PUBLIZIERBARER ENDBERICHT

gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Kurztitel:	LOWFLOW+
Langtitel:	Niederwassermanagement von veränderten mittelgroßen Fließgewässersystemen unter Berücksichtigung des Klimawandels
Programm inkl. Jahr:	ACRP 5th call 2012
Dauer:	01.04.2013 bis 31.03.2015
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Ing. Reinhard Koch
Kontaktperson Name:	Gerda Kalny
Kontaktperson Adresse:	Peter-Jordan Straße 92, 1190 Wien
Kontaktperson Telefon:	+47654 - 7315
Kontaktperson E-Mail:	gerda.kalny@boku.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	• ÖkoEnergieland • Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH • Burgenländische Landesregierung, Abteilung 9, Wasserbau, Österreich • Universität für Bodenkultur Wien (BOKU Wien) - Die Arbeiten der BOKU wird auf 4 Arbeitsgruppen aufgeteilt: - Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) - Institut für Meteorologie: Arbeitsgruppe Klima (MET Climate) - Institut für Meteorologie: Arbeitsgruppe Strahlung (MET) - Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG)
Schlagwörter:	Meteorologie; Hydraulik; Wasseruntersuchung; Ingenieurbiologie; Gewässermorphologie; Klimawandel; Landnutzung; Niederwasser; Wasserqualität;
Projektgesamtkosten:	298.883 €
Fördersumme:	280.000 €
Klimafonds-Nr:	B286266
Erstellt am:	30.06.2015

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Fließgewässerstrukturen sind wesentliche Merkmale eines aquatischen Systems und beeinflussen die Gewässergüte. Durch den Klimawandel werden die hydrologischen Charakteristika der Fließgewässer verändert. Laut IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wird es in Zukunft vermehrt zu Extremereignissen kommen, dies betrifft sowohl Hochwasserereignisse als auch durch öfter auftretende Trockenperioden Niederwasserabflüsse. Diese Effekte treten vor allem an stark beeinträchtigten Fließgewässern mit fehlenden natürlichen flussmorphologischen Strukturen auf.

Das Projekt LOWFLOW+ untersucht chemische und physikalische Zusammenhänge von einem mittelgroßen Fließgewässer in Niederwasserperioden. Durch intensive Feldaufnahmen und durch die Koppelung von numerischen hydraulischen Modellen und Temperatur- und Wasserqualitätsmodellen werden die relevanten Zusammenhänge aufgezeigt und analysiert.

Die Untersuchungen werden an der österreich-ungarischen Grenzstrecke der Pinka durchgeführt. Am Anfang und am Ende des Projektgebietes sind ständige Pegelmessstellen des Landes Burgenland installiert, die kontinuierlich den Abfluss messen. Die Pinka durchfließt im betrachteten Teilabschnitt, nachdem sie nach rund 3,5 km Fließstrecke eine bewaldete, naturnahe aber trotzdem vom Rückstau beeinflusste Schluchtstrecke verlassen hat, einen durchlässigen kiesig-sandigen Porengrundwasserkörper. Das Gewässer wird in dem rund 25 km langen Abschnitt von mehreren Querbauwerken (Kraftwerke) mit Staucharakter beeinflusst, sodass die wenigen frei fließenden Strecken durch kilometerlange Staubereiche unterbrochen sind.
Zu Beginn des Projektes standen intensive Feldaufnahmen. Dabei wurden Untersuchungen der Ufervegetation, der Flussmorphologie, der Wassertemperatur an 13 stationären Stellen, sowie temporäre Wasserqualitätsmessung (z.B. gelöster Sauerstoff, ph-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Stickstoff, Phosphor) durchgeführt.
Der gewählte Flussabschnitt weist lediglich eine freie Fließstrecke von 45% (Abb. 1) auf, und nur 14% davon sind unbeeinträchtigt. Mehr als die Hälfte der Strecke (57 %) befindet sich hinsichtlich den Kategorien Ufer- und Sohldynamik in der schlechtesten Zustandsklasse (Klassen 4 von 5). Die bestehende Ufervegetation ist zum Großteil als Ufersaum ausgebildet. Zentraler Gegenstand der Verknüpfung der einzelnen Aufnahmeparameter ist das Programm HEATSOURCE, welches die Energieflüsse im Gewässer und resultierende Wassertemperatur ermittelt. In das Modell gehen die Gewässerbreite, Uferneigung, Sediment, Geländeinformationen über das digitale Höhenmodell, Lufttemperatur und -feuchte, solare Globalstrahlung, langwellige atmosphärische Strahlung, Windgeschwindigkeit, Fließgeschwindigkeiten, Fließvolumen und Wasserstand und Ufervegetation ein. Die Ufervegetation wird mit Hilfe des GIS-gestützten Programms Ttools in das

Modell integriert und in einem Raster verschiedener Zonen mit gleicher Vegetationshöhe und –dichte geteilt. Die Fließgeschwindigkeit wurde mittels eines numerischen hydraulischen 2D Modelles berechnet und in das Modell HEATSOURCE integriert. Ergebnisse sind durchgehend modellierte Wassertemperaturen für ausgewählte Niederwasserperioden, die in Folge mit den Daten der Gewässergüte und mit Klimaszenarien gekoppelt werden.

Im pannonischen Tiefland im Südosten von Österreich treten Niederwasserperioden vor allem im Sommer auf. Aufgrund der höheren Verdunstung im Sommer kommt es durch kleine regionale Niederschlagsereignisse nur zu einem geringfügigen Oberflächenabfluss. Insbesondere unter dem Aspekt des Klimawandels, haben längere Dürreperioden das Potenzial, die Dauer der Niederwasserereignissen zu verlängern, die Lufttemperatur wird sich bis zum Ende des Jahrhunderts bei extremen Hitzeevents um etwa 4 ° C erhöhen. Folglich werden voraussichtlich auch die Wassertemperaturen ansteigen (etwa 2°C). Daher ist eine Niederwasserstrategie von besonderer Bedeutung sollte dieselbe Aufmerksamkeit und Qualität besitzen wie ein Hochwassermanagement, um die kostbare Ressource Fließgewässer nachhaltig zu erhalten.

2 Executive Summary

As a consequence of the anthropogenic caused climate change, the hydrological balance will change. Besides the climate impacts on high floods, also periods of low flow conditions and drought will increase. In Austria the areas of the "Pannonian plain" with less than 700 mm will be affected the most, due to an increase of the air temperature of about 2 to 2.5 °C, which is predicted to have occurred by 2040. The research project LOWFLOW+ focused on the chemical and physical interrelationship of a stretch of the river Pinka at low flow conditions on meso- and micro scale level. It investigates the understanding of the climate system and its impact on the physical and chemical processes of a river eco system at low flow conditions (goal 1), is of great relevance for implementing water directives and a basic condition for governance and transformation (goal 2). These issues are in fact the most relevant to be considered in terms of heavily modified water bodies, in order to achieve an improved ecological level and river eco system services.

Study area: The investigations were conducted at the river Pinka, in the area where the Pinka partly represents the border between Austria and Hungary. The length of this section is around 30 km. At the beginning and the end of the section there are continuous gauging stations for discharge, whereas only one observed grabsampling station for chemical and physical-chemical parameters is available at the beginning. The section is rather heterogeneous from the point of view of river morphology, and mostly affected by the impacts of power plants, withdrawal of water for agriculture, tourism activities, etc. These are the most relevant reasons why this section of the Pinka is characterized as being heavily modified.

Methods: Based on fundamental field studies and collected data (land use, stream morphology, hydrology, meteorology and water quality) the low flow situation was simulated along the whole study site in high resolution, using the numeric 2D-hydraulic software MikeFlood (DHI). In a further

step, the results of the numeric modelling (water width, depth and velocity) were used as input parameters for the river water temperature model HEAT SOURCE vers. 9. In a following step a water quality model was coupled with the HEAT SOURCE water temperature model as basis for demonstrating the change of environmental conditions for the living species in the water body. Climate change scenarios and the resulting changes in air temperature and low flow discharge were simulated with the validated numerical models Aladin, Remo and RegCM3.

Results and conclusions of the project: The base for all investigations and analysis was intensive field measurements to generate a database for the assessment of the current situation, and for generating numerical models and predictions of future scenarios. Finally, all results built up and contributed to low flow management strategies for mitigating climate change effects.
More than 75% of the river stretch showed morphological status classes 3 up to 4 which indicate an eco-morphological strongly impacted up to a not natural river status. The longitudinal dynamic sediment regime was interrupted due to the long stretches of backwaters from the power plants.
The HEAT SOURCE model simulated predicted water temperature changes uniformly along the river. Minimum, mean and maximum water temperatures are expected to rise more than 2°C by 2080, which lies above the maximum uncertainties of the model. The water temperature in rivers is an important parameter for characterizing the conditions for the lives of most of the organisms, and affects other physical properties of the water, for example the solubility of oxygen. Furthermore, the reaction rates of many biochemical processes vary depending on the temperature.
The results of the numerical models represent as a first step the existing situation concerning the longitudinal distribution of water quantity and quality levels. The models take into account impacts on a small scale of alteration of river morphology, local water storage area due to power plants, withdrawal of water for agricultural areas, fish ponds, point source pollution, the input of the surrounding ground water volume and, in a following step, the prediction of climate change impact on the low flow condition too. Furthermore, the calibrated hydraulic and water quality linked models can be used to develop low flow management strategies for conducting different river management scenarios.

Outlook and summary: LOWFLOW+ achieved an interdisciplinary and holistic approach connecting river morphology and water quality at low flow conditions with a specific focus on heavily modified river reaches. This kind of approach, in particular, must be payed more attention to in the near future. This means that in addition to high flood protection measures, the management of low flow conditions has also attracted public interest more recently and is important. With the implementation of a low flow management strategy, the conflicts between different and heterogeneous interests concerning the use of the water resources can be prevented and good water quality levels as basis for a well-balanced river ecosystem can be guaranteed.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Die Ufervegetation ist ein wichtiger Bestandteil von Flussökosystemen und beeinflusst das Fließgewässer nachhaltig. Sie dient als Lebensraum, Nahrungsquelle und Schutz für die aquatische Flussfauna. Durch starke anthropogene Nutzungen, besonders im Tiefland, wurden Fließgewässer in Zentraleuropa sehr stark verändert und in einen weitgehend mäßigen ökologischen Zustand versetzt. Auwald musste oft Siedlungsgebieten oder landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen weichen, wodurch wichtige Funktionen der Ufervegetation als Gewässerstrukturelement außer Kraft gesetzt wurden.

Gewässerstrukturen an Fließgewässern haben über die Veränderung der Fließbedingungen sowohl einen Einfluss auf die Ökologie als auch auf die Gewässergüte. Der nationale Gewässerbewirtschaftungsplan (BMLFUW, 2010[1]) in Österreich definiert als «erheblich veränderte» Wasserkörper vor allem Gewässerabschnitte, deren Wasser für die Energieproduktion genutzt wird oder an denen Maßnahmen für den Hochwasserschutz gesetzt wurden. Für diese Gewässer gilt nicht der «gute Zustand », sondern das «gute ökologische Potenzial» als spezifisches Umweltziel. Stauketten werden als eindeutiges Risiko der Zielverfehlung betrachtet, vor allem wenn sie zusätzlich auch noch Abflussschwankungen durch die Stromerzeugung vorweisen. Diese Abschnitte müssen gesondert betrachtet werden, um geeignete Maßnahmen zur Zielerreichung zum Einsatz bringen zu können. An größeren und mittleren Fließgewässern ist der Einfluss in der fließenden Welle von massiven Querbauwerken bei mittleren Abflüssen vor allem am Sauerstoffgehalt, an den Nährstoffkonzentrationen und am Schwebstoffanteil abzulesen (BMLFUW, 2008[2]; Schmitt et al., 2008[3]; ARGE Trübung Alpenrhein, 2001[4]). Diese Parameter beeinflussen wiederum maßgeblich die Randbedingungen aquatischer Ökosysteme, indem sie neue Lebensräume fördern oder auch verhindern. Dies wird auch noch dadurch verstärkt, dass als Folge des Klimawandels eine Zunahme der Variabilität des Abflusses in Oberflächengewässern erwartet wird (Blöschl et al., 2011[5]; LAWA, 2010[6]). Als Konsequenz des anthropogen verursachten Klimawandels wird sich der Wasserhaushalt von Einzugsgebieten ändern. Neben den klimatischen Einflüssen auf Hochwasserereignisse werden auch das Auftreten und die Dauer von Niederwasserperioden und Trockenheit zunehmen. Folglich werden jährliche Niederwasserperioden in einer höheren Anzahl auftreten. Das führt auf der einen

[1] BMLFUW (2010). Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. BMLFUW (2013).

[2] BMLFUW (2008). Schwebstoffe im Fliessgewässer – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes, 108 Seiten.

[3] Schmitt, F. G., Dura, G., Souissi, S., Zongoa, S. B. (2008). Statistical properties of turbidity, oxygen and pH fluctuations in the Seine river estuary (France), Physica A 387, 6613–6623.

[4] ARGE Trübung Alpenrhein (2001). Trübung und Schwall im Alpenrhein – Fachbericht zu den Teilaspekten Trübung, Licht, Bewuchs und Drift, Gesamtbericht zum Projekt.

[5] Blöschl, G., Viglione, A., Merz, R., Parajka, J., Salinas, J.L., Schöner, W. (2011) Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasser und Niederwasser, ÖWAW – Österreichische Wasserwirtschaft 1–2/2011, 21–30.

[6] LAWA (2010) Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“ - Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen, LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

Seite zu erhöhten Wassertemperaturen und auf der anderen Seite zu einem Sunk-Schwall-Betrieb der Kraftwerke bei entsprechend niedriger Abflussmenge. Das resultiert wiederum in lebensfeindlichen Standortbedingungen für Wasserorganismen, wobei der Zusammenhang zwischen Wassertemperatur und anderen Parametern ausreichend belegt ist (z. B. Vankova und Petlus, 2014[7]).

Um mögliche Veränderungen abschätzen zu können, beschäftigt sich das Projekt LOWFLOW+ mit den chemischen und physikalischen Zusammenhängen von mittelgroßen Fließgewässern bei Niederwassersituationen. Hydraulische und wasserqualitätsbezogene Modelle werden miteinander gekoppelt, um eine Niederwasserstrategie für zukünftige Klimaszenarien zu entwickeln. Diese Thematik ist gemäß der Wasserrahmenrichtlinie vor allem für stark veränderte Fließgewässersysteme von besonderer Bedeutung. Als Projektgebiet wurde auf Grund der starken Beeinflussung die Österreich-Ungarische Grenzstrecke der Pinka gewählt (Abbildung 1).

