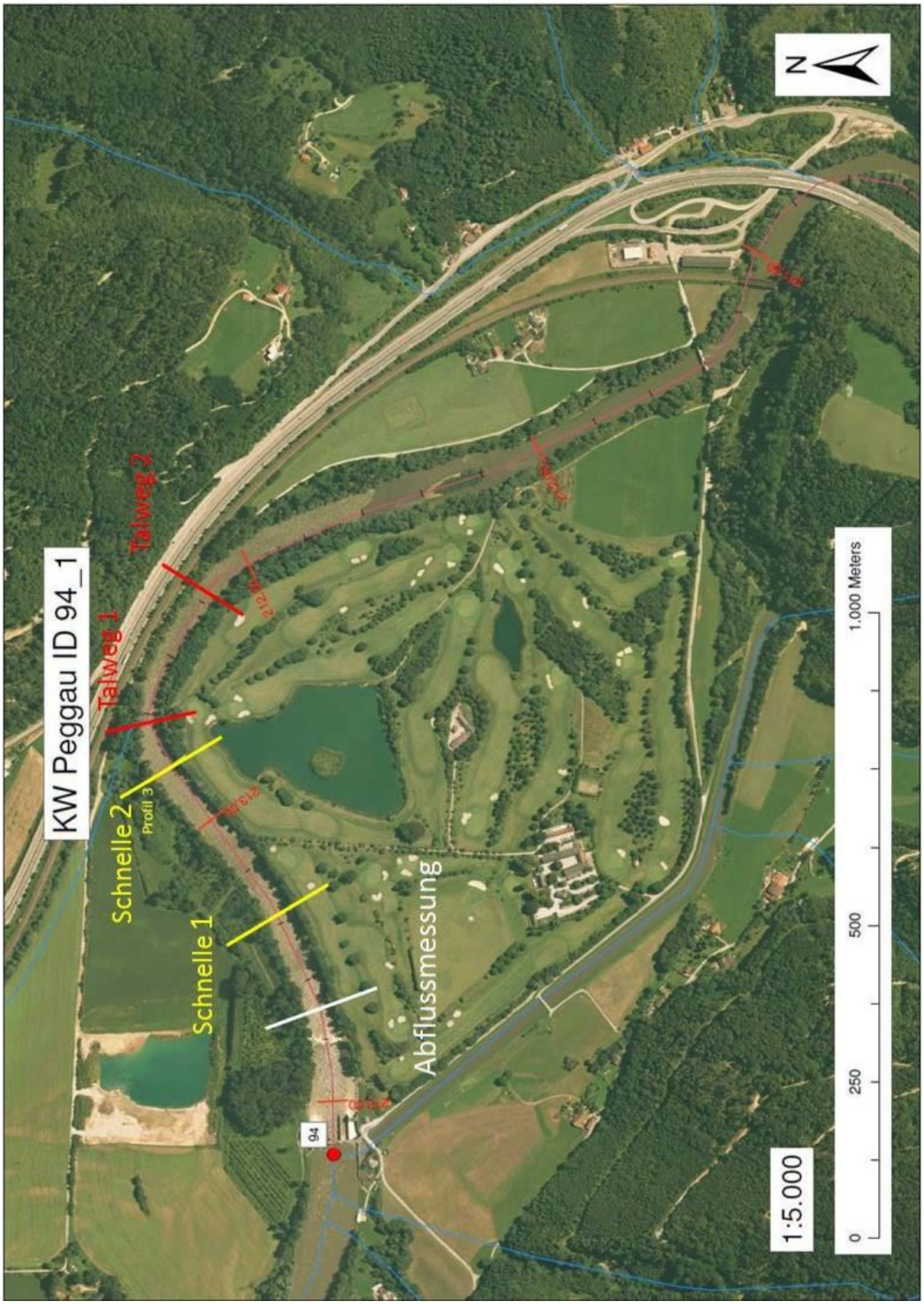


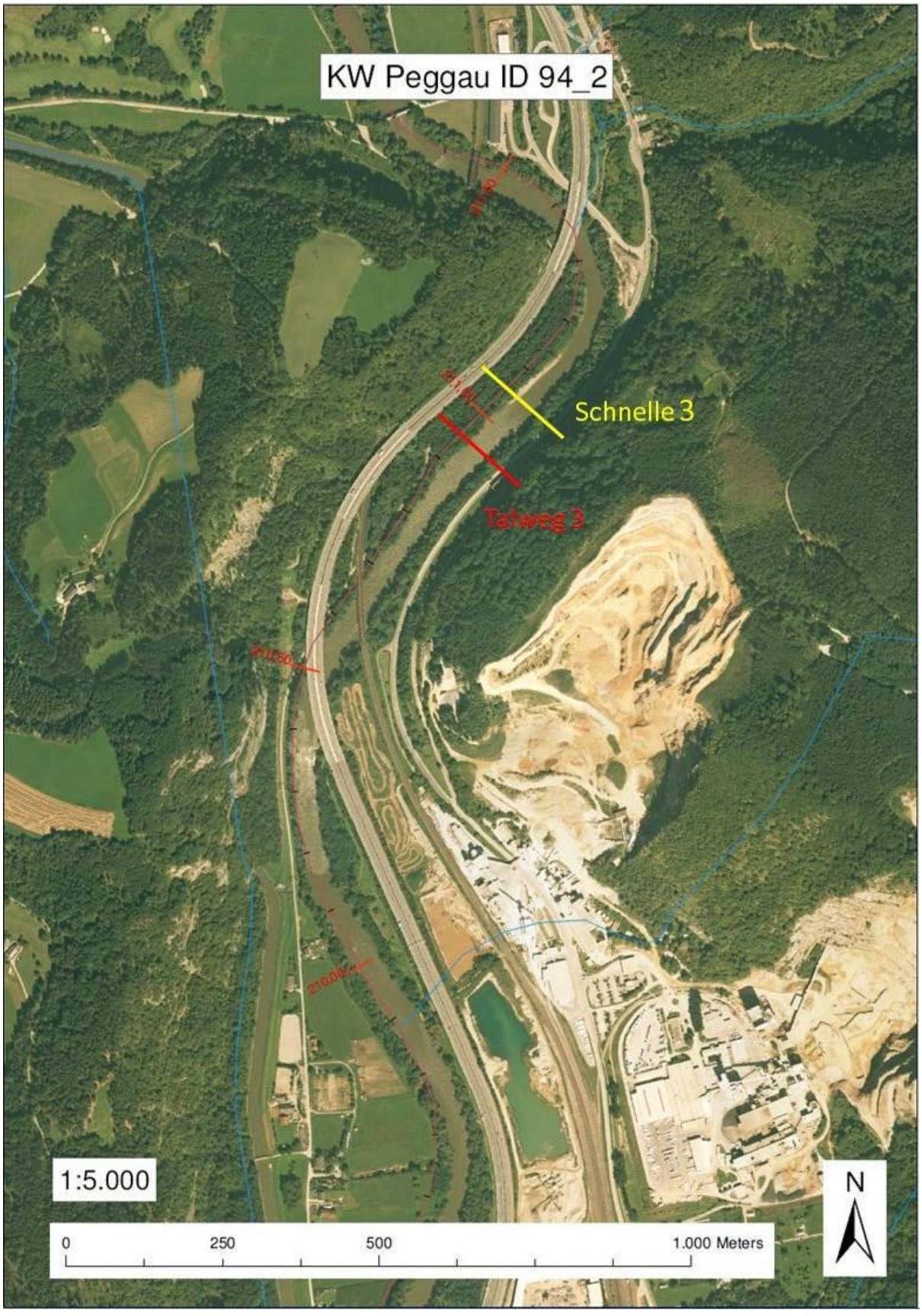
Darstellung der berechneten mittleren Fließgeschwindigkeit (V) bei arithmetischer Mittelwertbildung und gewichteter Mittelwertbildung (Balken entspr. Mittelwert sämtlicher Messlotrechten aus Schnellen- und Talwegprofilen)