Abb. 1: oben links: die Pinka flussabwärts bei Burg in der naturnahen Schluchtstrecke (Kilometer zur Mündung = KZM 36); oben rechts: die Pinka nach dem Kraftwerk Gaas (KZM 17); unten links: die Pinka bei Felsöcsatar im Kraftwerksbetrieb (KZM34); unten rechts: eine Restwasserstrecke an der Pinka

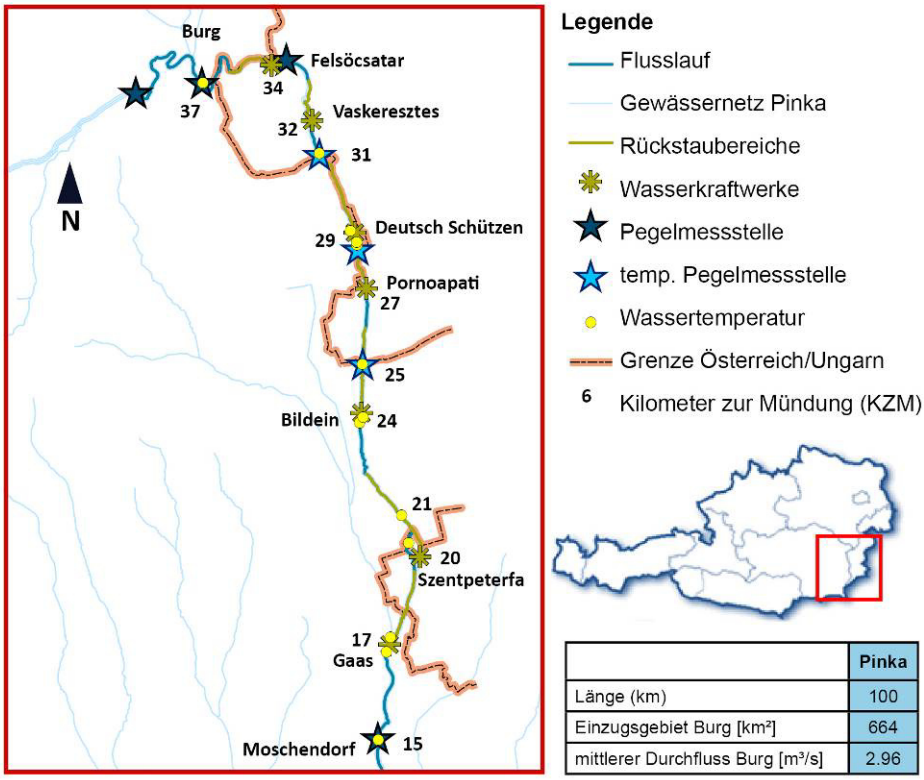
7 Vankova, V., Petlus, P. (2014). Water temperature influence on selected properties of surface river water throughout the year (river nitra), Ekológia Bratislava 33 (2), 151–159.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se) max 20 Seiten

Das Projekt LOWFLOW+ beschäftigt sich mit den chemischen und physikalischen Zusammenhängen von mittelgroßen Fließgewässern bei Niederwassersituationen. Hydraulische und wasserqualitätsbezogene Modelle werden miteinander gekoppelt. Es werden sowohl für den Ist Zustand als auch für ein zukünftiges Klimaszenario unter besonderer Berücksichtigung der Vegetation als wichtige Fließgewässerstruktur Managementstrategien entwickelt. Daraus ergeben sich spezifische Projektziele für LOWFLOW+:

- Bestimmung relevanter und kritischer Faktoren, die das Flussökosystem bei Niederwasserführung beeinflussen
- Verstehen der physikalisch-chemischen Prozesse der Pinka bei Niederwasser
- Wasserbilanz der Pinka Grenzstrecke bei Niederwasser
- Koppelung von hydraulischen Modellen und Wasserqualitätsmodellen
- Optimierung von Feldmessungen zur Kalibrierung dieser Modelle
- Entwicklung von vorausschauenden und anwendbaren Niederwassermanagementstrategien für zukünftige Klimaszenarien

Projektgebiet



	Pinka
Länge (km)	100
Einzugsgebiet Burg [km²]	664
mittlerer Durchfluss Burg [m³/s]	2.96

Abb. 2: Projektgebiet LOWFLOW+ der Grenzstrecke Pinka und Messstellen

Die Untersuchungen werden an der österreich-ungarischen Grenzstrecke der Pinka durchgeführt. Am Anfang und am Ende des Projektgebietes sind ständige Pegelmessstellen des Landes Burgenland installiert, die kontinuierlich den Abfluss messen. Die Pinka durchfließt im betrachteten Teilabschnitt, nachdem sie nach rund 3,5 km Fließstrecke eine bewaldete, naturnahe aber trotzdem vom Rückstau beeinflusste Schluchtstrecke verlassen hat, einen durchlässigen kiesig-sandigen Porengrundwasserkörper. Das Gewässer wird in dem rund 25 km langen Abschnitt von mehreren Querbauwerken (Kraftwerke) mit Staucharakter beeinflusst, sodass die wenigen frei fließenden Strecken durch kilometerlange Staubereiche unterbrochen sind.

Methode und Ergebnisse

Das Projekt wurde in fünf Arbeitspaketen (AP) abgewickelt. (AP1.) Ausgehend von Feldaufnahmen (AP2) zu Landnutzung, Flussmorphologie und Ufervegetation, Hydrologie und klimatischen sowie Wasserqualität wurde die hydrologische Situation bei Niederwasser mit Hilfe des 2D Modelles MIKE Flood berechnet (AP3). Die Daten aus AP2 und AP3 waren wiederum die Eingangsdaten für das Flussenergiebilanzmodell HEAT SOURCE vers. 9, welches mit aktuellen Messdaten validiert wurde und auf welches ein Wasserqualitätsmodell aufgebaut wurde (AP4). Nach der Berechnung von lokalen zukünftigen Klimawandelszenarien wurden mit den validierten bzw. kalibrierten Modellen Wasserqualitätswerte ermittelt. All dies mündete in Empfehlungen für eine Niederwasserstrategie.

Landnutzung im Projektgebiet (AP2.1)

Im gesamten Längsverlauf des Projektabschnittes der Pinka wurde die Landnutzung, in einem 50 m breiten Pufferstreifen erhoben. Die Ausprägung der vorherrschenden Landnutzung hängt stark von der betrachteten Pufferbreite ab. Während die Landnutzung direkt am Ufer (Abbildung 3 links) zu knapp 80% durch Ufer- und Auenvegetation geprägt ist, zeigt sich bereits ein 50 m breiter Puffer an nahe 50 % der Strecke mit landwirtschaftlichen Flächen. Anthropogen beeinträchtigte Gebiete wie Siedlungsräume reichen in diesem Gebiet kaum bis an den Fluss (sh. Ledochowski (2015)und Jachs (2015).

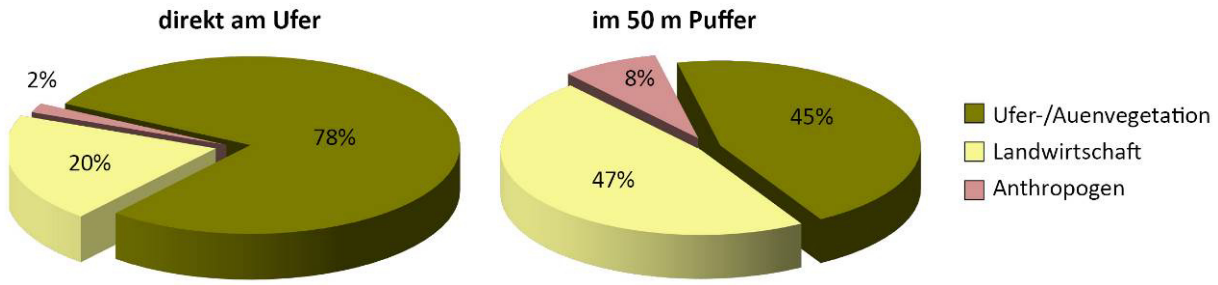


Abb. 3: Landnutzung an der Pinka im Bereich Burg (KZM 37) bis Moschendorf (KZM 15). Landnutzung direkt am Ufer (links) und in einem 50 m Pufferstreifen (rechts).

Flussmorphologie und Ufervegetation (AP2.2)

Die Flussmorphologie wurde in 48 homogenen Abschnitten aufgenommen und an Hand der Zustandsklassen des Lebensministeriums (Lebensministerium, 2010) beurteilt. Detaillierte Aufnahmen zu Flussgeometrie, Sediment, Ufervegetation und Beschattung wurden an 21 Profilen durchgeführt. Diese wurden an ausgewählten Stellen mit verschiedener Kraftwerksbeeinflussung gewählt (Restwasser, Ausleitung, Gesamtfluss). Die folgende Abbildung 4 (links und mitte) zeigt den ökomorphologischen Gesamtzustand der Pinka im Projektgebiet. Mehr als 75% der Strecke entsprechen einem Zustand der Klasse 3 oder 4, also in einem mäßig bis unbefriedigenden Zustand. Abbildung 4 (rechts) zeigt die Zusammensetzung des Sohlsubstrates an den 21 ausgewählten Profilen. Diese sind mit je 30% kleiner als 2 mm und von 2mm bis 2 cm sehr fein. Das ist eine Folge der Staustrecken, in denen sich teilweise bis zu 1 m tiefes Feinsediment ablagert. Mehr dazu in Mallinger (2014)[8].

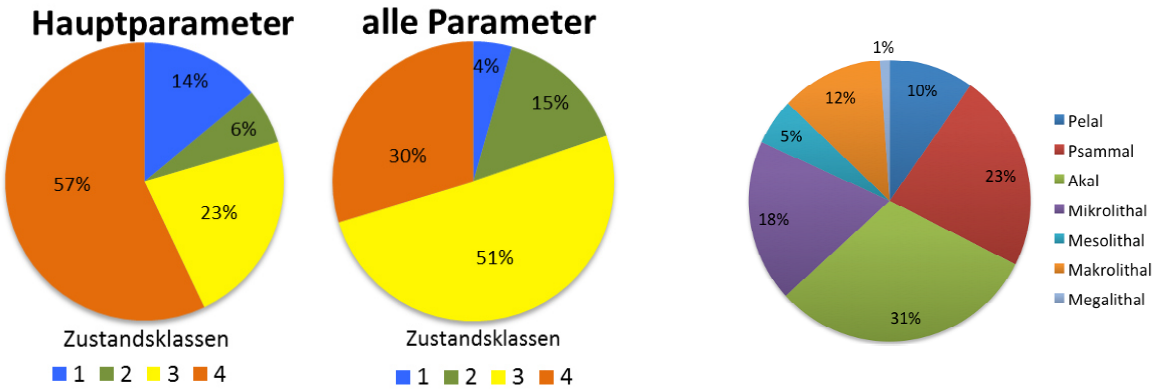


Abb. 4: Ökomorphologischer Zustand der Pinka im Projektgebiet. Links: Zustand an Hand der Hauptparameter Uferdynamik und Sohldynamik; Mitte: Haupt- und Zusatzparameter: Laufentwicklung, Uferbegleitsaum, Substratzusammensetzung und Strukturen im Bachbett; Rechts: Zusammensetzung des Sohlsubstrates..

Der Uferbegleitsaum zeigt sich passend zur Landnutzung in verschiedenen Breiten. Etwa 40% (orographisch links und rechts werden berücksichtigt) haben eine Pufferbreite von mehr als 20 m, über 45% haben einen Pufferstreifen von bis zu 20 m (Abbildung 5 links). Bis zu 17 Arten wurden in einem Abschnitt gefunden mit Vegetationshöhen meist zwischen 15 und 20 m (Abbildung 5 rechts).

[8] Mallinger A, (2014): Gewässermorphologische Analyse der Pinka Grenzstrecke. Masterarbeit an der BOKU Wien

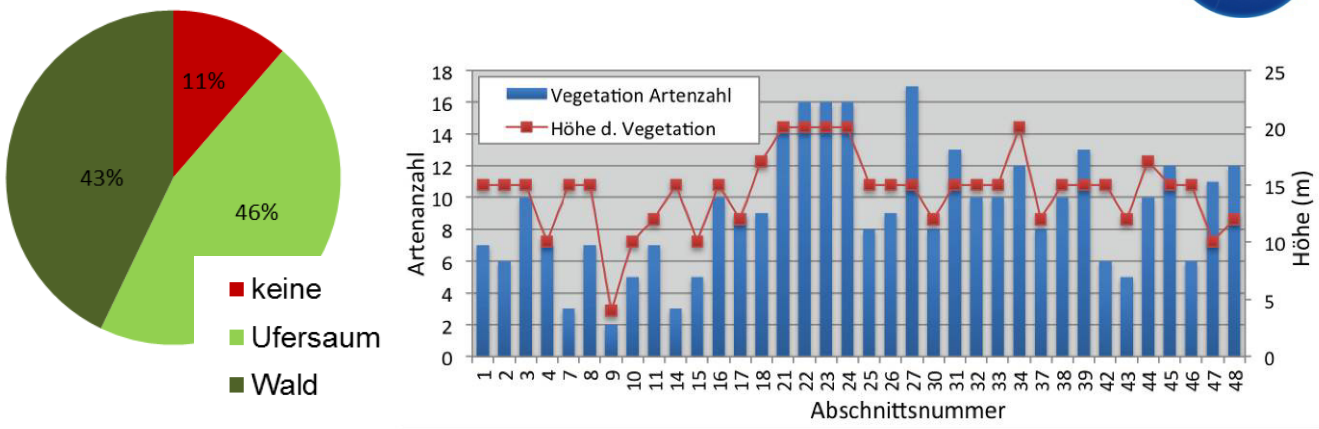


Abb. 5: links: Ausdehnung des Uferbegleitsaums im Projektgebiet (ROT: kein baumartiger Uferbegleitsaum, HELLGRÜN: Ufersaum bis 20 m, DUNKELGRÜN: Wald ab 20 m breite). **Rechts:** Artenzahlen und durchschnittliche Vegetationshöhen in den homogenen Flussabschnitten.

Da entlang des größten Streckenteils zumindest ein Vegetationspufferstreifen vorhanden ist, ist die Beschattungssituation an den verschiedenen Flussprofilen im Juni über den ganzen Tag betrachtet recht ähnlich. Abbildung 6 zeigt die Schattenstunden, gesplittet in Schattenwurf durch die Umgebung (Uferböschung, Brücken, Häuser …) und durch die Vegetation, sowie auch den Lichtstundenanteil. Wird nur der Monat Juni betrachtet (Abbildung 6 links), zeigt sich, dass die Vegetation in einigen Profilen sehr wenig Bedeutung hat (z. B. Profil 3, 18 und 21). Profil 16 kann Beschattung durch die Vegetation verzeichnen, da es keine Strauch- und Baumschicht aufweist. Profil 21 weißt den größten Anteil an Beschattung durch die Umgebung auf, da eine Brücke über den Fluss den Schatten wirft. Wird die Beschattung im Juni zur Mittagszeit (10 Uhr bis 14 Uhr MEZ) betrachtet (Abbildung 6 rechts), sieht man einen viel größeren Anteil der Vegetation auf die Beschattung, die Umgebung hat keinen Einfluss mehr. Profil 21, kann aufgrund der besonderen Situation (Brücke) nicht gewertet werden. Acht der übrigen 20 Profile besitzen keine und nur drei Profile eine volle Beschattung durch die Vegetation (12, 14, 17). Die Profile 14 und 17 sind Restwasserstrecken und besitzen einen 100igen Vegetationsüberhang vom linken Ufer. Aufgrund der Fließrichtung nach Südwesten wirkt sich die Vegetation sehr positiv auf die Beschattung aus. Das Profil 12 weist einen Kronenschluss durch die Vegetation am linken und rechten Ufer auf und besitzt daher zur Mittagszeit keinen Lichtraum. Ansonsten sind auf Grund des hohen Sonnenstandes trotz teilweise großen Vegetationsüberhang die Sonnenstunden höher.

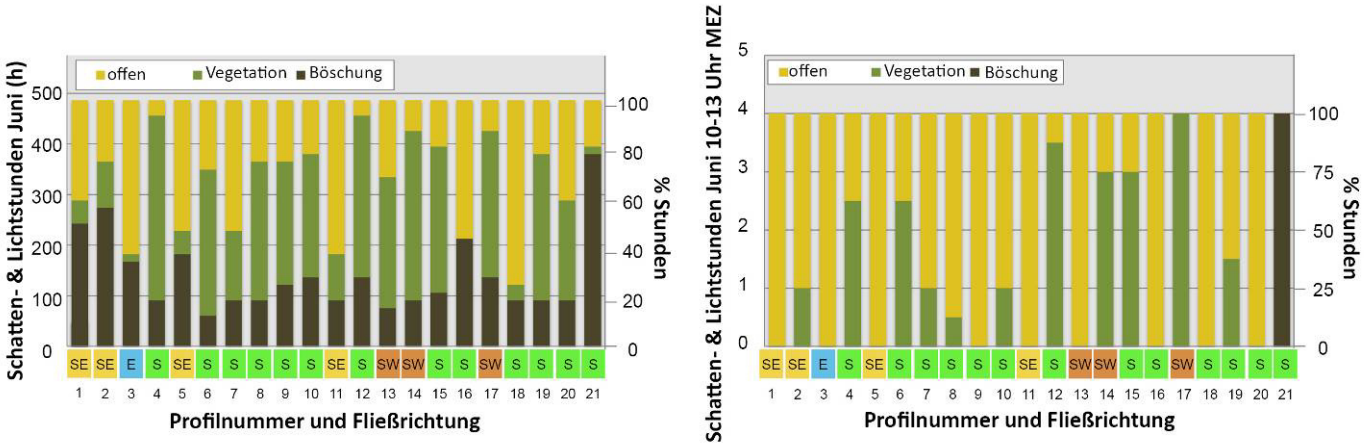


Abb. 6: Beschattung der 21 Querprofile durch Vegetation und Umgebung, sowie Lichtstunden (offen). Zusätzlich angegeben sind die Fließrichtungen (SE = Südosten, S = Süden, SW = Südwesten, E = Osten). **Links:** im Juni über den gesamten Tagesverlauf. Rechts; **Rechts:**

Hydrologie (AP 2.3)

Die Hydrologie wurde an Hand eines Messprogrammes vor Ort und mit Hilfe der vom Hydrographischen Dienst Burgenland und vom Wasserbau Ungarn zur Verfügung gestellten Pegeldaten (Beginn der Messungen bis Oktober 2013) bearbeitet. Im Zuge des Messprogramms wurden an den 21 Profilen die Profilgeometrie sowie Wassertiefen- und Fließgeschwindigkeitsverteilung bei Niederwasserabfluss gemessen.

Anhand der Dauerlinien des Pegels Burg (KZM 37) von 1998 bis 2012 wurde der Q95 Abfluss als durchschnittlicher Niederwasserabfluss festgelegt und ist die Berechnungsbasis für die nachfolgenden Arbeitspakete. Diese Wassermenge wird an 95% aller Tage eines Jahres erreicht (Abbildung 7) und beläuft sich auf 700 l/s.

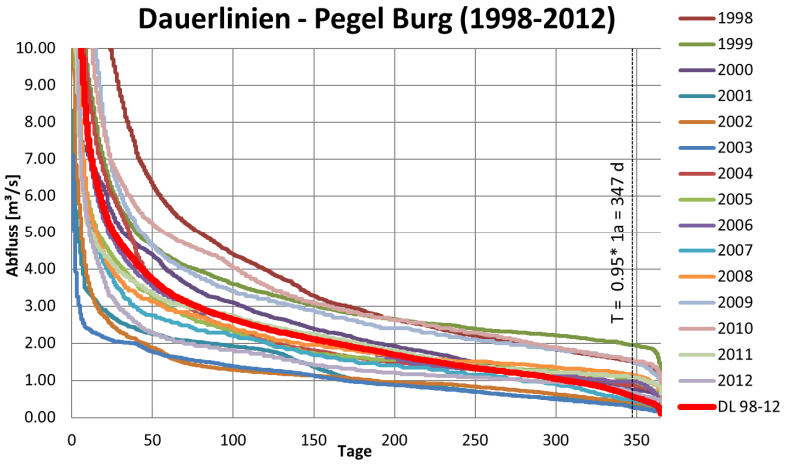


Abb. 7: Abflussdauerlinien (1998 - 2012) für die Pegelmessstation Burg (KZM 37).

Abbildung 8 zeigt die Pegeldaten der Messstellen Burg (KZM 37) und Moschendorf (KZM 15) in der Hauptaufnahmeperiode, im Sommer 2013.

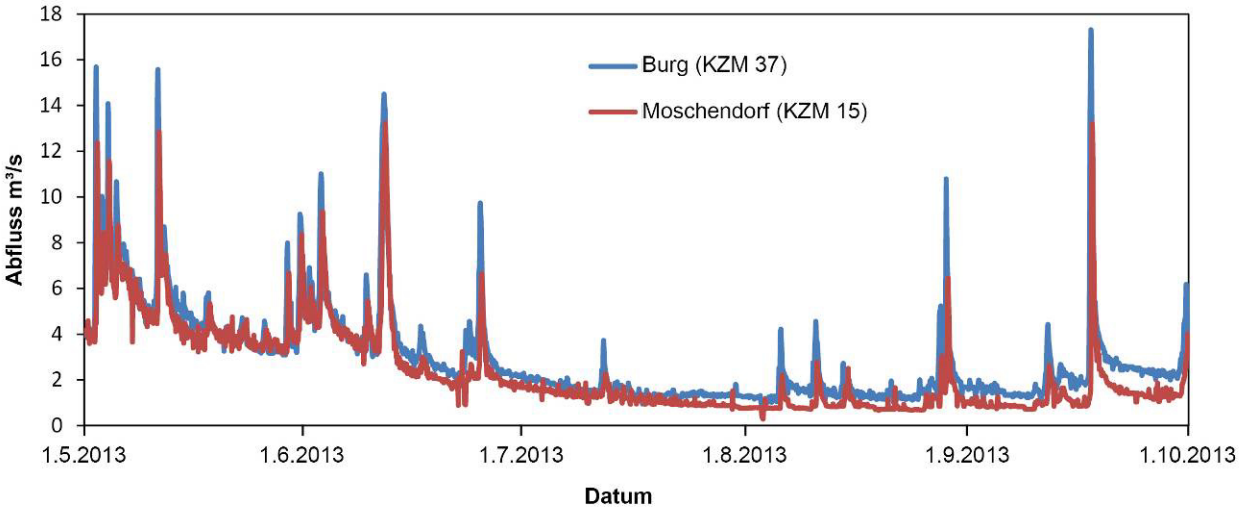


Abb. 8: Stündliche Abflusswerte von Mai bis Oktober 2013 an den Pegelmessstellen Burg (KZM 37) und Moschendorf (KZM 15).

Das Gewässer besitzt in dem rund 25 km langen Abschnitt mehrere Querbauwerke mit Staucharakter, sodass die wenigen frei fließenden Strecken durch kilometerlange Staubereiche unterbrochen sind. Die Querbauwerke bestehen hauptsächlich aus sieben Kraftwerken für die

Stromerzeugung mit Absturzhöhen von 2 bis 5 m sowie mehreren Rampen und Sohlschwellen von 0,2 bis 0,5 m Höhe. Bei sechs dieser Kraftwerke wird der Großteil des Wassers in den Kraftwerkskanal abgeleitet. Sie haben eine maximale Arbeitsleistung von 2.400 bis 3.500 l/s. Bei Niederwasser liegt der Abfluss viel tiefer als die erwarteten Werte (Q_{95} = 0.7 m³/s, Burg (DFM 37) MQ = 2.79 m³/s, Moschendorf (DFM 15) MQ = 2.95 m³/s). Die Bewirtschaftung der Kraftwerke ist nicht generell geregelt, sondern hängt individuell pro Betrieb von der jeweiligen aktuellen Wassermenge und dem Bedarf an Elektrizität ab. Weitere Details zu den Kraftwerken sind in Anhang 01 zu finden.

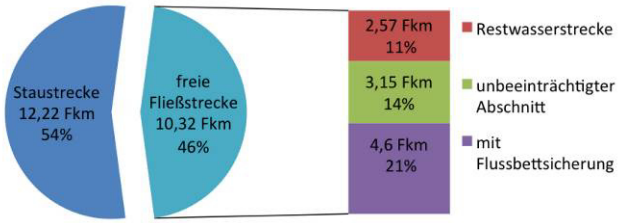


Abb. 9: Anteil der Rückstaustrecken an der Gesamtfließstrecke.

Abbildung 9 zeigt den Anteil der Staustrecken an der gesamten Fließstrecke. Bei Niederwasser summiert sich die gestaute Strecke auf ein Gesamtausmaß von rund 54%. Der Abstand zwischen den Kraftwerken ist teilweise so kurz, dass die Staustrecken ineinander übergehen, nur 14% der gesamten Fließstrecke sind unbeeinträchtigt (Mallinger, 2014[9]).

Auch Wassertiefe und Fließgeschwindigkeiten sind, wie in Abbildung 10 zu sehen ist, stark von der Stauhaltung der Kraftwerke abhängig. Restwasserbereiche hatten während der Messungen in den Niederwasserperioden im Sommer 2013 kaum einen Abfluss, ausgenommen von Profil 4, welches an dem bei der Messung gerade nicht bewirtschafteten Kraftwerk Vaskeresztes lag. Der Überlauf für das Restwasser in Felsöcsatar war gerade in Bau befindlich.

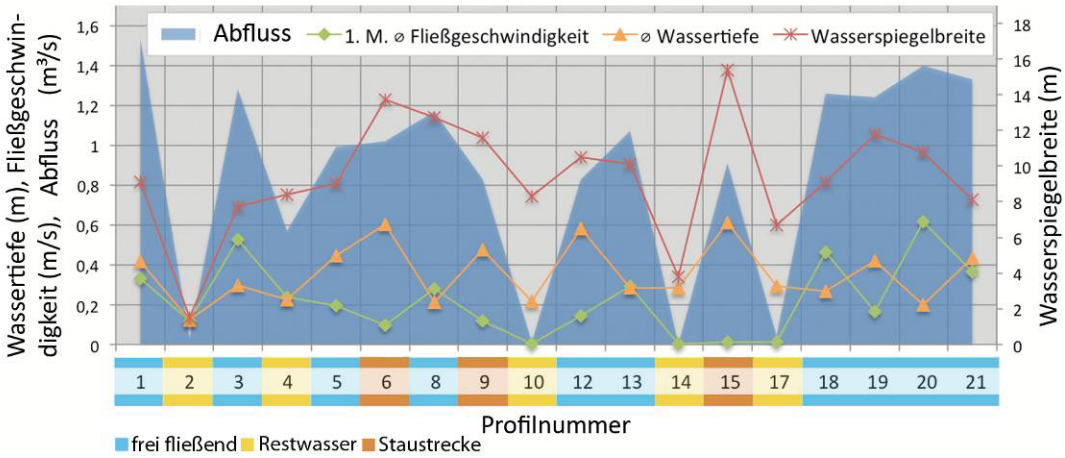


Abb. 10: Fließgeschwindigkeiten und Abfluss in Verbindung mit Wassertiefe und Flussbreite an den 21 Profilen. Es ist gekennzeichnet welche Profile frei fließende, Restwasserstrecken oder Staustrecken sind.

Im Untersuchungsabschnitt an der Pinka gibt es zusätzlich in den beiden Vorländern eine Anzahl von Anlagen für die Wassernutzung. Folgende Arten von Wasserentnahmen sind vorhanden:

[9] Mallinger A, (2014): Gewässermorphologische Analyse der Pinka Grenzstrecke. Masterarbeit an der BOKU Wien

Fischzucht, Brunnen, Obstplantagen, Baumschulen, Kläranlage, Bewässerungsanlage, Anlagen für Nutzwasser (Feuerwehr), Anlagen für Trinkwasser und Sonderanlage für Bewässerung. Seitens der Gemeinden wurde der Verdacht geäußert, dass es im untersuchten Pinkaabschnitt in Trockenwetterperioden verstärkt zu konsenslosen Wasserentnahmen aus der Pinka für die Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen bzw. Obstplantagen kommt. Im Zuge der Begehungen und der Durchführung des Messprogramms konnte eine diesbezügliche Beobachtung nicht gemacht werden. Für eine detaillierte Bilanzierung der Wassermengen bei Niederwasserabfluss sollte eine längerfristige Abflussmessung, simultan an mehreren Flussquerschnitten und unter Einbeziehung der Kraftwerke erfolgen. Mehr zu Wasserentnahmen ist Anhang 02 zu entnehmen.

Mit Hilfe der hydrologischen Daten des Hydrographischen Dienstes Burgenland und Ungarn und Messungen vor Ort, konnte die Längsentwicklung des Abflusses bei Niederwasser dargestellt werden. Während der ersten Messkampagne variierte der Abfluss zwischen 800 und 1500 l/s (stark beeinflusst von den Kraftwerken), während die Werte in der zweiten Messkampagne sich um einen Wert um die 700 l/s einfinden (Abbildung 11).

Abbildung 12 zeigt den Einfluss der Kraftwerke auf die Wasserspiegelschwankungen. Alle drei temporären Pegel befinden sich kurz nach einem Kraftwerk.

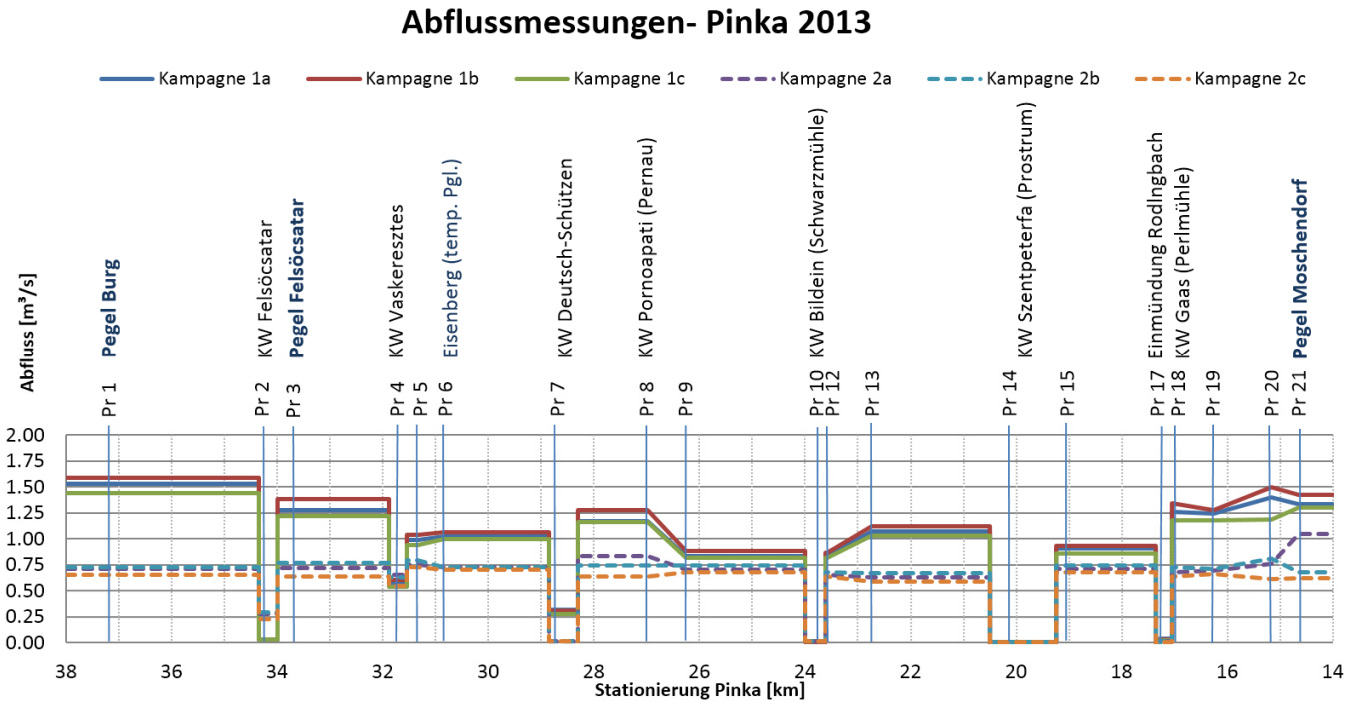


Abb. 11: Hydraulischer Längsschnitt. Abflussmengen der Messkampagnen vom Juli 2013 (Kampagne 1: 12. bis 19. Juli; Kampagne 2: 30. bis 31. Juli)

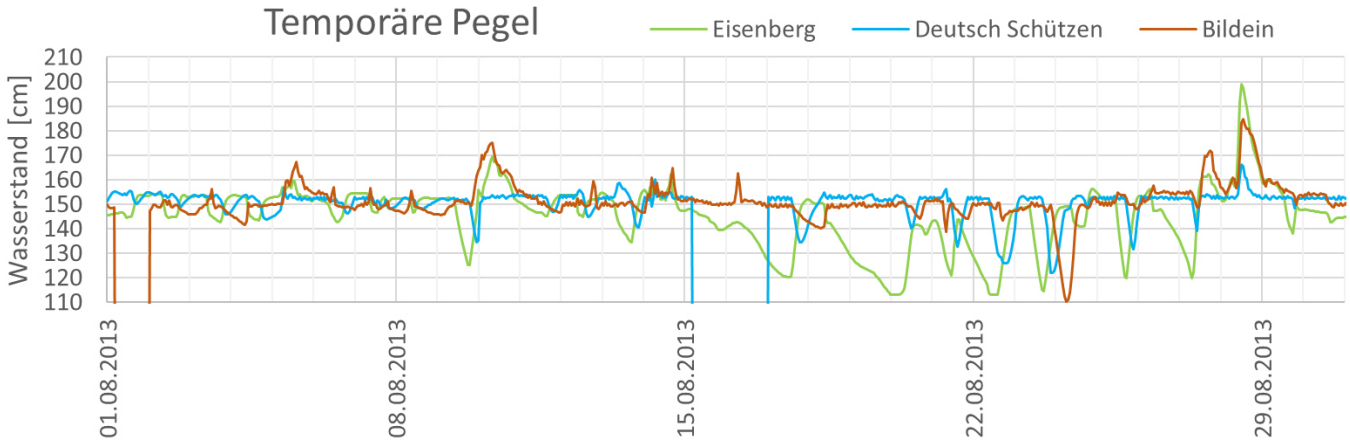


Abb. 12: Wasserstand [cm] der temporären Pegel flussab von je einem Kraftwerl (Eisenberg (KZM 31), Deutsch-Schützen (KZM 29) und Bildein (KZM 25)).

Wassertemperatur/Meteorologie (AP 2.4)

Die Wassertemperatur wurde mit Hilfe von Temperaturloggern über Monate im Längsverlauf der Pinka gemessen. Für den Vergleich wurden sie verdichtet in den Bereich von Kraftwerken eingesetzt (Ausleitung, Restwasser, Unterwasser, Zusammenfluss). Die Tagesschwankungen der Wassertemperatur hängen von der Wassermasse vom Gewässerabschnitt ab. Bei niedrigerem Wasservolumen werden die Temperaturamplituden ausgeprägter sein. Größere Tagesschwankungen wurden u.a. im Restwasser des Kraftwerkes Deutsch-Schützen, sowie im Unterwasser des Kraftwerks Bildein gemessen. Der höchste Wert der Wassertemperatur wurde mit 26.5 °C um 18h am 9. August im Restwasser des Kraftwerks Deutsch-Schützen gemessen. Die täglichen maximalen Wassertemperaturen traten je nach Standort in der Zeit zwischen 14h und 19h MEZ.