Die mit den unterschiedlichen Methoden berechneten Restwasserdotationen stimmen sehr gut überein. Auch die berechneten mittleren Fließgeschwindigkeiten sämtlicher Messlotrechten in Schnellen- und Talwegprofilen decken sich weitgehend.

Anhang:

- Orthofotos: Lage der einzelnen Profile
- Messprotokolle: Abflussmessungen und Profilvermessungen
- Graphische Darstellung der Abflussmessungen und Restwasserabgabe


KW Peggau ID 94_1
Talweg 2
Talweg 1
Schnelle 2
Profil 3
Schnelle 1
Abflussmessung
94
N
1:5.000
0
250
500
1.000 Meters

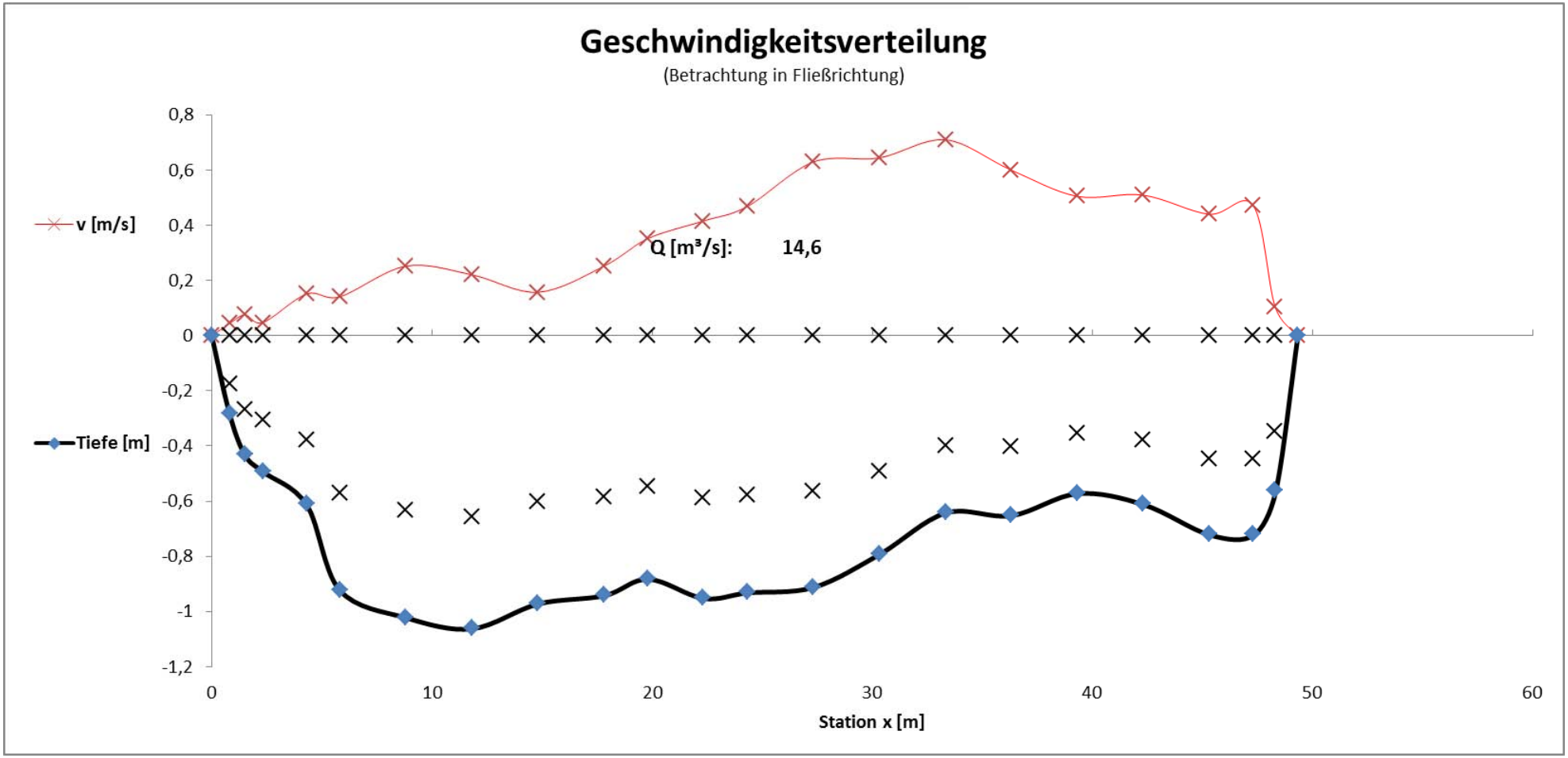

KW Peggau ID 94_2
Schnelle 3
Talweg 3
1:5.000
0
250
500
1.000 Meters
N

Dotation 1 – Restwasserabgabe laut KW-Betreiber: 15 m³/s:

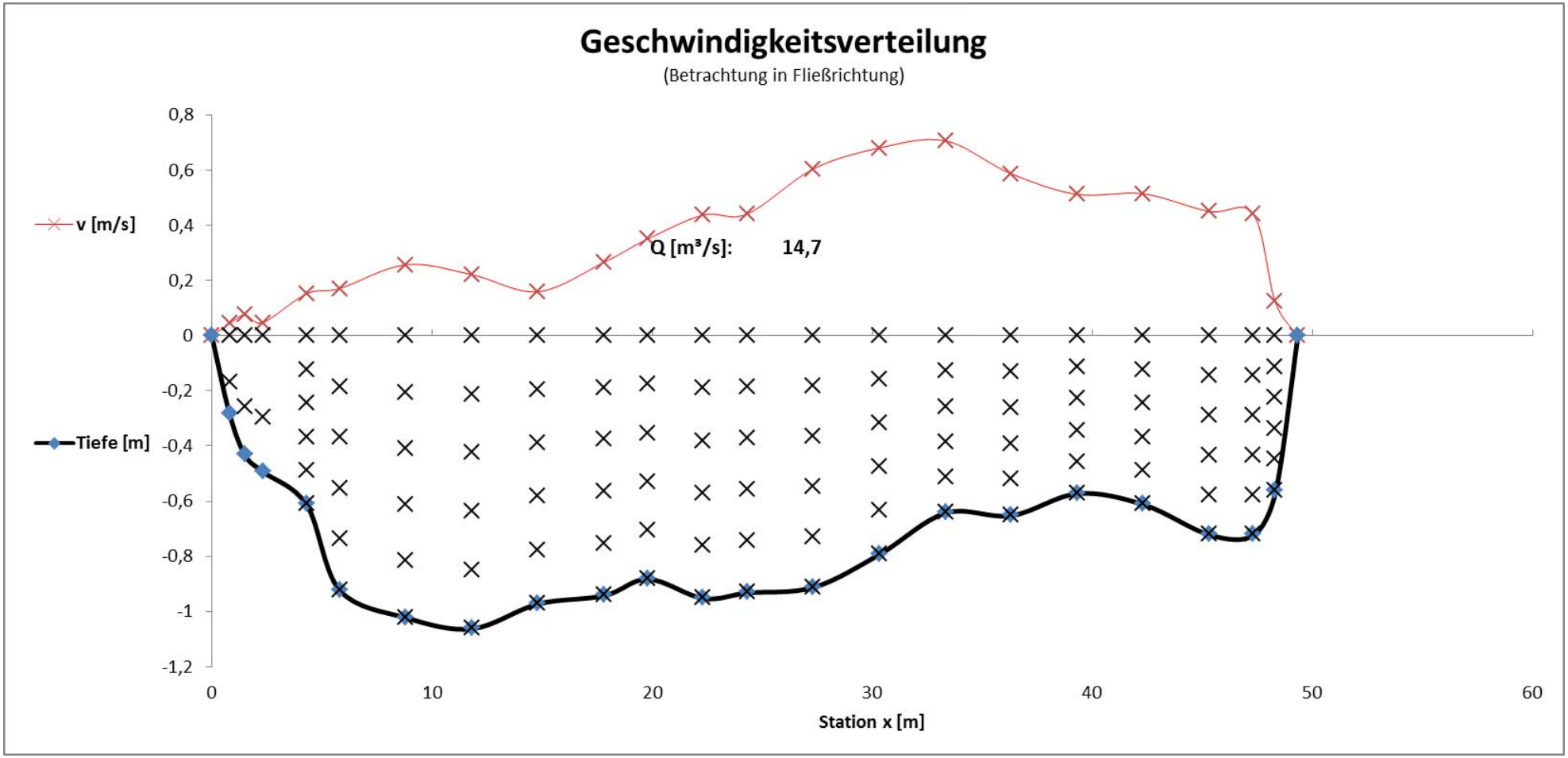
Abflussmessung

(Anm.: die zur Methode nach Kreps verwendeten Messpunkte sind gelb hervorgehoben)

Abstand zum linken Ufer [m]	0	0,8	1,5	2,3	4,3	5,8	8,8	11,8	14,8	17,8	19,8	22,3	24,3	27,3	30,3	33,3	36,3	39,3	42,3	45,3	47,3	48,3	49,3
Tiefe [m]	0	0,28	0,43	0,49	0,61	0,92	1,02	1,06	0,97	0,94	0,88	0,95	0,93	0,91	0,79	0,64	0,65	0,57	0,61	0,72	0,72	0,56	0
V1 [m/s]		0,04	0,08	0,07	0,14	0,25	0,24	0,2	0,18	0,24	0,4	0,46	0,63	0,68	0,79	0,92	0,71	0,75	0,6	0,54	0,52	0,07	
V2 [m/s]		0,05	0,08	0,04	0,17	0,24	0,37	0,25	0,16	0,27	0,38	0,5	0,52	0,71	0,83	0,88	0,78	0,74	0,67	0,55	0,47	0,09	
V3 [m/s]					0,2	0,14	0,28	0,21	0,16	0,3	0,3	0,55	0,48	0,73	0,85	0,86	0,7	0,68	0,6	0,44	0,42	0,15	
V4 [m/s]					0,17	0,1	0,28	0,25	0,16	0,28	0,36	0,43	0,43	0,66	0,63	0,67	0,6	0,43	0,51	0,43	0,49	0,13	
V5 [m/s]					0,11	0,2	0,18	0,23	0,16	0,29	0,4	0,35	0,36	0,4	0,48	0,45	0,41	0,26	0,35	0,45	0,43	0,16	
V6 [m/s]					0,08	0,1	0,11	0,13	0,13	0,14	0,23	0,25	0,2	0,36	0,43	0,42	0,18	0,15	0,28	0,22	0,28	0,1	



Berechnet nach Kreps: 14,6 m³/s



Berechnet nach der Methode mit erhöhter Punktanzahl: 14,7 m³/s

Schnellen- und Talwegprofile

Schnelle 1												
x [m]	0	0,8	5,8	10,8	15,8	20,2	24,3	29,3	33,8	39,3	42,3	44,3
Tiefe [m]	0	0,2	0,27	0,22	0,44	0,68	0,6	0,65	0,58	0,28	0,37	0
V1 [m/s]		0,27	0,38	0,66	0,63	1,29	1,97	1,68	1,32	1,05	0,52	
V2 [m/s]		0,26	0,38	0,46	0,41	1,23	1,65	1,23	1,2	1,17	0,49	
V3 [m/s]		0,23	0,35	0,47	0,2	1,1	0,9	0,78	0,91	0,86	0,44	
arithm. M-V		0,25	0,37	0,53	0,41	1,21	1,51	1,23	1,14	1,03	0,48	
gew. M-V		0,26	0,37	0,51	0,41	1,21	1,54	1,23	1,16	1,06	0,49	

ØV [m/s]
0,82
0,82

Schnelle 2									
x [m]	0	2	6	12	17	22	26,3	29,5	33,3
Tiefe	0	0,58	0,35	0,25	0,39	0,58	0,58	0,55	0
V1 [m/s]		1,12	0,92	1,3	1,7	1,94	1,99	1,73	
V2 [m/s]		0,9	0,65	1,46	1,34	1,9	1,96	1,6	
V3 [m/s]		0,89	0,4	1,17	1,21	1,05	1,34	1,18	
arithm. M-V		0,97	0,66	1,31	1,42	1,63	1,76	1,50	
gew. M-V		0,95	0,66	1,35	1,40	1,70	1,81	1,53	

ØV [m/s]
1,32
1,34

Schnelle 3											
x [m]	0	3	7,5	12,5	16,5	22,4	26,5	30,5	35,5	39,5	41
Tiefe	0	0,28	0,44	0,44	0,53	0,56	0,48	0,34	0,12	0,1	0
V1 [m/s]		0,48	0,8	1,28	1,7	1,8	1,68	1,35	0,82	0,44	
V2 [m/s]		0,44	0,68	1,15	1,43	1,6	1,62	1,5	0,74	0,39	
V3 [m/s]		0,18	0,6	0,98	1,12	1,32	1,34	1,3	0,7	0,4	
arithm. M-V		0,37	0,69	1,14	1,42	1,57	1,55	1,38	0,75	0,41	
gew. M-V		0,39	0,69	1,14	1,42	1,58	1,57	1,41	0,75	0,41	

ØV [m/s]
1,03
1,04

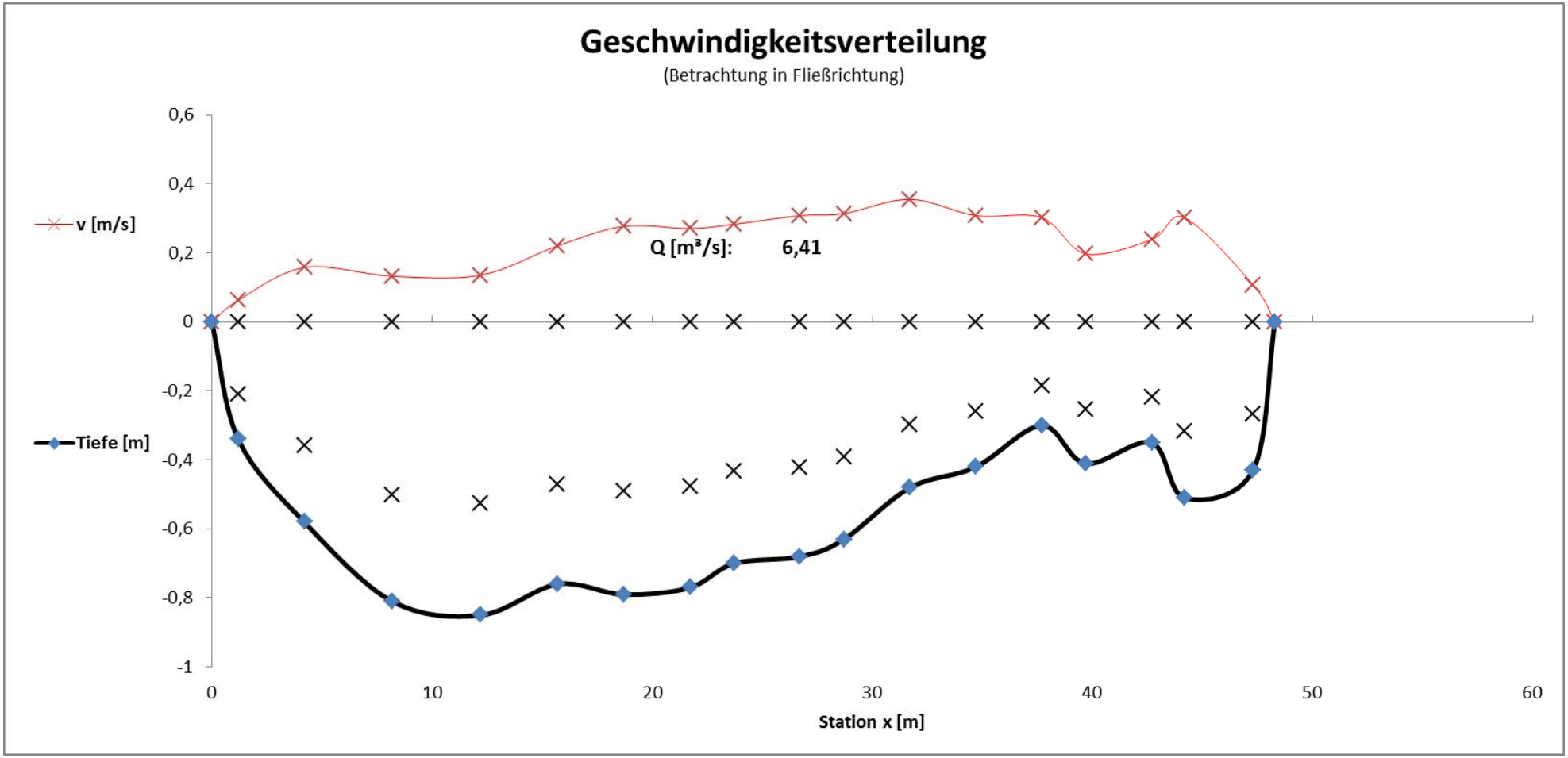
Kolk 1		Kolk 2		Kolk 3	
Tiefe [m]	> 2	Tiefe [m]	> 2	Tiefe [m]	1,56
V1 [m/s]	0,67	V1 [m/s]	0,36	V1 [m/s]	0,39
V2 [m/s]	0,55	V2 [m/s]	0,31	V2 [m/s]	0,35
V3 [m/s]	0,34	V3 [m/s]	0,27	V3 [m/s]	0,27
arithm. M-V	0,52	arithm. M-V	0,31	arithm. M-V	0,34
gew. M-V	0,53	gew. M-V	0,31	gew. M-V	0,34

Dotation 2 – Restwasserabgabe laut KW-Betreiber: 7 m³/s:

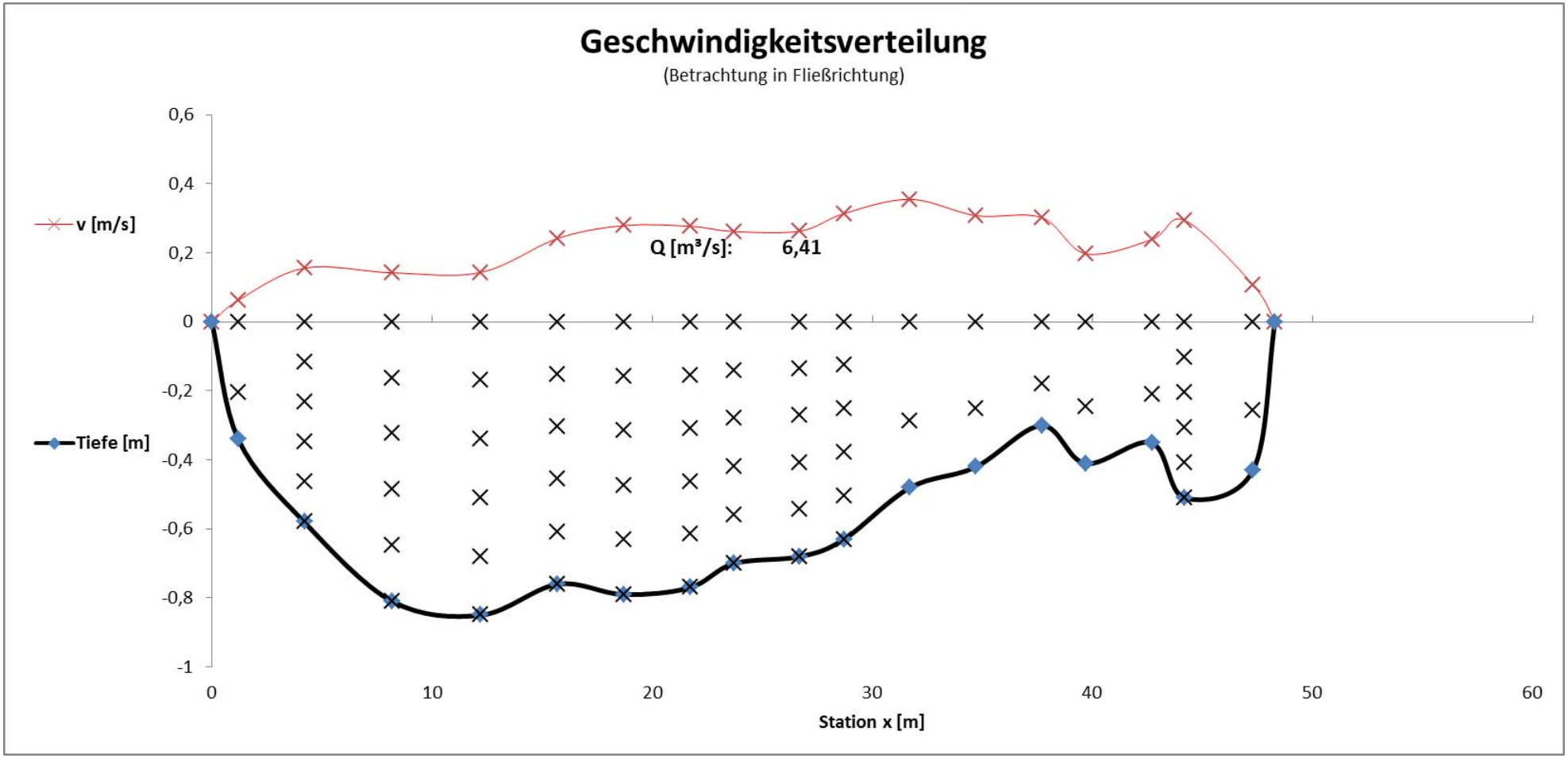
Abflussmessung

(Anm.: die zur Methode nach Kreps verwendeten Messpunkte sind gelb hervorgehoben)

Abstand zum linken Ufer [m]	0	1,2	4,2	8,2	12,2	15,7	18,7	21,7	23,7	26,7	28,7	31,7	34,7	37,7	39,7	42,7	44,2	47,3	48,3
Tiefe [m]	0	0,34	0,58	0,81	0,85	0,76	0,79	0,77	0,7	0,68	0,63	0,48	0,42	0,3	0,41	0,35	0,51	0,43	0
V1 [m/s]		0,1	0,14	0,14	0,15	0,2	0,28	0,3	0,3	0,4	0,4	0,43	0,38	0,3	0,35	0,32	0,4	0,1	
V2 [m/s]		0,05	0,18	0,2	0,18	0,29	0,28	0,33	0,35	0,38	0,42	0,35	0,3	0,33	0,14	0,22	0,39	0,12	
V3 [m/s]			0,18	0,18	0,18	0,28	0,31	0,38	0,32	0,3	0,33						0,35		
V4 [m/s]			0,18	0,14	0,14	0,25	0,3	0,28	0,3	0,29	0,3						0,28		
V5 [m/s]			0,12	0,08	0,1	0,2	0,29	0,2	0,14	0,1	0,23						0,2		
V6 [m/s]			0,1	0,08	0,08	0,18	0,15	0,09	0,1	0,09	0,18						0,1		



Berechnet nach Kreps: 6,41 m³/s



Berechnet nach der Methode mit erhöhter Punktanzahl: 6,41 m³/s

Schnellen- und Talwegprofile

Schnelle 1												
x [m]	0	0,3	3,1	5,1	7	10,1	13,1	17,1	20,1	23,1	26,4	30,7
Tiefe [m]	0	0,11	0,29	0,47	0,48	0,46	0,46	0,39	0,35	0,26	0,15	0
V1 [m/s]		0,02	0,45	0,8	0,84	1,24	1,54	1,44	0,24	0,42	0,54	
V2 [m/s]		0,03	0,45	0,78	0,72	1,08	1,22	1,13	0,24	0,45	0,53	
V3 [m/s]		0,15	0,4	0,42	0,69	0,65	0,93	0,92	0,08	0,35	0,42	
arithm. M-V		0,07	0,43	0,67	0,75	0,99	1,23	1,16	0,19	0,41	0,50	
gew. M-V		0,06	0,44	0,70	0,74	1,01	1,23	1,16	0,20	0,42	0,51	

ØV [m/s]
0,64
0,65

Schnelle 2										
x [m]	0	2,8	7,8	12,3	16,8	21,8	23,8	26,1	28,8	31,5
Tiefe	0	0,27	0,18	0,17	0,24	0,37	0,37	0,41	0,31	0
V1 [m/s]		0,72	0,7	0,85	1,04	1,6	1,94	1,85	1,28	
V2 [m/s]		0,78	0,7	0,74	0,95	1,35	1,62	1,6	1,1	
V3 [m/s]		0,73	0,65	0,34	0,54	0,35	0,85	1,2	0,94	
arithm. M-V		0,74	0,68	0,64	0,84	1,10	1,47	1,55	1,11	
gew. M-V		0,75	0,69	0,67	0,87	1,16	1,51	1,56	1,11	