Meteorologische Daten und Wassertemperatur wurden kontinuierlich und episodisch entlang des Flusses gemessen und dienen dem Model als Inputparameter und Referenz. Die täglichen Schwankungen der Wassertemperatur werden in Abbildung 13 gezeigt und mit den Wasserstandsmessungen von zwei Stationen flussauf (Woppendorf (KZM 41) und Bildein (KZM 24) und drei Stationen flussabwärts der Kraftwerke Felsöcatar (KZM 34), Eisenberg (KZM 31) und Deutsch-Schützen (KZM 29) verglichen. Die Sensoren flussauf der Wasserkraftwerke und der Aufstauung zeigen einen stärkeren Tagesgang der Wassertemperatur als die Sensoren flussab dieser Hindernisse. Die Abbildung zeigt auch den Zusammenhang zwischen hydrologischen Komponenten und Wassertemperatur. Der Niederschlag während der Nacht vom 5. auf 6. August 2013 und während der Nacht vom 10. auf den 11. August 2012 führte zu einer deutlichen Reduktion der Wassertemperatur. Der Einfluss des Fließvolumens auf die Wassertemperatur wird auch klar ersichtlich. Wenn das Wasserniveau niedrig ist, steigt die Wassertemperatur in den Aufstauungsbereichen leicht. Wenn das Wasserniveau bereits stark reduziert ist, wie z.B. wie vor dem Niederschlagsereignis am 11. August 2013 können wir danach bei ansteigendem Wasserniveau in Deutsch-Schützen einen starken Abfall der Wassertemperatur messen.

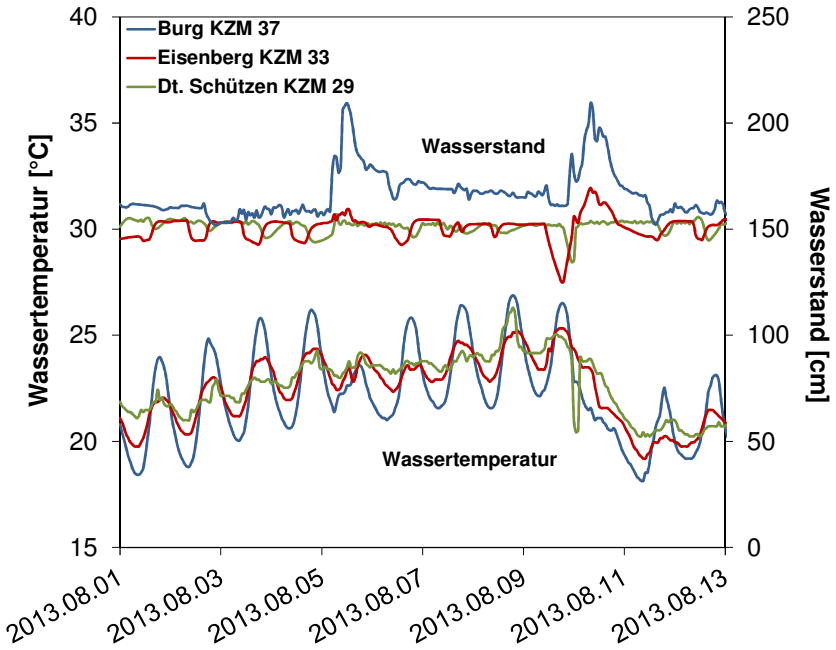


Abb. 13: Übersicht über gemessene Wassertemperatur zweier Stationen flussauf der Wasserkraftwerke Felsöcatar, Eisenberg und Deutsch-Schützen (Woppendorf und Burg) und drei Stationen unterhalb der Aufstauungen (Eisenberg, Dt. Schützen und Dt. Schützen Pegel)

Wasserqualität (AP 2.5)

Um die vorhandene Wasserqualitätsmessreihe an der Pinka bei Burg sowohl hinsichtlich der Messhäufikeit als auch der räumlichen Ausdehnung zu ergänzen, wurden flussabwärts der Messstation beim Pegel Burg weitere zeitlich begrenzte Fließgewässer-Messstationen betrieben (Abbildung 14). Es wurden drei temporäre mobile Messstationen an sieben Messorten (online-Messungen sowie Probenahmen mit anschließender Analyse im Labor) in den Niederwasserperioden in 2 bis 3 Tage langen Messkampagnen eingesetzt (5 Perioden 2013 und 3 Perioden 2014).

Der Gewässerabschnitt beginnt bei der Messstelle Burg bei KZM 37. Diese dient als sogenannte „Referenzmessstelle", d.h. sie ist relativ unbeeinflusst durch Abwassereinleitungen und es liegt eine freie Fließstrecke vor. Im gestauten Bereich des

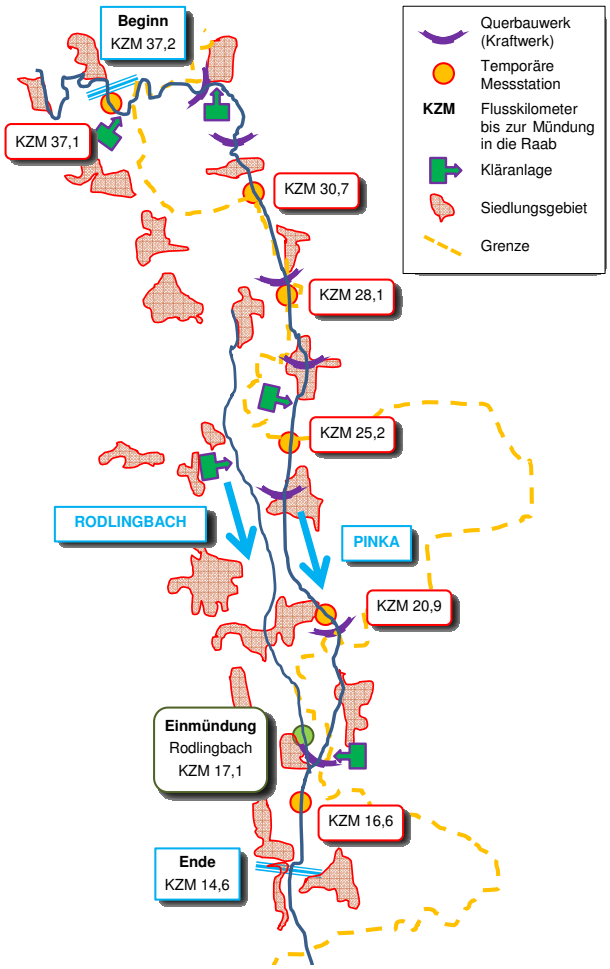


Abb. 14: Übersicht über die temporären Wasserqualitätsmessstationen im Projektgebiet.

Kraftwerks Bildein rund 1 km flussaufwärts der Wehranlage befand sich die Messstelle Bildein bei KZM 25. Die dritte intensiv beprobte Messstelle war rund 600 m flussabwärts des Kraftwerks Gaas bei KZM 16 in einer freien Fließstrecke, jedoch mit erhöhtem Wasserstand (infolge einer Querschnittsverengung durch Buhnen). Eine weitere Messstelle charakterisierte im Gewässerabschnitt den einzigen Zufluss durch ein Fließgewässer, den Rodlingbach, in dem auch eine Kläranlage mit 4.100 EW einmündet. Die drei weiteren Messstellen ergänzen durch ihre Ähnlichkeit zu den bereits vorgestellten Messstellen an der Pinka die drei intensiv beprobten Bereiche.

Abbildung 15 zeigt als Beispiel die Ergebnisse der Laboranalysen des Nährstoffparameters Ammonium aus 2013 und 2014 bei den Messorten über die Fließstrecke. Obwohl der Rodlingbach eine höhere Konzentration dieses Parameters aufweist, wird durch die niedrige Wasserführung die resultierende Fracht innerhalb des Hauptflusses Pinka dermaßen verdünnt, dass bei der letzten Messstelle unterhalb des KW Gaas (KZM 16) keine Auswirkung mehr durch den Rodlingbach erkennbar ist.

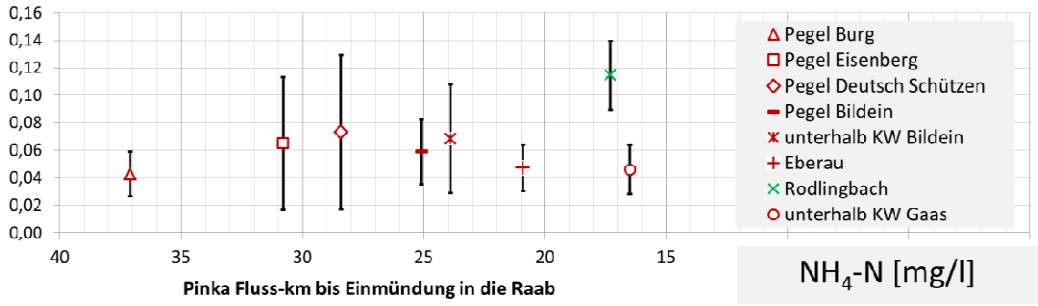


Abb. 15: Mittelwerte von PO_4-P (oben) und NH_4-N (unten) mit Standardabweichung aller Messungen aus 2013 und 2014 bei den Messorten über die Fließstrecke.

Tabelle 1 zeigt als Übersicht eine Zusammenfassung der Qualitätsziele laut den Qualitätszielverordnungen und die gemessenen Werte beim Pegel Burg (KZM 37) und im Rückstaubereich bei Bildein (KZM 25). Es ist bei keinem Parameter eine Verfehlung festzustellen. Einzig die Wassertemperatur ist aktuell für diese Fischregion als grenzwertig für den guten Zustand anzusehen.

Tab. 1: Qualitätsziele laut QZV[1)] vs. gemessene Werte beim Pegel Burg (KZM 37) und bei Bildein (KZM 25). Fischregion: Epipotamal mittel, Bioregion: Östliche Flach- und Hügelländer.

Parameter	Einheit	Qualitätsziele [2)]	Messwertebereiche
WTemp. (98%Perz.)	[°C]	22 (sehr gut) - 26 (gut)	13 - 26 (Burg) 13 - 25 (Bildein)
O2-Sätt. (90%Perz.)	[%]	80 - 120	96 - 107 (Burg) 85 - 98 (Bildein)
DOC (90%Perz.)	[mg/l]	4,0 (sehr gut) - 6,0 (gut)	2,6 - 2,8 (Burg + Bildein)
pH-Wert (90%Perz.)	[--]	6 - 9	7,8 - 8,2 (Burg) 7,7 - 7,9 (Bildein)
PO4-P (90%Perz.)	[mg/l]	0,07 (sehr gut) - 2,0 (gut)	0,07 - 0,08 (Burg + Bildein)
NO3-N (90%Perz.)	[mg/l]	4,0 (sehr gut) - 7,0 (gut)	1,5 - 2,0 (Burg + Bildein)
NH4-N 2)	[mg/l]	0,3 - 0,8 (Burg) 0,5 - 0,8 (Bildein)	0,06 - 0,14 (Burg + Bildein)
Chlorid (Mittelwert)	[mg/l]	150	22 - 27 (Burg + Bildein)

[1)] Qualitätszielverordnung für Chemie Oberflächengewässer (BGBl. 96/2006 i.d.g.F) und Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (BGBl. II Nr. 99/2010 i.d.g.F).
[2)] Umweltqualitätsnorm (UQN) in Abhängigkeit von pH-Wert und Wassertemperatur.

Hydraulische Situation – Bestand (AP3)

Für die Ermittlung der derzeitigen hydraulischen Situation bei Niederwasserabflüssen wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt ein 2D-Abflussmodell aus den geometrischen Eingangsdaten, einschließlich eines Laserscans kreiert. Anschließend wurde das Abflussgeschehen bei Niederwasser unter Verwendung des im Arbeitspaket Hydrologie festgelegten Niederwasserabflusses mit dem Programm MIKE Flood simuliert.

Abbildung 16 zeigt ein Beispiel der 2D Simulation. Die hydrodynamische Abflusssimulation des Niederwasserabflusses (bei Q_{95} = 0,7 m³/s) zeigt, dass für den untersuchten Pinkaabschnitt folgende typische Fließbereiche unterschieden werden können:

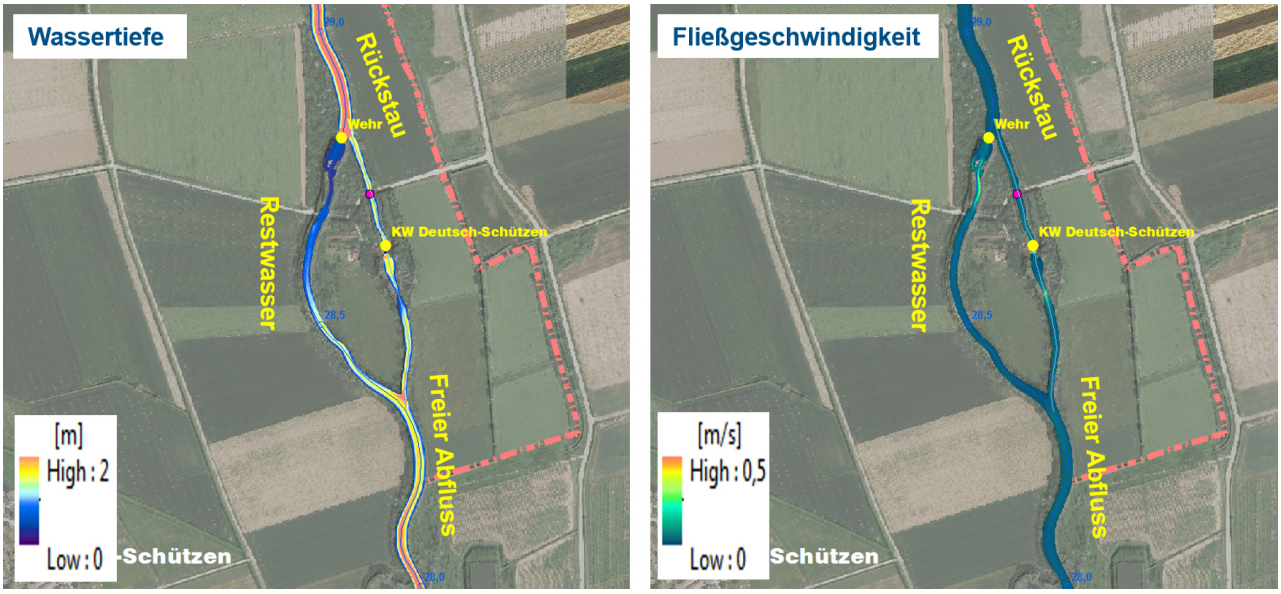


Abb. 16. Luftbildplan mit Wassertiefen (links) und Fließgeschwindigkeiten (rechts) bei Niederwasserabfluss.

- Aufstauzonen in den Rückstaubereichen stromauf der Kraftwerke. Die angetroffenen Wasserspiegellagen sind rückreichend bis zur Stauwurzel nahezu horizontal und hängen unmittelbar von der Einstellung der jeweiligen Stauanlage bei jedem Kraftwerk ab. Die auftretenden Wassertiefen reichen daher von ca. 0,3 m (bei der Stauwurzel) bis zu 3,0 m (abhängig von der jeweiligen Wehrhöhe). Die Fließgeschwindigkeit in den Rückstaubereichen ist äußerst gering, sie ist abhängig von der aufgestauten Wassertiefe und geht im Bereich unmittelbar vor den Kraftwerken bis auf nahezu Null herunter.
- Freispiegelabfluss in den Fließstrecken stromab der Kraftwerke bis zum Beginn des nächsten Rückstaubereichs. In diesen Fließstrecken stellen sich die Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten entsprechend den Fließgesetzen von Manning-Gauckler-Strickler ein. Typische Werte für die Wassertiefe liegen bei 0,2 – 0,3 m, die Fließgeschwindigkeiten liegen im Bereich von 0,2 – 0,3 m/s.
- Restwasserstrecken führen im Niederwasserfall nur sehr geringe Wassermengen, die stark vom aktuellen Betriebszustand des jeweiligen Kraftwerkes abhängen.

Modellierung der aktuellen Wassertemperatur und Wasserqualität (AP4)

Wassertemperatur

Mittels der neu veröffentlichten HEAT SOURCE vers. 9 wurden die Energieflüsse im Projektgebiet, sowie die Hydraulik und die Wassertemperatur simuliert. Die Simulation der Strahlungsbilanz und der Wassertemperatur mit HEAT SOURCE für die Anwendung für das Projekt wurde mittels Messungen aus WP2.4 validiert (Abbildung17).