ØV [m/s]
1,02
1,04

Schnelle 3										
x [m]	0	3,5	7,5	11,5	16,5	21,4	24,5	27,5	30,5	33,5
Tiefe	0	0,14	0,3	0,27	0,41	0,44	0,34	0,24	0,11	0
V1 [m/s]		0,15	0,5	0,83	1,42	1,31	1,52	1,32	0,53	
V2 [m/s]		0,15	0,48	0,65	1,2	1,42	1,41	1,14	0,51	
V3 [m/s]		0,14	0,09	0,49	0,8	1,12	0,9	1,03	0,5	
arithm. M-V		0,15	0,36	0,66	1,14	1,28	1,28	1,16	0,51	
gew. M-V		0,15	0,39	0,66	1,16	1,32	1,31	1,16	0,51	

ØV [m/s]
0,82
0,83

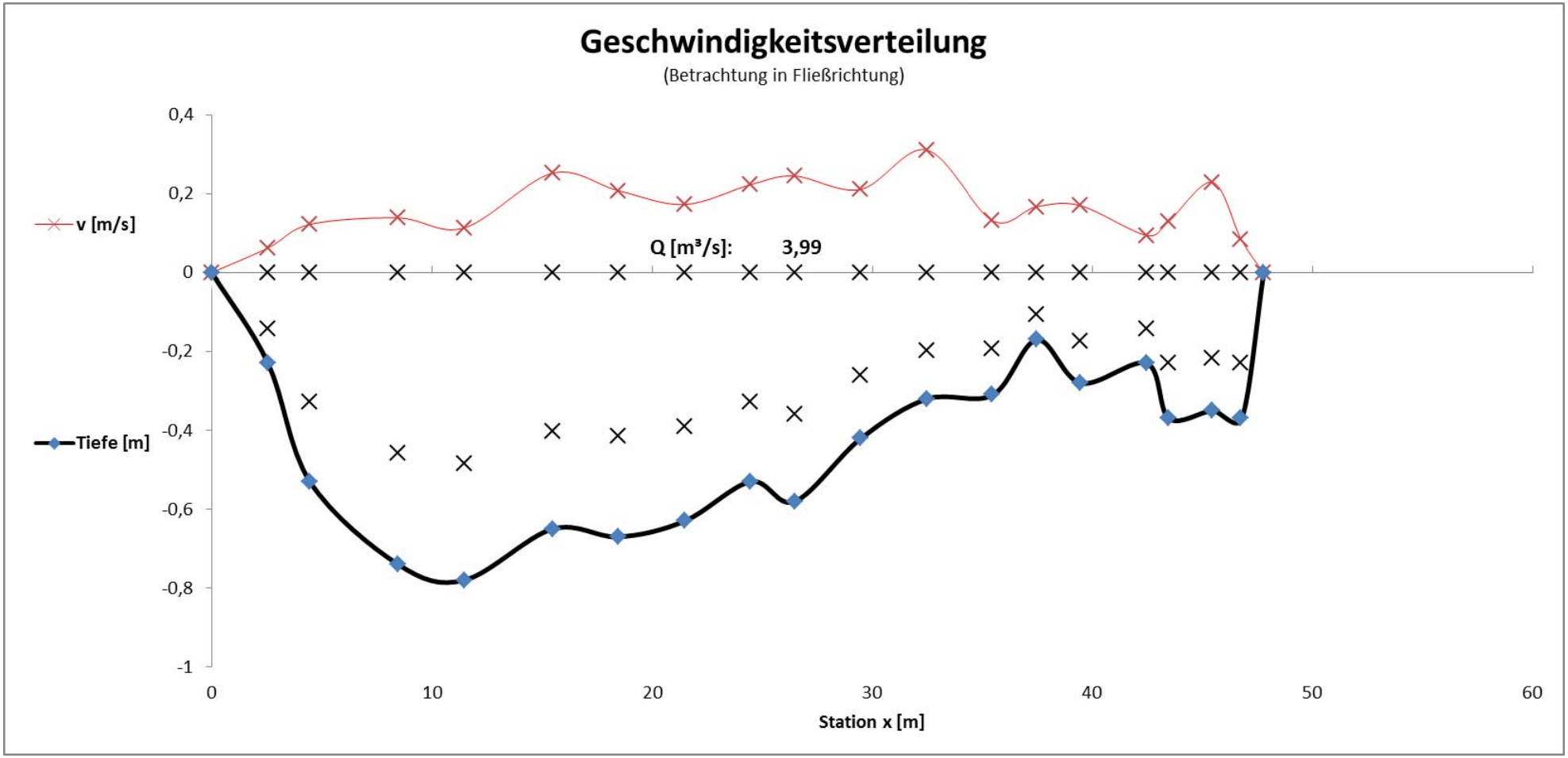
Kolk 1		Kolk 2		Kolk 3	
Tiefe [m]	1,8	Tiefe [m]	1,7	Tiefe [m]	1,33
V1 [m/s]	0,4	V1 [m/s]	0,27	V1 [m/s]	0,33
V2 [m/s]	0,32	V2 [m/s]	0,21	V2 [m/s]	0,27
V3 [m/s]	0,26	V3 [m/s]	0,18	V3 [m/s]	0,22
arithm. M-V	0,33	arithm. M-V	0,22	arithm. M-V	0,27
gew. M-V	0,33	gew. M-V	0,22	gew. M-V	0,27