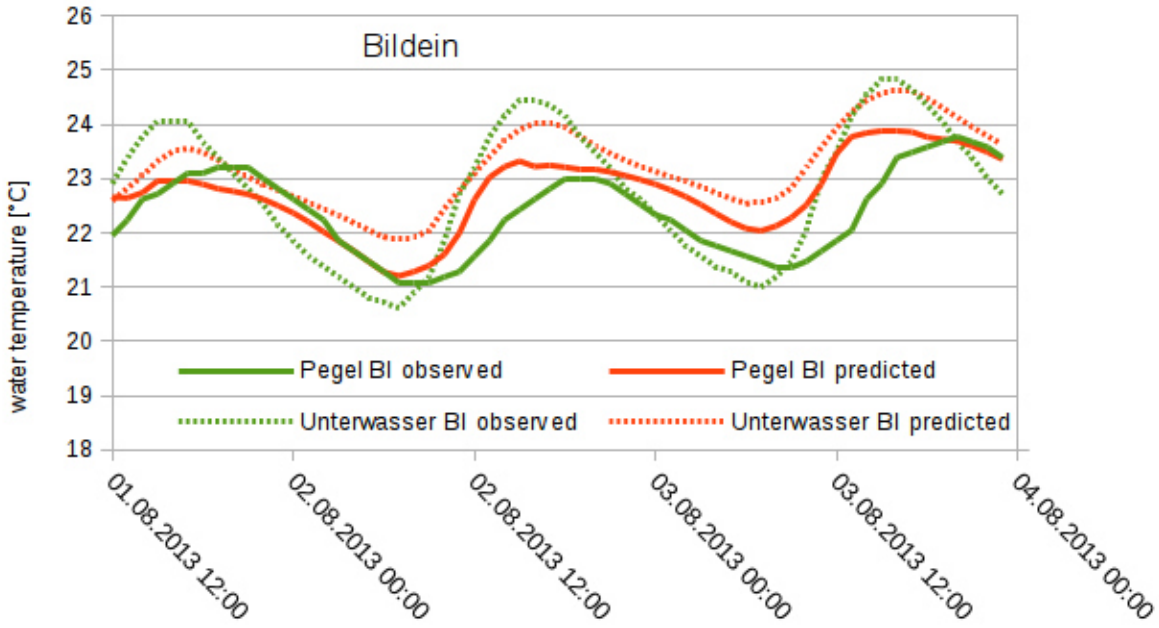


Abb. 17: Simulierter und gemessene Wassertemperatur für Pegel Bildein (KZM 24) und Unterwasser Bildein (KZM 23) während Niederwasserbedingungen 0.7 bis 0.85m³/s

Der Vergleich zwischen simulierter und gemessener Wassertemperatur für Pegel Bildein (KZM 25) und Unterwasser Bildein (KZM 24) wird in Abbildung 18 gezeigt. Die meisten Abweichungen zwischen Model und Messung liegen innerhalb der ermittelten Ungenauigkeiten von Model durch

Fortpflanzung der Ungenauigkeit der Inputparameter von +1.9/-2.1°C ([10]Trimmel et al. 2015). Modellsimulationen zeigen, dass neben dem Fließvolumen, und der Breite des Gewässers, die Vegetation die Wassertemperatur stark beeinflussen kann. Modellsimulationen zeigen, dass an manchen Stellen der Pinka, ein völliges Entfernen der Ufervegetation, verglichen zu Szenarien mit maximaler Vegetation (maximale Dichte und Überhang) zu Temperaturerhöhungen von bis zu 7°C während der Nachmittagsstunden führen würde.

Wasserqualität

Neben dem gelösten Sauerstoff ist Ammonium ein kritischer Parameter im Gewässer. Die Umweltqualitätsnorm für Ammonium (UQN_{NH4-N}) nach der Qualitätszielverordnung für Chemie Oberflächengewässer (BGBl. 96/2006) wird durch die aktuellen Bedingungen im Gewässer hinsichtlich pH-Wert und Temperatur beschrieben (Abbildung 18 oben). Daraus lässt sich anschließend nach UBA (1996) die maximal zulässige Ammoniakkonzentration (NH_3-N) berechnen (Abbildung 18 unten).

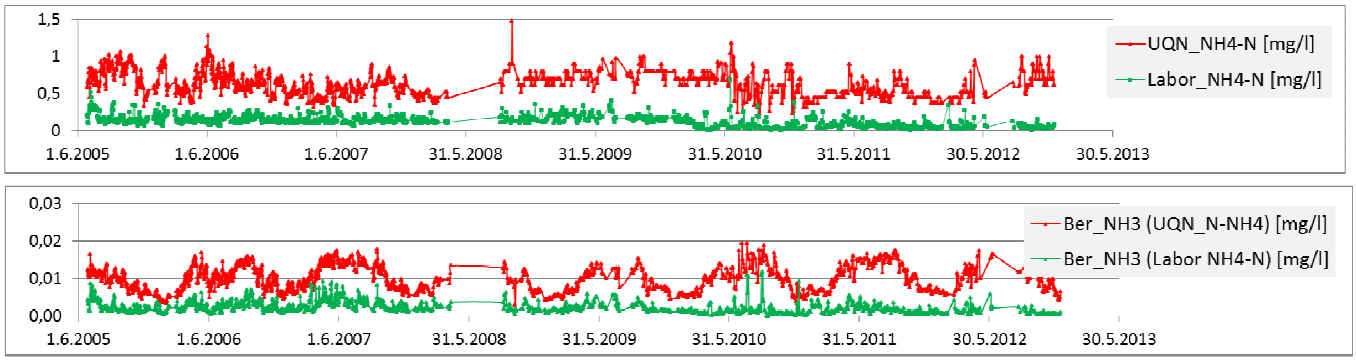


Abb. 18: Oben: NH_4-N Tageswerte aus Laboranalysen sowie berechnete UQN für NH_4-N (BGBl. 96/2006) beim Pegel Burg. Daten: Gewässeraufsicht Burgenland und Hydrographischer Dienst Burgenland. **Unten:** Nach UBA (1996) berechnete Ammoniakkonzentration aus den Laborwerten für NH_4-N sowie maximal zulässige Ammoniakkonzentration anhand der UQN für NH_4-N.

Die UQN_{NH4-N} betrug während der eigenen Messungen im Jahr 2013 beim Pegel Burg (KZM 37) 0,3 - 0,8 mg/l und bei Bildein (KZM 25,2) 0,4 - 0,8 mg/l.

Bei der immissionsseitigen Betrachtung von punktuellen Abwassereinleitungen in ein Gewässer werden nach dem BWK Merkblatt Nr. 3 (BWK, 2004) die Stoffkenngrößen Sauerstoffgehalt (O_2) und Ammoniakkonzentration (NH_3-N) beurteilt. Es ist dabei nachzuweisen, dass die Sauerstoffkonzentration mindestens 5,0 mg/l, die Ammoniakkonzentration höchstens 0,1 mg/l beträgt.

Koppelung Wassertemperatur und Wasserqualität

Die Kopplung des verwendeten Wasserqualitätsmodelles (siehe Methodik zum AP4) in diesem Arbeitspaket erfolgte einerseits durch die Fließgeschwindigkeit und die Wassertiefe aus der

[10] TRIMMEL H., GANGNEUX C., KALNY G., MICHIE R., WEIHS P. (2015): Influence of meteorological components on stream temperature and simulation accuracy under heat wave conditions. Eingereicht bei: Meteorologische Zeitschrift.

Abflussmodellierung (AP3) sowie den Wassertemperaturen und den Strahlungswerten auf die Gewässeroberfläche aus dem HEAT SOURCE Modell (WP4).

Hydraulische und Klimaszenarien (AP5)

In Abbildung 19 werden die zukünftigen Inputparameter für das gekoppelte Wassertemperatur – Wasserqualitätsmodell, aus dem Klimamodel Aladin dargestellt. Die Globalstrahlung zeigt nur geringe Änderungen, auch Windgeschwindigkeit und Luftfeuchte zeigt keinen klaren Trend. Sowohl Zunahmen als auch Abnahmen sind zu erwarten. Die Lufttemperatur steigt geringfügig bis 2030 und hat einen deutlichen Anstieg der Minimum-, Mittel- und Maximaltemperatur von etwa 4°C während Hitzeevents.

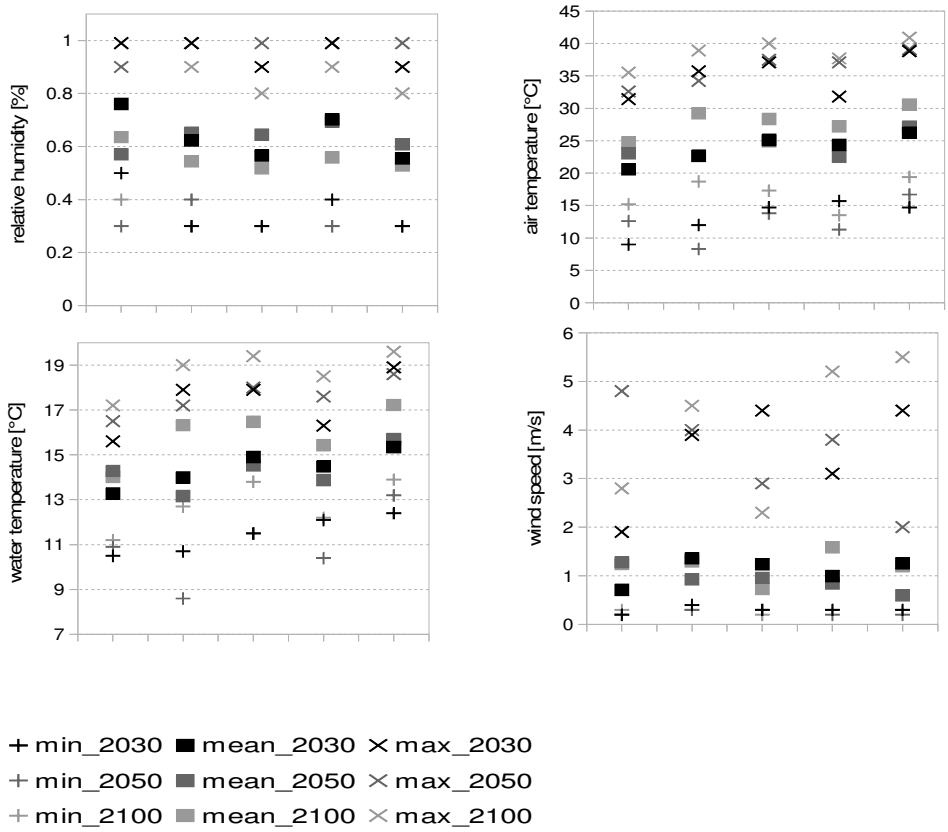


Abb. 19: Inputparameter relative Luftfeuchte, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit (KZM 61) und Wassertemperatur (KZM 89) für das gekoppelte Wassertemperatur-Wasserqualitätsmodell, gemittelt für die ausgewählten Episoden 1a (= einjähriges), 5a (=5 jähriges), 20a (= 20 jähriges), 2003 (wie 2003) und maximales Hitzeevent in den zukünftigen Perioden 2030 (2016-2045), 2050 (2036-2065) und 2100 (2070-2100).

Ebenso wurde für den Untersuchungsabschnitt an der Pinka mit Hilfe eines Klimamodelles die zukünftige Entwicklung der Niederwasserabflüsse abgeschätzt. Dabei zeigte sich, dass grundsätzlich für die nächsten Jahrzehnte im Mittel mit keiner signifikanten Veränderung der Abflussmenge zu rechnen ist (Q_{95} = 0,7 ³/s). Für die Durchführung der Szenarienberechnung wurden daher die Extremwerte der Auswertung der Klimamodelle herangezogen (Q_{min} = 0,4 m³/s und Q_{max} = 2,0 m³/s).

Nach einer erneuten Simulation des Niederwasserabflusses mit dem 2D Modell MikeFlood mit den ausgewählten Abflusswerten aus dem Klimamodell zur Abschätzung des künftigen Abflussgeschehens innerhalb der angegebenen Bandbreite. Es ergeben sich geringfügige Veränderungen des Fließzustandes im Niederwasserfall für die ermittelten zukünftigen Abflüsse, diese sind von der Lage im Flusslauf abhängig:

- In den Rückstaubereichen sind die ermittelten zukünftigen Wasserspiegellagen nahezu ident mit der derzeitigen Situation, d.h. sie folgen der jeweiligen Einstellung an den Wehranlagen der Kraftwerke.
- In den freien Fließstrecken stellen sich entsprechend dem Fließgesetz nach Manning-Gauckler-Strickler Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten entsprechend der angebotenen Wassermenge ein. Im Falle des ersten Szenarios (Q = 0,4 m³/s) sind die Wasserspiegel etwas geringer als derzeit (0,15 – 1,25 m), im zweiten Szenario (Q = 2,0 m/s) steigt er geringfügig an (0,35 – 0,5 m).

Der meteorologische und hydrologische Input, wie oben beschrieben, wurde verwendet, um die zukünftige Wassertemperatur entlang der Pinka an Niederwasserbedingungen mittels dem verbessertem Model HEAT SOURCE zu berechnen. Die vorhergesagte Wassertemperatur ändert sich gleichmäßig entlang des Flusses. Für mMinimum-, mMittel- und mMaximum Wassertemperaturen wird von 2030 auf 2080 ein Anstieg von mehr als 2°C während extremer Hitzeevents bis 2080 erwartet, was über den maximalen Ungenauigkeiten des Modells liegt. Bis 2050 steigen die Wassertemperaturen jedoch nur gering an (Abbildung 22 oben). Werden verschiedene Vegetationsszenarien angenommen (STQ – Status quo; V0 – keine Vegetation, V100 – volle Vegetation entlang des gesamten Abschnittes), kommt es zu Wassertemperaturänderungen entsprechend der Vegetationsdichte.

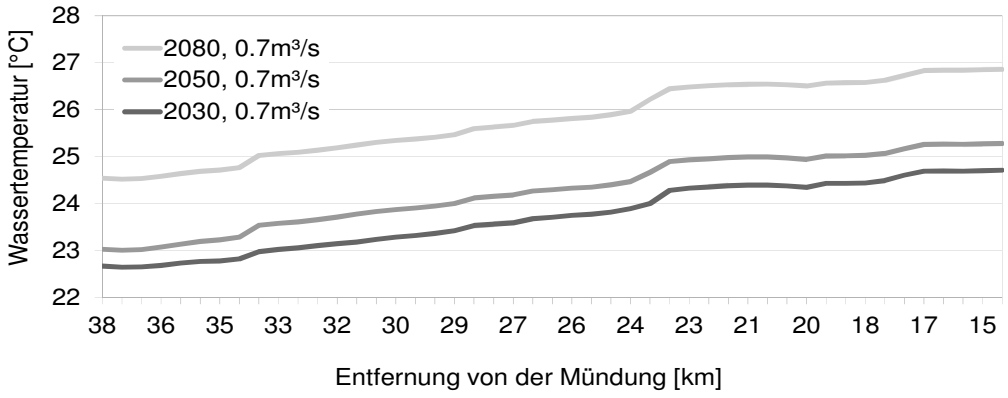


Abb. 20: Mittlere vorhergesagte Wassertemperatur für das maximale 5 Tages Hitzeevent der Perioden 2030, 2050 und 2080 entlang der Pinka für unterschiedliche Niederwasserbedingungen (0.7 m³/s)

Es wurden für die Zukunftsszenarien bezüglich der Wasserqualität die Perioden vom 13.07.2074 bis 17.07.2074 und 29.07.2080 bis 02.08.2080 gewählt. Dabei erfolgte eine Korrektur der Wassertiefen und der Fließgeschwindigkeit anhand der Berechnungen aus dem Hydraulikmodell mit 400 l/s. Die klimatischen Auswirkungen entsprechen einer Erhöhung der aktuellen Wassertemperatur in der Vergleichsperiode Mitte Juli in Burg (KZM 37,1) um ca. 2,7°C (21,5°C in 2013), in Bildein (KZM 25,2) um 4,8°C (21°C in 2013) und in Gaas (KZM 16,6) um 5,6°C (20,5°C

in 2013). In Abbildung 21 sind zwei Beispiele für die Entwicklung der zukünftigen Wassertemperatur in Bildein (KZM 25,2) angeführt, welche z.B. als Eingangsgrößen in das Wasserqualitätsmodell eingehen.

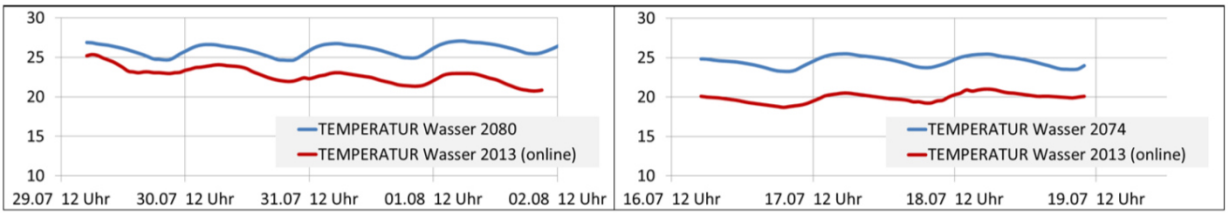


Abb. 21: Beispiel: Vergleich der Entwicklung der Wassertemperaturen in Bildein (KZM 25,2) anhand der Klimamodelle. **Links:** Mitte Juli 2013 mit Daten von 2074. **Rechts:** Ende Juli 2013 mit Daten von 2080.

Abbildung 22 zeigt unter Berücksichtigung der Zukunftsszenarien aus dem Jahr 2074 einen Vergleich der gemessenen (2013_online) zu den modellierten (2074_sim) Sauerstoffkonzentrationen und pH-Werten.

Der Sauerstoffgehalt verringert sich durch einen Anstieg der Wassertemperatur um 2,7°C nur alleine aufgrund der resultierenden geringeren Löslichkeit um 0,4 bis 0,5 mg/l. Dies alleine ergibt jedoch keine realistische Abbildung der zukünftigen Situation bzgl. der modellierten Parameter. Es erfolgte daher zusätzlich eine leichte Anpassung der Startparameter, sowie eine Erhöhung der pflanzlichen Biomasse um 6% (Burg KZM 37) bzw. 17% (Bildein (KZM 25) und Gaas (KZM 16)). Dies kann durch einen höheren Stoffumsatz und Produktionsrate in den Rückstaubereichen gerechtfertigt werden.

Ein weiterer Effekt in Abbildung 25 ist durch den Anstieg des pH-Werts um 0,3 bis 0,6 pH-Einheiten zu bemerken. Die UQN_{NH4-N} würde sich bei einer Erhöhung der Wassertemperatur um 2,7°C bei Burg auf 0,2 bis 0,6 und bei Bildein (KZM 25,2) auf 0,3 bis 0,6 mg/l verringern. Die daraus abgeleiteten Ammoniakkonzentrationen von maximal 0,02 mg/l liegen jedoch weiterhin unter dem Grenzwert von 0,1 mg/l nach BWK (2004).

Am 31.07.2013 wurde eine maximale Wassertemperatur im Staubereich von Bildein (KZM 25,2) in der Höhe von 25,5°C gemessen (Abbildung 21 rechts). Um die Auswirkungen der Klimamodelle während einer solchen Periode zu untersuchen, wurde mit den Werten der oben genannten Zukunftsszenarien die Parameter O_2 und pH-Wert neu berechnet. Die in Abbildung 23 gezeigten Ergebnisse dieser Berechnung zeigen einen kritischen Abfall von den gemessenen Sauerstoffkonzentrationen von 5 mg/l (am 31.07.2013) auf 4 mg/l (bei einer angenommenen Wassertemperatur von 28,8°C in 2080). Dies entspricht einer weiteren Verschärfung der Lebensbedingungen für z.B. Fische.

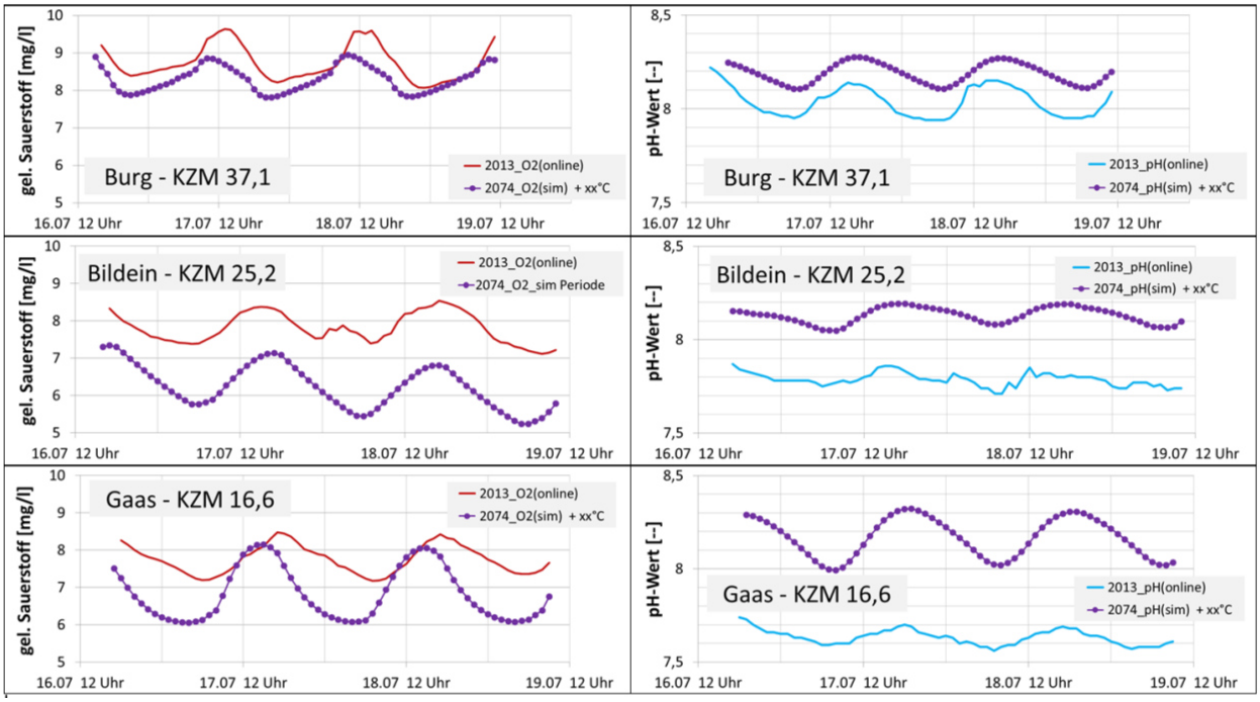


Abb. 22: Berücksichtigung des Szenarios aus dem Jahr 2074: Vergleich der gemessenen (2013_online) und modellierten (2074_sim) Sauerstoffkonzentrationen (**links**) und pH-Werte (**rechts**); Oben: Pegel Burg (KZM 37,1) Mitte: Im Rückstaubereich des KW Bildein (KZM 25,2) Unten: unterhalb des KW Gaas (KZM 16,6).

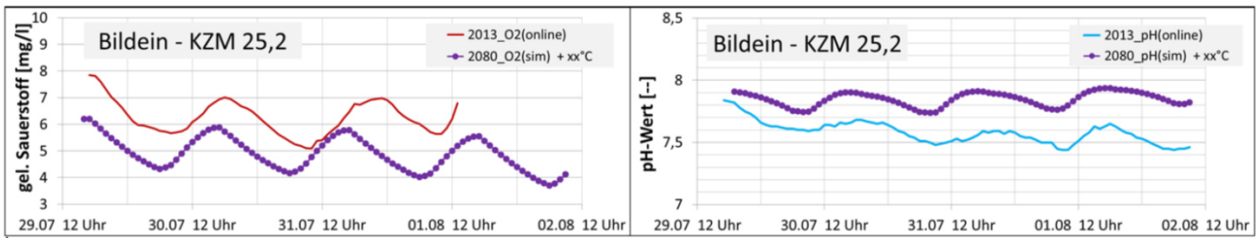


Abb. 23: Vergleich der modellierten Sauerstoffkonzentrationen und pH-Werte in Bildein mit gemessenen Werten aufgrund der Klima- und Abflussdaten von 2080 (beide Perioden von Ende Juli).

Niederwassermanagement Strategien (AP6)

Im pannonischen Tiefland im Südosten von Österreich treten Niederwasserperioden vor allem im Sommer auf. Aufgrund der höheren Verdunstung im Sommer kommt es durch kleine regionale Niederschlagsereignisse nur zu einem geringfügigen Oberflächenabfluss. Insbesondere unter dem Aspekt des Klimawandels, haben längere Dürreperioden das Potenzial, die Dauer der Niederwasserereignisse zu verlängern, die Lufttemperatur wird sich bis zum Ende des Jahrhunderts bei extremen Hitzeevents um etwa 4°C erhöhen. Folglich werden voraussichtlich auch die Wassertemperaturen ansteigen (etwa 2°C). Daher ist eine Niederwasserstrategie wichtig für alle Flussmanager. Das Niederwassermanagement sollte dieselbe Aufmerksamkeit und Qualität besitzen wie das Hochwassermanagement. Im Folgenden werden spezifische Aspekte der wissenschaftlichen Arbeit von LOWFLOW+ zusammengefasst:

- Der Betrieb der Kraftwerke muss neben der energiewirtschaftlichen Leistung alle ökologischen Belange berücksichtigen.
- Besteht eine Kraftwerkskette, müssen diese untereinander koordiniert und aufeinander abgestimmt sein.
- Die Dimension der Kraftwerke (Turbine) muss an Flussgröße und erwarteten Niederwasserabfluss angepasst sein.
- Private Wasserentnahmen in den vorgefundenen üblichen Mengen haben keinen signifikanten Einfluss. Vorsicht ist jedoch bei größeren Entnahmen (z.B. für Kühlzwecke oder landwirtschaftliche Bewässerung) geboten.
- Niederwassermodellierungen sind zukünftig unbedingt erforderlich, wodurch ein dichteres Pegelstellennetz vorhanden sein muss.
- Um unnötigen Stress für das Ökosystem zu vermeiden, sind kontaminierte Zuflüsse und Abflüsse auf einer lokalen Ebene zu betrachten.
- Es muss sorgfältig überprüft werden, ob sämtlich lokale Maßnahmen Auswirkungen auf den Wasserstand haben (z.B: Fischtreppe, Wehr, Wasserkraftwerk oder Buhnen) keine negative Auswirkungen auf die Umwelt.
- Grundwasser ist ein maßgeblicher und zu berücksichtigender Parameter für ein Niederwassermanagement.
- Zukünftige Niederwasserperioden beeinflussen auch Landwirtschaft, Tourismus, Fischerei ... Diese müssen daher in eine überregionale Gesamtstrategie eingebunden werden.
- Unter Berücksichtigung der Klimaerwärmung in Verbindung mit häufigem Niederwasser, ist die Beschattung und eine gut strukturierte Flussmorphologie für eine intakte Fließgewässerökologie dringend erforderlich.
- Die Flussmorphologie beeinflusst die täglichen Amplituden der Wassertemperatur und die physikalische Wiederbelüftung durch die unterschiedlichen Strömungsbedingungen. Phytoplankton hat im Fließgewässer bei Niederwasser aufgrund der zu diesem Zeitpunkt verringerten physikalischen Wiederbelüftung einen Einfluss auf die Selbstreinigungskraft des Gewässers. Es erfolgt ein biologischer Sauerstoffeintrag am Tag, der jedoch in der Nacht durch Atmung teilweise wieder aufgezehrt wird.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das Verstehen und die Quantifizierung der Fließgewässerprozesse ist Grundlage für ein Niederwassermanagement. Das lokale Klima, die Flusshydrologie und –morphologie sind Haupteinflussfaktoren für Wassertemperatur und Wasserqualität, welche eine große Rolle für das Funktionieren des Ökosystems Fluss spielen. Besonders unter dem Blickpunkt des Klimawandels werden zukünftig Trockenheitsperioden zunehmen und damit Niederwasserperioden ausdehnen. Bis zum Ende dieses Jahrhunderts wird im Projektgebiet voraussichtlich die Lufttemperatur um etwa 4°C und die Wassertemperatur um bis zu 2°C während extremer Hitzeperioden zunehmen. Minima-, Mittel- und Maximaltemperaturen sind diesbezüglich gleich betroffen. Durch flussbauliche Maßnahmen, lassen sich u.a. die Wassertiefe und das Wasservolumen verändern und somit auch die thermische Trägheit des Gewässers. Dies könnte mit einer Wiederherstellung einer natürlichen Ufervegetation dazu beitragen, extreme Wassertemperaturen zu verhindern.

Der gegenständliche Untersuchungsabschnitt an der Pinka ist geprägt von einer Kette von 7 Kraftwerken. Bei 6 Kraftwerken wird das Wasser über einen Werkskanal aus der Pinka aus- und wieder eingeleitet. Entsprechend gibt es hier Restwasserstrecken, die über Wehranlagen beschickt werden. Ein Kraftwerk (KW Pernau) wird als Laufkraftwerk im Hauptschluss betrieben.

Der Abstand zwischen den Kraftwerken ist teilweise so gering, dass unmittelbar stromab bereits die Stauwurzel des nächsten Kraftwerkes liegt. Dementsprechend stellen sich bei Niederwasserabflüssen Wassertiefen ein, die nicht einem freien Gerinneabfluss entsprechen, sondern durch die eingestellten Stauziele an den Wehranlagen beeinflusst sind. In diesen Bereichen ist daher auch die Fließgeschwindigkeit bei Niederwasser extrem gering. Die Arbeitsweise der Kraftwerke richtet sich derzeit ausschließlich nach dem aktuellen Wasserdargebot bzw. der Nachfrage an Elektrizität (Einspeisung ins Netz). Laut Recherche gibt es zwischen den einzelnen Kraftwerken keinen vertraglich geregelten bzw. koordinierten Kraftwerksbetrieb, dh. jeder Kraftwerksbetreiber entscheidet für sich, wann, mit welcher Leistung und wie lange eine Turbine in Betrieb ist. Eine Anfrage an die Kraftwerksbetreiber bezüglich der jeweiligen Betriebsweise bzw. Aufzeichnungen über abgelaufene Ereignisse wurde durchgeführt, konnte aber aufgrund der geringen Auskunftslage nicht ausgewertet werden.

Seitens der Gemeinden wird der Verdacht geäußert, dass es im untersuchten Pinkaabschnitt in Trockenwetterperioden verstärkt zu konsenslosen Wasserentnahmen aus der Pinka für die Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen bzw. Obstplantagen kommt. Im Zuge der Begehungen und der Durchführung des Messprogramms konnte eine diesbezügliche Beobachtung nicht gemacht werden. Für eine detaillierte Bilanzierung der Wassermengen bei Niederwasserabfluss sollte eine längerfristige Abflussmessung, simultan an mehreren Flussquerschnitten und unter Einbeziehung der Kraftwerke erfolgen.

Im Flachland des Ostens sowie Südostens treten die Niederwässer vorwiegenden in den Sommermonaten auf. Durch die höheren Verdunstungsraten im Sommer tragen kleinere regionale

Niederschlagsereignisse durch die trockenen Oberböden nur unwesentlich zum Abflussgeschehen bei. Längere niederschlagsfreie Perioden verschärfen dadurch die Niederwassersituation.

Die Wassertemperatur wirkt sich stark auf die Vitalität der im Wasser lebenden Organismen und ihre Stoffwechselprozesse aus. Dies nicht nur deshalb weil, die Fauna - auf der Suche nach ihrem optimalen Lebensumfeld - aktiv oder durch Drift Wanderungen vollzieht, sondern auch weil die Geschwindigkeit der chemischen Prozesse beeinflusst wird. Ein Resultat davon ist die Förderung der Selbstreinigungskraft des Wasserkörpers, sowie die Reduktion organischen Materials durch eine höherere Temperatur. Diese Prozesse sind jedenfalls auch an obere Grenzen gebunden.

Ein wesentlicher Punkt ist sicherlich das Temperaturregime im Wasserkörper. Dies nicht nur deshalb weil, die Fauna - auf der Suche nach ihrem optimalen Lebensumfeld - aktiv oder durch Drift Wanderungen vollzieht, sondern auch weil die Geschwindigkeit der chemischen Prozesse beeinflusst wird. Maßgeblich beeinflusst wird die Selbstreinigungskraft der Oberflächengewässer durch erniedrigten Sauerstoffeintrag. Dies kann nur durch den Prozess der physikalischen Wiederbelüftung ausgeglichen werden.

Es wird davon ausgegangen, dass die in diesem Projekt nicht mitbeobachtete Hydrochemie die Wasserqualität der Pinka durch den Austausch (Exfiltration bzw. Infiltration) des Grundwassers mit dem Oberflächenwasser beeinflusst. Vor allem im unteren Teil des Abschnitts liegen die publizierten Konzentrationen mancher Grundwasserparameter über den gemessenen Konzentrationen innerhalb des Oberflächengewässers während dieses Projekts.

Falls sich die Bedingungen für die aktuell vorhandene Landwirtschaft maßgeblich verändern, wird sich auch die Bewirtschaftungsform der angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen daran anpassen. Dies könnte neben einem erhöhten Bewässerungsbedarf zu einer Veränderung der diffusen Belastungen des Wasserkörpers führen.

Kritische Situationen im Gewässer bzgl. des Chemismus bei Niederwasser können ausschließlich durch punktuelle Einleitungen entstehen. Da im Projektgebiet die Siedlungen mit den Mischwasserüberläufen (generelle Annahme: die Bauwerke wurden gemäß dem Stand der Technik errichtet) nahe am Gewässer liegen ist davon auszugehen, dass eine lokale Gewitterzelle auch den Abfluss der Pinka kurzfristig erhöht. Dies entschärft durch den folgenden Verdünnungseffekt schädliche Auswirkungen durch eine mögliche Mischwassereinleitung. Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass höhere Gewässerorganismen innerhalb des Rückstaubereichs, nicht nur aufgrund der zusätzlichen Verdünnung durch das gespeicherte Wasser, genügend biologische Nischen finden um kurzfristigen Abwasserfahnen auszuweichen.