Dotation 3 - Restwasserabgabe laut KW-Betreiber: 4 m³/s

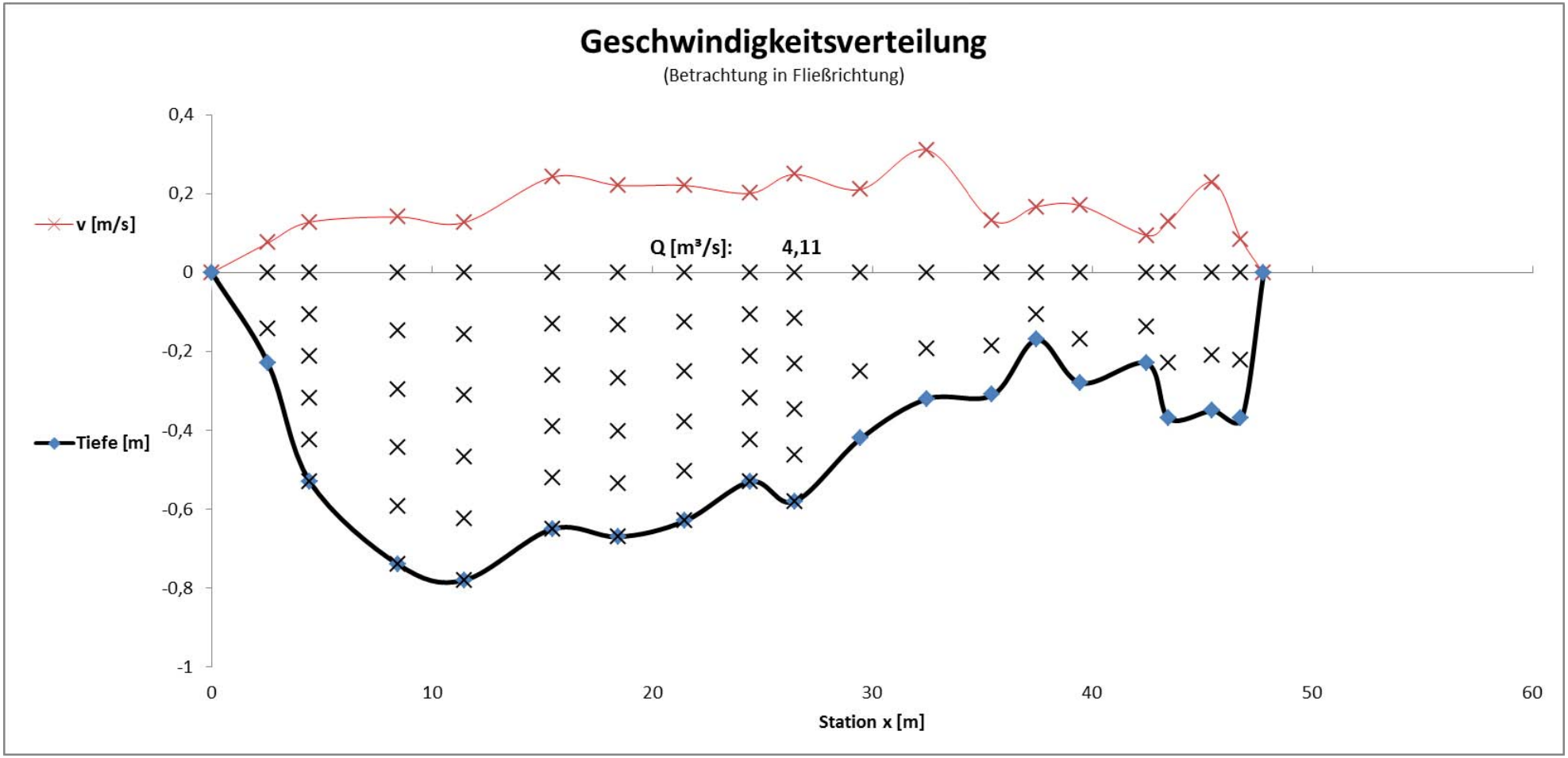
Abflussmessung

(Anm.: die zur Methode nach Kreps verwendeten Messpunkte sind gelb hervorgehoben)

Abstand zum linken Ufer [m]	0	2,55	4,45	8,45	11,45	15,45	18,45	21,45	24,45	26,45	29,45	32,45	35,45	37,45	39,45	42,45	43,45	45,45	46,75	47,75
Tiefe [m]	0	0,23	0,53	0,74	0,78	0,65	0,67	0,63	0,53	0,58	0,42	0,32	0,31	0,17	0,28	0,23	0,37	0,35	0,37	0
V1 [m/s]		0,08	0,19	0,12	0,12	0,24	0,2	0,25	0,29	0,32	0,21	0,39	0,18	0,19	0,18	0,1	0,19	0,31	0,09	
V2 [m/s]		0,08	0,16	0,16	0,15	0,28	0,26	0,29	0,21	0,35	0,23	0,3	0,12	0,17	0,18	0,1	0,11	0,21	0,09	
V3 [m/s]			0,17	0,19	0,15	0,29	0,23	0,29	0,28	0,28										
V4 [m/s]			0,1	0,16	0,12	0,28	0,23	0,15	0,21	0,23										
V5 [m/s]			0,08	0,09	0,12	0,16	0,19	0,19	0,11	0,18										
V6 [m/s]			0,07	0,09	0,07	0,16	0,19	0,12	0,1	0,09										



Berechnet nach Kreps: 3,99 m³/s



Berechnet nach der Methode mit erhöhter Punktanzahl: 4,11 m³/s

Schnellen- und Talwegprofile

Schnelle 1											
x [m]	0	1	2,8	5,2	7,3	11,3	14,3	17,3	19,3	22,3	25,2
Tiefe [m]	0	0,19	0,36	0,38	0,3	0,36	0,33	0,36	0,22	0,18	0
V1 [m/s]		0,18	0,39	0,89	1,1	1,01	0,73	0,81	0,79	0,2	
V2 [m/s]		0,11	0,41	0,78	1,01	0,89	0,45	0,55	0,61	0,33	
V3 [m/s]		0,15	0,21	0,49	0,54	0,7	0,41	0,42	0,6	0,3	
arithm. M-V		0,15	0,34	0,72	0,88	0,87	0,53	0,59	0,67	0,28	
gew. M-V		0,14	0,36	0,74	0,92	0,87	0,51	0,58	0,65	0,29	

ØV [m/s]
0,56
0,56

Schnelle 2										
x [m]	0	0,9	16,6	18,6	21,6	23,6	25,9	27,6	29,6	31,1
Tiefe	0	0,19	0,17	0,24	0,3	0,25	0,36	0,3	0,18	0
V1 [m/s]		0,6	0,49	0,91	1,19	1,5	1,68	1,01	0,71	
V2 [m/s]		0,58	0,48	0,88	1,22	0,98	1,53	0,78	0,6	
V3 [m/s]		0,44	0,41	0,78	0,85	0,91	1,1	0,61	0,51	
arithm. M-V		0,54	0,46	0,86	1,09	1,13	1,44	0,80	0,61	
gew. M-V		0,55	0,47	0,86	1,12	1,09	1,46	0,80	0,61	

ØV [m/s]
0,86
0,87

Schnelle 3										
x [m]	0	9,3	13,7	17,7	20,7	23,6	25,7	28,7	29,7	33
Tiefe	0	0,24	0,25	0,31	0,3	0,32	0,27	0,26	0,14	0
V1 [m/s]		0,28	0,51	1,09	1,28	1,2	1,01	1,09	0,88	
V2 [m/s]		0,19	0,58	0,81	1,11	0,89	0,89	0,89	0,69	
V3 [m/s]		0,13	0,41	0,41	0,99	0,71	0,71	0,78	0,61	
arithm. M-V		0,20	0,50	0,77	1,13	0,93	0,87	0,92	0,73	
gew. M-V		0,20	0,52	0,78	1,12	0,92	0,88	0,91	0,72	