Die ökologische Wirkung stofflicher Belastungen des Gewässers durch Einleitungen wird maßgeblich bestimmt durch die Häufigkeit und Dauer kritischer Konzentrationen des Sauerstoffs und toxischer Konzentrationen des Ammoniaks. Kritisch wird es, wenn die Einleitung auf geringe Abflussmengen treffen. Die Menge aus punktuellen Einleitungen aufgrund von Kläranlagen hat in dem Gewässerabschnitt nur einen geringen Anteil im Ausmaß von ca. 21.000 EW aufgeteilt auf 5

Kläranlagen, deren gesamte Ausleitungsmenge in etwa 1,5% bei einem Abfluss des Gewässers von 2,0 m³/s entspricht. Kritische Situationen im Gewässer bzgl. des Chemismus bei Niederwasser können ausschließlich durch punktuelle Einleitungen entstehen, wenn gleichzeitig ein positiver Verdünnungseffekt durch Regenwasser fehlt.

Die gesetzlichen Reinigungserfordernisse werden bei allen österreichischen Kläranlagen eingehalten. Es ist anzunehmen, dass auch die 10.000 EW auf ungarischer Seite ordnungsgemäß gereinigt werden. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen der chemischen Untersuchungen wider.

Es wird davon ausgegangen, dass die in diesem Projekt nicht mitbeobachtete Hydrochemie die Wasserqualität der Pinka durch den Austausch (Exfiltration bzw. Infiltration) des Grundwassers mit dem Oberflächenwasser beeinflusst. Vor allem im unteren Teil des Abschnitts liegen die publizierten Konzentrationen mancher Grundwasserparameter über den gemessenen Konzentrationen innerhalb des Oberflächengewässers während dieses Projekts.

Die Wassertemperatur wirkt sich stark auf die Vitalität der im Wasser lebenden Organismen und ihre Stoffwechselprozesse aus. So wird Selbstreinigungskraft des Wasserkörpers, die Reduktion organischen Materials durch Bakterien, bei höherer Temperatur gefördert. Diese Prozesse sind jedenfalls auch an obere Grenzen gebunden.

C) Projektdetails

6 Methodik

AP 2.1. Landnutzung im Projektgebiet und AP 2.2. Flussmorphologie

Dank der am Projekt mitarbeitenden MasterstudentInnen war eine ausführliche Aufnahme der Landnutzung, Flussmorphologie, der Ufervegetation und deren Beschattungswirkung im gesamten Projektgebiet von Burg (KZM 37) bis Moschendorf (KZM 15) möglich. Die Aufnahmen wurden in Erhebungen über den gesamten Längsverlauf in Abschnitten und in Detailaufnahmen im Querprofil unterschieden. Die Aufnahmemethode folgt großteils der Arbeit von Mallinger (2014)[11].

<u>Erhebungen über den gesamten Längsverlauf in Abschnitten</u>

Die 48 Abschnitte (Tabelle 2) gliedern sich nicht in gleich lange Strecken, sondern grenzen sich durch eine oder mehrere gegensätzliche Eigenschaften von einander ab (z. B. Abfluss, Vegetation oder Morphologie). Die Abschnittsgröße und -anzahl wurde an Hand von Orthofotos voreingeschätzt und vor Ort fixiert. Mit Hilfe eines Erhebungsbogens wurden folgende Charakteristika aufgenommen:

- Flusstyp, Flusslauf und Talform.
- Beeinflussung durch Wasserentnahme
- durchschnittliche Fließgeschwindigkeit, Fließverhalten (Stromstrich, Strömungsmuster), möglicher Stau und Querbauwerke dar.
- Morphologie im Längsverlauf, beschrieben durch eine fünfstufige Skala nach LEBENSMINISTERIUM (2010)[12] in folgenden Punkten beschrieben: Uferdynamik, Sohldynamik, Laufentwicklung, Substratzusammensetzung, Strukturen im Bachbett und Uferbegleitsaum – Vegetation
- Vegetationsbestand: Ausbreitung, die Höhe, der Bedeckungsgrad, Totholzanteil , vorhandene Schichten (Baum-, Strauch-, Krautschicht) und die Leitarten beschreiben die Zusammensetzung der Vegetation
- Der Grad der Beschattung definiert sich anhand einer Abschätzung des Überhanges der Vegetation über die Wasserfläche:
    - Die Vegetation ist geschlossen, volle Beschattung
    - Die Vegetation ist weniger als die halbe Wasserspiegelbreite offen
    - Die Vegetation ist mehr als die halbe Wasserspiegelbreite offen
    - Es besteht keine Beschattung

[11] MALLINGER A. (2014) :Gewässermorphologische Analyse der Pinka Grenzstrecke. Masterarbeit an der BOKU Wien

[12] LEBENSMINISTERIUM 2010: Leitfaden zur hydromorphologischen Zustandserhebung von Fließgewässern, Lebensministerium, Wien.

Die Kartierung des Längsverlaufes fand im Zeitraum von 12. bis 31. August 2013 statt. Die gesamte Grenzstrecke wurde dabei in Etappen zu Fuß oder mit dem Fahrrad bewältigt. Diese in den erhobenen Parametern homogenen Längsabschnitte charakterisieren die Pinka-Grenzstrecke.

Tab. 2: 48 Abschnitte zur flussmorphologischen Erhebung aus Mallinger, 2013. (FKM = DKZM)

Nr.	Name	KZM von	KZM bis	Länge (km)
1	Schluchtstrecke 1	37,19	36,88	0,31
2	Schluchtstrecke 2	36,88	36,61	0,28
3	Schluchtstrecke 3	36,61	35,45	1,16
4	Schluchtstrecke 4	35,45	34,34	1,11
5	Ausleitung Felsőcsatár	34,34	34,06	0,28
6	Unterwasser Felsőcsatár	34,06	34,01	0,05
7	Restwasser Felsőcsatár	34,34	34,01	0,33
8	Felsőcsatár 1	34,01	33,73	0,28
9	Pegel Felsőcsatár	33,73	33,65	0,08
10	Felsőcsatár 2	33,65	32,87	0,78
11	Staustrecke Vaskeresztes	32,87	31,88	0,99
12	Ausleitung Vaskeresztes	31,88	31,68	0,20
13	Unterwasser Vaskeresztes	31,68	31,55	0,13
14	Restwasser Vaskeresztes	31,88	31,55	0,33
15	Vaskeresztes 1	31,55	31,42	0,13
16	Vaskeresztes 2	31,42	30,78	0,65
17	Staustrecke Deutsch Schützen 1	30,78	29,36	1,42
18	Staustrecke Deutsch Schützen 2	29,36	28,86	0,50
19	Ausleitung Deutsch Schützen	28,86	28,63	0,23
20	Unterwasser Deutsch Schützen	28,63	28,30	0,33
21	Restwasser Deutsch Schützen	28,86	28,30	0,55
22	Staustrecke Pornóapáti 1	28,30	27,99	0,31
23	Staustrecke Pornóapáti 2	27,99	27,61	0,37
24	Staustrecke Pornóapáti 3	27,61	27,11	0,50
25	Pornóapáti 1	27,11	26,13	0,98
26	Staustrecke Bildein	26,13	25,25	0,88
27	Staustrecke Bildein	25,25	24,03	1,22
28	Ausleitung Bildein	24,03	23,88	0,15
29	Unterwasser Bildein	23,88	23,63	0,25
30	Restwasser Bildein	24,03	23,63	0,40
31	Bildein 1	23,63	23,03	0,60
32	Bildein 2	23,03	22,48	0,54
33	Bildein 3	22,48	22,32	0,17
34	Staustrecke Szentpéterfa	22,32	20,51	1,81
35	Ausleitung Szentpéterfa	20,51	19,63	0,88
36	Unterwasser Szentpéterfa	19,63	19,25	0,38
37	Restwasser Szentpéterfa	20,51	19,25	1,26
38	Staustrecke Gaas 1	19,25	18,22	1,02
39	Staustrecke Gaas 2	18,22	17,34	0,88
40	Ausleitung Gaas	17,34	17,19	0,15
41	Unterwasser Gaas	17,19	17,08	0,11
42	Restwasser Gaas	17,34	17,08	0,26
43	Gaas 1	17,08	16,62	0,46
44	Gaas 2	16,62	15,76	0,85
45	Gaas 3	15,76	15,28	0,48
46	Kurve Moschendorf	15,28	15,06	0,22
47	Moschendorf 1	15,06	14,84	0,22
48	Pegel Moschendorf	14,84	14,65	0,19

Detailaufnahmen im Querprofil

Im Aufnahmegebiet durchläuft die Pinka Abschnitte mit verschiedenen morphologischen Eigenschaften, zu deren Charakterisierung punktuelle Stellen zur Vermessung ausgewählt werden. Die geometrische Form, Flussbetteigenschaften (z. B. Gesteinsgrößen, Makrophyten), Fließverhalten und -dynamik und ausgewählte Umfeldfaktoren (z. B. Bewuchs, Beschattung) wurden an diesen Stellen aufgenommen.

Entlang der Fließstrecke wurden 21 Querprofile gesetzt, von denen sich 13 Profile auf österreichischem und acht auf ungarischem Staatsgebiet befinden. Eines der österreichischen Profile lag in einem Zubringer zur Pinka, dem Rodlingbach in der Gemeinde Gaas. Bei der Auswahl der Standorte wurde darauf geachtet, dass möglichst alle vorkommenden morphologischen

Eigenschaften mindestens einmal vermessen werden konnten. Speziell im Bereich der Kraftwerke waren verstärkt Messungen, um die Wasseraufteilung (Ausleitung, Restwasser) eruieren zu können. In den Pegelmessstellen (Burg (KZM 37), Felsőcsatár (KZM 34), Moschendorf (KZM 15)) erfolgten ebenso Aufnahmen, da die erhobenen Daten mit den Messdaten der Pegelstellen abgeglichen wurden. Die Aufnahmen wurden durch teilweise tiefe Wasserstände und Feinsediment auf der Flusssohle erschwert. In folgender Übersicht (Abbildung 24) sind alle 21 Querprofile dargestellt.

Nr	Name	Staats-gebiet	KZM
1	Pegel Burg	AT	37,19
2	Restwasser Felsőcsatár	HU	34,31
3	Pegel Felsőcsatár	HU	33,69
4	Restwasser Vaskeresztes	HU	31,72
5	Vaskeresztes Ort	HU	31,33
6	Pegel Eisenberg	AT	30,85
7	Ausleitung Deutsch Schützen	AT	-
8	Kraftwerk Pornóapáti	HU	26,98
9	Südlich Pornóapáti	HU	26,25
10	Restwasser Bildein	AT	23,86
11	Ausleitung Bildein	AT	-
12	Bildein	AT	23,58
13	Südlich Bildein	AT	22,74
14	Restwasser Szentpéterfa	HU	20,12
15	Szentpéterfa	HU	19,05
16	Rodlingbach (Zubringer)	AT	-
17	Restwasser Gaas	AT	17,21
18	Gaas	AT	17,03
19	Südlich Gaas	AT	16,27
20	Kurve Moschendorf	AT	15,17
21	Pegel Moschendorf	AT	14,65

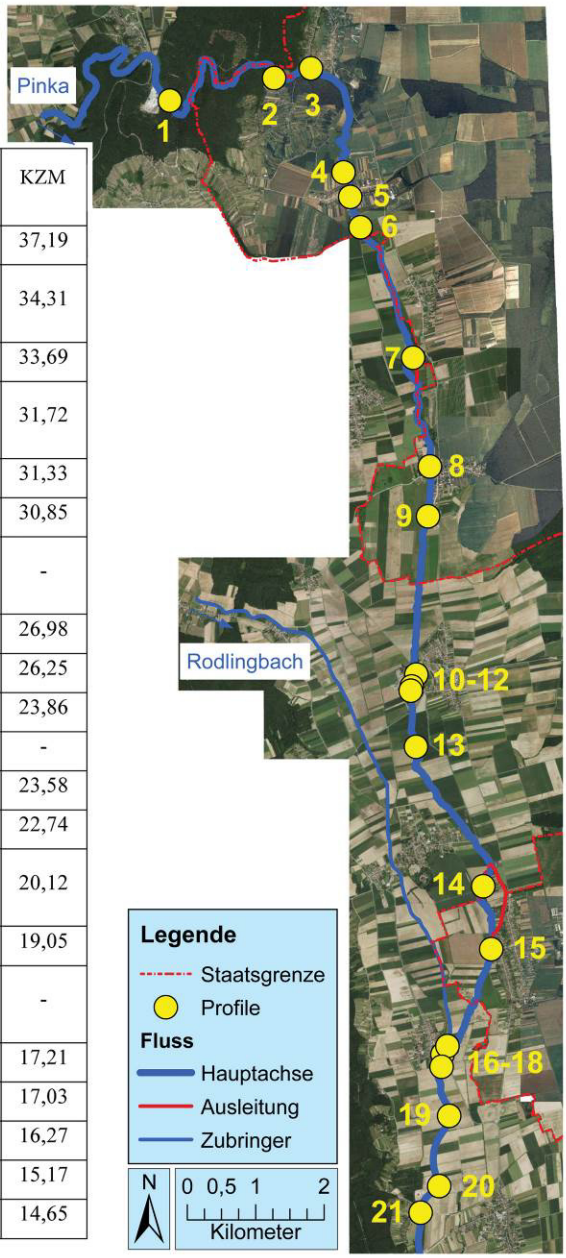


Abb. 24: Pinka-Grenzstrecke (Orthofotos: Amt der Burgenländischen Landesregierung, 2010; West-Transdanubische Wasserdirektion, 2007) (Mallinger, 2014)

Drei der Querprofile liegen nicht auf der Pinka-Hauptachse, sondern auf Ausleitungen oder Zubringern und zeigen daher keine Flusskilometerzahl auf.

An den Profilen wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Vermessung der Geometrie mit dem Nivelliergerät (Leica NA820)
- Erhebungsbogen Gewässerstrukturen zu den Strukturmerkmalen im Gewässer und deren Ausprägungen.

    - Charakterisierung bezüglich Flusstyp, Flusslauf und Talform
    - Verzahnung von Flusssohle und Böschung (linkes und rechtes Ufer)
    - mögliche Staubeeinflussung
    - Laufentwicklung anhand einer fünfstufigen Skala bewertet
    - Zusammensetzung der Choriotope und ihre Verteilung im Querprofil mittels Prozentangaben
    - Lichtraum und Überhang
    - Zusammensetzung der Vegetation (Ausbreitung, Höhe und Bedeckungsgrad)
    - Dichte der Vegetationsschichten (Baum-, Strauch-, Krautschicht)
    - Leitarten

- Sonnenkompass (Horizontoskop): Der Sonnenkompass zeigt an, zu welchen Tagesstunden Sonnenstrahlen (an einem ungetrübten Tag) ungehindert auf die gemessene Stelle fallen, beziehungsweise wie groß die Schattenwirkung durch die Umgebung ist. Die Sonnen- und Schattenstunden können für ein ganzes Jahr, für jeden Monat oder einzelne Stunden im Tagesverlauf (Abbildung 25) separat abgelesen werden. Die Auswertung wurde für den ganzen Tag und die Mittagszeit (10.00 Uhr bis 14:00 Uhr MEZ durchgeführt).

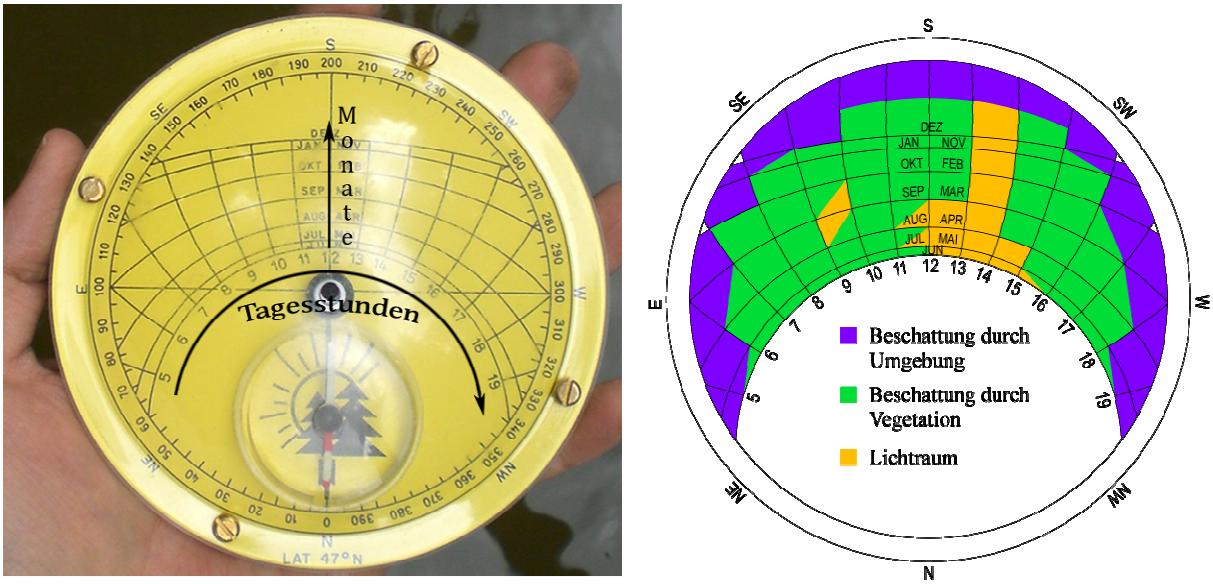


Abb. 25: links: Sonnenkompass; **rechts:** Auswertung Sonnenkompass (Gaas (KZM 17) 2013). Mallinger, 2014)

Die Messungen fanden im Zeitraum von 12. bis 19. Juli 2013 und von 30. und 31. Juli 2013 statt. Die 2. Periode war eine Niederwasserperiode.