ØV [m/s]
0,76
0,76

Kolk 1		Kolk 2		Kolk 3	
Tiefe [m]	1,46	Tiefe [m]	1,37	Tiefe [m]	1,09
V1 [m/s]	0,27	V1 [m/s]	0,15	V1 [m/s]	0,27
V2 [m/s]	0,21	V2 [m/s]	0,13	V2 [m/s]	0,17
V3 [m/s]	0,15	V3 [m/s]	0,1	V3 [m/s]	0,16
arithm. M-V	0,21	arithm. M-V	0,13	arithm. M-V	0,20
gew. M-V	0,21	gew. M-V	0,13	gew. M-V	0,19

Zusätzlich integrierte Daten (von Ingenieurbüro Greimel 2011 erhoben – pessimale Profile gelb hervorgehoben)

Dotation 0,25 m³/s

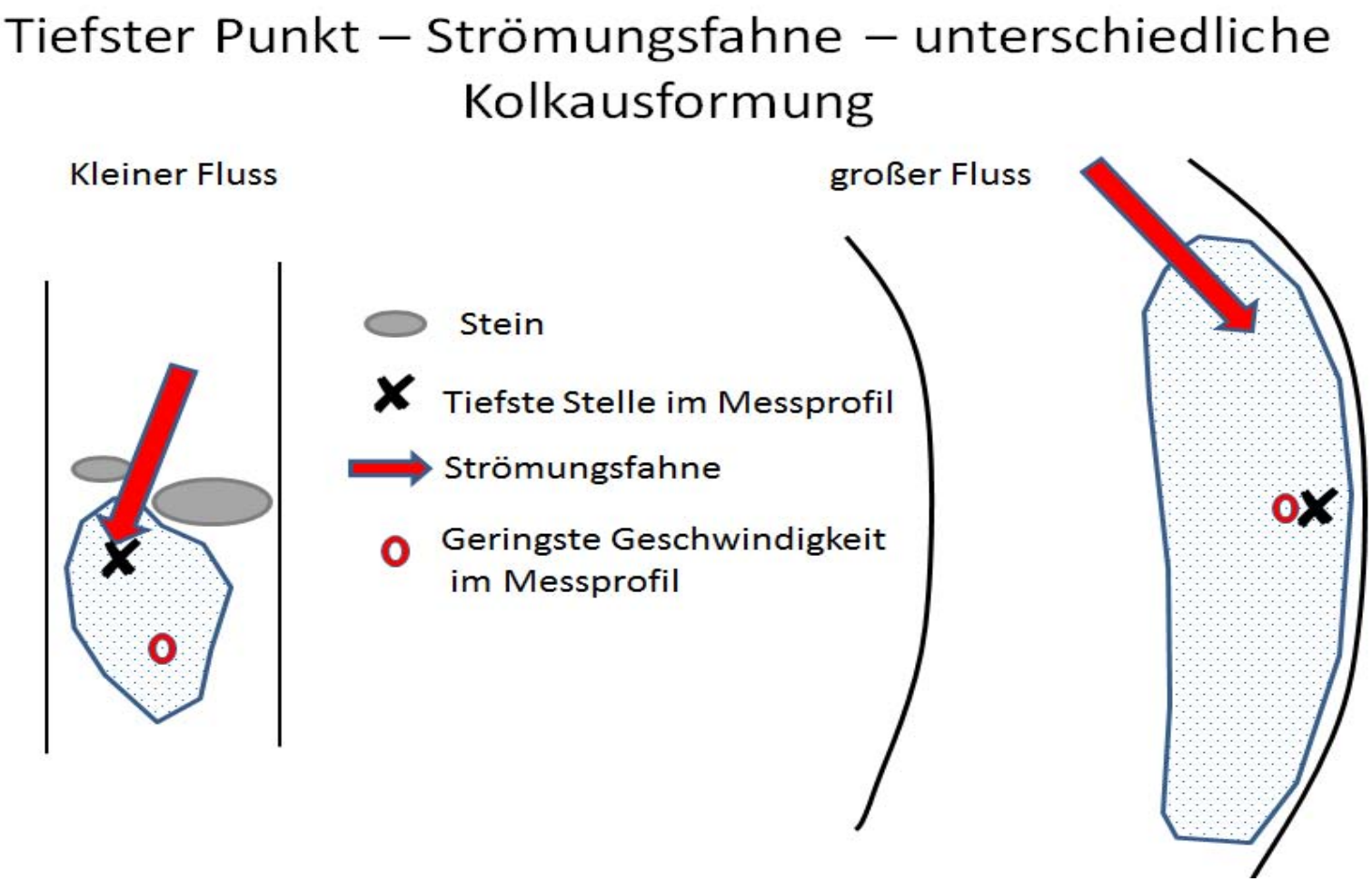
Schnelle 1		Schnelle 2		Schnelle 3	
Tiefe [m]	0,17	Tiefe [m]	0,15	Tiefe [m]	0,15
Geschwindigkeit [m/s]	0,42	Geschwindigkeit [m/s]	0,71	Geschwindigkeit [m/s]	0,6
Kolk 1		Kolk 2		Kolk 3	
Tiefe [m]	1,3	Tiefe [m]	1,26	Tiefe [m]	1
Geschwindigkeit [m/s]	0,01	Geschwindigkeit [m/s]	0,01	Geschwindigkeit [m/s]	0,1

Dotation 11,1 m³/s

Schnelle 1		Schnelle 2		Schnelle 3	
Tiefe [m]	0,52	Tiefe [m]	0,51	Tiefe [m]	0,52
Geschwindigkeit [m/s]	0,89	Geschwindigkeit [m/s]	1,25	Geschwindigkeit [m/s]	1,06
Kolk 1		Kolk 2		Kolk 3	
Tiefe [m]	1,9	Tiefe [m]	1,8	Tiefe [m]	1,4
Geschwindigkeit [m/s]	0,46	Geschwindigkeit [m/s]	0,36	Geschwindigkeit [m/s]	0,37

Darstellung der Restwasserabgabe durch den Kraftwerksbetreiber und der Zeitpunkt der drei Durchflussmessungen

Anhang 8 – Kolkausformungen bei unterschiedlicher Flussgröße



Bei kleinen Flüssen ist das Messprofil an der tiefsten Stelle oft sehr stark von der Strömungsfahne oder Überfallwalzen beeinflusst, bei Kolken in Flusskrümmungen, wie sie meist an großen Flüssen auftreten, ist dies nicht der Fall.