AP 2.3. Hydrologie

Die Arbeitsschritte dieses Arbeitspaketes waren wie folgt:

- Messprogramm vor Ort an den Profilen von AP 2.2 (Abbildung 25). Fließgeschwindigkeitsmessung mit dem Flo-Mate 2000. Der Flo-Mate kann Strömungsgeschwindigkeiten zwischen -0,15 m/s und +6 m/s messen. Die Messgenauigkeit wird vom Hersteller mit +/- 2 % des abgelesenen Wertes angegeben (Marsh-McBirney, 1990[13]). Diese wurden mehrmals im Profil durchgeführt (Abbildung 26)

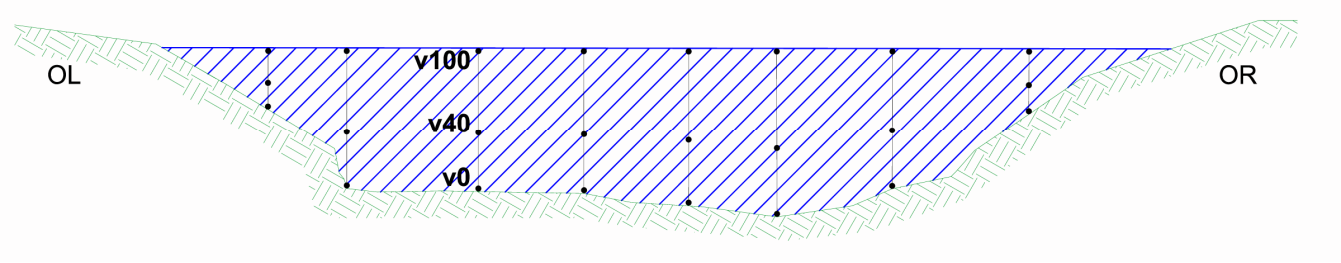


Abb. 26: Fließgeschwindigkeitsmessung im Querprofil (OL = orographisch links; OR = orographisch rechts) an der Pinka Grenzstrecke Aus Mallinger, (2014)

- Erhebung der Pegeldaten der Amtlichen Gewässerpegel im Untersuchungsgebiet (2 Messstellen: Pegel Burg und Pegel Moschendorf). Seitens des Hydrographischen Dienstes Burgenland wurden für diese Pegel langjährige Zeitreihen (1998 – 2012) zur Verfügung gestellt. Ebenso erhielten wir Daten vom Wasserbau Burgenland für den Pegel Felsöcsatar.
- Ermittlung von Abflussdauerlinien aus den Abflussaufzeichnungen der Gewässerpegel
- Entwicklung des Hydrologischen Längenschnitts der Pinka bei Niederwasserabflüssen, basierend auf den hydrologischen Daten des Hydrographischen Dienstes Burgenland und Messungen vor Ort.
- Auswahl bzw. Festlegung eines durchschnittlichen Niederwasserabflusses an Hand der Dauerlinien. Als Berechnungsbasis für die nachfolgenden Arbeitspakete (hydrodynamische Simulation) wurde ein Abfluss von 0,7 m³/s (= Q95) ausgewählt.
- Erhebung und Auswertung der verfügbaren Kraftwerksdaten
- Erhebung von Wassernutzungen und Wasserentnahmen (bewilligte von entsprechenden Behörden in Österreich (Landesregierung Burgenland, Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft, Wasserbuch) und Ungarn (West-Transdanubische Umwelt, Naturschutz und Wassermanagement Aufsicht))

[13] MARSH-McBIRNEY, 1990: FLO-MATE – Model 2000 Portable Flowmeter. Instrution manual, Frederick.

AP 2.4. Meteorologie – Wassertemperatur und Mikroklima

Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wurde an 13 Stellen an der Pinka sowie ihrem Zufluss dem Rodlingbach im gesamten Projektgebiet in einem Zeitraum von ca. einem Jahr (Juli 2013 bis März 2014) – so dass die wärmsten Sommermonate von 2 Jahren des Jahres 2013 enthalten sind – gemessen. Die Messstandorte wurden so gewählt, dass an allen Pegelmessstellen sowie an Kraftwerken im Unterwasser und Restwasserbereich referenzkräftige Sensoren platziert wurden (Abbildung 2). Zusätzliche Wassertemperaturdatensets aus dem Projekt BIO_CLIC, welche unter anderem auch die Pinka flussaufwärts des LOWFLOW+ Gebietes enthalten, konnten verwendet werden. Für die Wassertemperaturmessungen wurden HOBO Wassertemperatursensoren verwendet, welche Temperaturen zwischen -20 und + 70°C, mit einer Genauigkeit von +/- 0.53°C, einer Auflösung von 0.14°C bei 25°C und einer Zeitkonstanten von 5 min. messen können. Zusätzlich wurden horizontale und vertikale Wassertemperaturtranssekte im Zuge von Messkampagnen an ausgewählten Stellen gemessen.

Mikroklima

Die meteorologische Station, die bereits im Rahmen des ACRP Projektes BIO_CLIC bei Unterwart installiert wurde, diente als Referenzstation. Unterwart (KZM 61 km 47° 16’ 11.055”N 16° 13’ 47.892”E, 300m über Adria (KZM 61) hat eine horizontale Distanz zu der nächsten Wassertemperaturmessstelle des LOWFLOW+ Projektgebietes Burg (KZM 37) von 13km und die größte Distanz zur untersten Messstelle Moschendorf (KZM 15) ist 30km. Wenn man die flache Topographie des Gebietes in Betracht zieht, ist die klimatische und meteorologische Situation innerhalb eines Umkreises von 30km ähnlich zu erwarten.

Für die Messung der Globalstrahlung wurde ein Schenk Sternpyranometer mit einer Genauigkeit von +/- 1% verwendet. Lufttemperatur und -feuchte wurden mit einem HOBO Pro v2 Logger (U23-001), mit einer Genauigkeit von jeweils 0.12°C und 5%, gemessen.

AP 2.5. Wasserqualität

Temporäre mobile Messstationen (online-Messungen sowie Probenahmen mit anschließender Analyse im Labor)

Um die vorhandene Wasserqualitätsmessreihe an der Pinka bei Burg sowohl hinsichtlich der Messhäufigkeit als auch der räumlichen Ausdehnung zu ergänzen, wurden flussabwärts der Messstation beim Pegel Burg (KZM 37) weitere zeitlich begrenzte Fließgewässer-Messstationen betrieben (Abbildung 14). Die Auswahl der Untersuchungsstellen erfolgte u.a. durch folgende Kriterien:

- (i) erkennbare Beeinflussung der Wasserqualität,
- (ii) sichtbare Veränderung der hydraulischen Verhältnisse,
- (iii) mögliche Effekte von extremen Wetterbedingungen auf den Wasserkörper,

– (iv) Messprofil mit vertretbarem Aufwand mit Equipment erreichbar.

Es wurden in Summe 7 Messstandorte identifiziert, an denen zu erwarten war, dass sie die jeweilige Charakteristik des jeweiligen Fließquerschnitts wiederspiegeln (Abbildung 14). Zu Beginn des Gewässerabschnitts dient die Messstelle bei Burg bei KZM 37 als sogenannte „Referenzmessstelle", d.h. sie ist relativ unbeeinflusst durch Abwassereinleitungen und es liegt eine freie Fließstrecke vor. Im gestauten Bereich des Kraftwerks Bildein rund 1 km flussaufwärts der Wehranlage befand sich die Messstelle Bildein bei KZM 25. Die dritte intensiv beprobte Messstelle war rund 600 m flussabwärts des Kraftwerks Gaas bei KZM 16 in einer freien Fließstrecke, jedoch mit erhöhtem Wasserstand (infolge einer Querschnittsverengung durch Buhnen). Eine weitere Messstelle charakterisierte im Gewässerabschnitt den einzigen Zufluss durch ein Fließgewässer, den Rodlingbach, in dem auch eine Kläranlage mit 4.100 EW einmündet. Die drei weiteren Messstellen ergänzen durch ihre Ähnlichkeit zu den bereits vorgestellten Messstellen an der Pinka die drei intensiv beprobten Bereiche.

Da die Messstationen nur bei Niedrigwasser eingesetzt wurden, war die Gefahr durch Beschädigung der Messeinrichtungen aufgrund von Regenereignissen so gut wie ausgeschlossen. Der Aufbau war daher sehr einfach und robust (Abbildung 27 links). Es konnten jeweils drei Messstationen gleichzeitig betrieben werden, was auch einen Aufschluss über die zeitliche Änderung der Messparameter über die Fließstrecke zuließ.

Abb. 27: Links: temporäre mobile Messstation Pegel Burg **(KZM 37)**

Als mobile on-line Messgeräte wurden batteriebetriebene Messgeräte der Firma WTW mit internem Datenlogger (Multi 197i, Multi 3410, Multi 3430) in Kombination mit WTW Sensoren für die Messung direkt im Gewässer für gelösten Sauerstoff (FDO®925), pH-Wert (SenTix®41, SenTix®940) und Leitfähigkeit (TetraCon®325, TetraCon®925) verwendet. Die Wassertemperatur wurde von den integrierten Temperaturfühlern miterfasst.

Die Dauer der Messperioden betrug jeweils 2-3 Tage, wobei die Messwerte bei den on-line Messungen im 5- bzw. 10-minütigen Intervall generiert wurden. Die Probenahme mit anschließender Analyse im Labor wurde mittels Einzel-Schöpfproben und/oder automatischer

Probenehmer der Fa. ISCO (Type 6700) für 24 Probenahmen (d.h. 2 Tage alle 2 Stunden oder 3 Tage alle 3 Stunden) durchgeführt.
Im Labor wurden die Wasserproben vor allem auf die sogenannten Nährstoffparameter Stickstoff (als Ammonium NH_4-N und Nitrat NO_3-N) und Phosphor (als Orthophosphat PO_4-P und Gesamtphosphor P_{ges}) analysiert, sowie je nach der weiteren Fragestellung auf abfiltrierbare Stoffe (TSS), Kohlenstoff (als gelöster (DOC) und gesamter (TOC) Anteil), Kalium (K) und Chlorid (Cl).

Die Messungen bzw. die Probenahmen wurden während mehrerer Perioden durchgeführt, in denen stabile Abflussverhältnisse auf niedrigem Niveau herrschten. Der Abfluss lag im Jahr 2013 während der sechs Messperioden von Juni bis Oktober zwischen 0,9 und 2,5 m^3/s. Im Jahr 2014 wurde versucht, die Ergebnisse aus dem vorigen Jahr zu verifizieren. Zusätzlich sollte versucht werden, das Querprofil des Rückstaubereichs eines Kraftwerks sowohl online als auch chemisch zu überwachen. Die in diesem Jahr anhaltenden hohen Abflüsse in der Pinka brachten jedoch erhebliche Schwierigkeiten mit sich. Dies führte sogar soweit, dass ein in der Gewässermitte verankerter Messponton mit dem gesamten Monitoringequipment kenterte (Abbildung 26 rechts).

AP 3 Aktuelle hydraulische Situation

Erstellung des digitalen Geländemodells

- Aufbereitung der Laserscan Daten (ALS)
- Einarbeiten des Flussschlauchs aus Vermessungsdaten und zusätzlicher Vermessungsdaten (AP 2.2)
- Modellkalibrierung

Hydraulisches Modell

- Durchführung der hydrodynamischen Simulationsberechnungen mit dem Programm Mike Flood mit einer Rasterweite von 1 m x 1 m
- Auswertung der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten
- Erstellung der GIS-Daten und Übergabe an nachfolgende Modelle

AP 4 Aktuelle Wassertemperatur und Wasserqualitätsmodell

Modellierung der Energiebilanz und Wassertemperatur

Das deterministische Model HEAT SOURCE (Boyd und Kasper, 2003[14]) wurde für das Projekt LOWFLOW+ ausgewählt, weil es durch Quantifizierung der beeinflussenden Energiebilanzkomponenten hilft, die physikalisch ursächlichen Parameter zu verstehen, welche Wassertemperaturänderungen verursachen. Messdaten von WP2.2 (morphologische und Vegetationsdaten) und das digitale Höhenmodell, erhalten von österreichischen Behörden, wurde

[14] Boyd, M., B. Kasper, 2003: Analytical methods for dynamic open channel heat and mass transfer: Methodology for heat source model Version 7.0.

Bach, M. (2011) Integrierte Modellierung für Einzugsgebiete mit komplexer Nutzung, Dissertation an der TU Darmstadt, http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2413

aufbereitet und danach daraus Punktinformationen mittels der GIS-basierten Anwendung TTools (Boyd und Kasper, 2003) entnommen. Des Weiteren wurden Wassertemperaturdaten, meteorologische Daten (Lufttemperatur und -feuchte, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit) aus WP2.4 sowie Fließgeschwindigkeiten, die im WP2.3 mit einem hochauflösenden 2D Modell berechnet wurden, verwendet, um die Inputdateien für die Simulationen zu erstellen. Die Berechnung der Globalstrahlung wurde durch Verwendung gemessener Strahlung verbessert. Das adaptierte Modell wurde mittels Messdaten validiert.

Um den Einfluss unterschiedlicher beschattender Elemente abschätzen zu können, wurden folgende Szenarienos verwendet:

- keine Vegetation (V0)
- maximale Vegetation (V100)
- untersuchter Status quo (STQ)

STQ verwendet die besten verfügbaren Inputdaten für Vegetation, wie sie in WP 2.2 erzeugt wurden. Für V0 wurden alle Vegetationsparameter (Vegetationshöhe, -dichte und -überhang) 0 gesetzt. V100 wurde definiert mit 30m Vegetationshöhe, 90% Vegetationsdichte und 8 m Überhang. Die Beschattung durch Topographie und Uferböschung wurde nicht verändert.

Modellierung der Wasserqualität

Aufgrund der innerhalb des Projekts vorliegenden Wasserqualitätsdatenlage, welche sich innerhalb der 2-3-tägigen Messperioden auf die Niederwassersituation und höhere Wassertemperaturen gründet, war eine klassische Gewässergütesimulation über eine längere Zeitperiode nicht möglich. Es wurden daher für eine Abschätzung der möglichen Auswirkung durch zukünftige erhöhte Wassertemperaturen nur die Messperioden betrachtet.

Die Modellierung des Sauerstoffgehalts und des pH-Werts für die Messperioden im Jahr 2013 wurde in Anlehnung an Bach (2011)[15] durchgeführt. Die Kopplung des Modells in AP4.2 erfolgte einerseits durch die Fließgeschwindigkeit und die Wassertiefe aus der Abflussmodellierung (AP3) sowie mit den Strahlungswerten auf die Gewässeroberfläche und der Wassertemperatur aus dem HEAT SOURCE Modell (AP4.1).

AP 5 Hydraulik und Klimaszenarien

Schätzung des zukünftigen Abflusses im Zielgebiet

- Es wurde versucht den Abfluss durch ein statistisches Modell zu beschreiben. Die Ergebnisse für den mittleren Abfluss waren gut, allerdings konnten die Niederwassersituationen nicht reproduziert werden. Für die Durchführung der Szenarienberechnung wurden daher die

Bach, M. (2011) Integrierte Modellierung für Einzugsgebiete mit komplexer Nutzung, Dissertation an der TU Darmstadt, http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2413

Extremwerte der Auswertung der Klimamodelle herangezogen (Qmin = 0,4 m³/s und Qmax = 2,0 m³/s).

- hydrodynamische Simulation der Abflussszenarien mit den zukünftigen Abflusswerten
- Ermittlung Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten für die Szenarien
- Erstellung der GIS-Daten und Übergabe an nachfolgende Modelle

AP 6 Niederwassermanagementstrategie

Die Ergebnisse der numerischen Modelle zeigen die longitudionale Verteilung der Wasserquantität und der Wasserstände. Dabei berücksichtigen sie Einflüsse von kleinräumigen Änderungen der Flussmorphologie, Stauhaltungen der Kraftwerke, Wasserentnahmen für Fischteiche und Landwirtschaft und punktuelle Verschmutzungen und als weiterer Schritt auch den Einfluss des Klimawandels. All dies wurde für die Niederwasserstrategieempfehlungen verwendet.

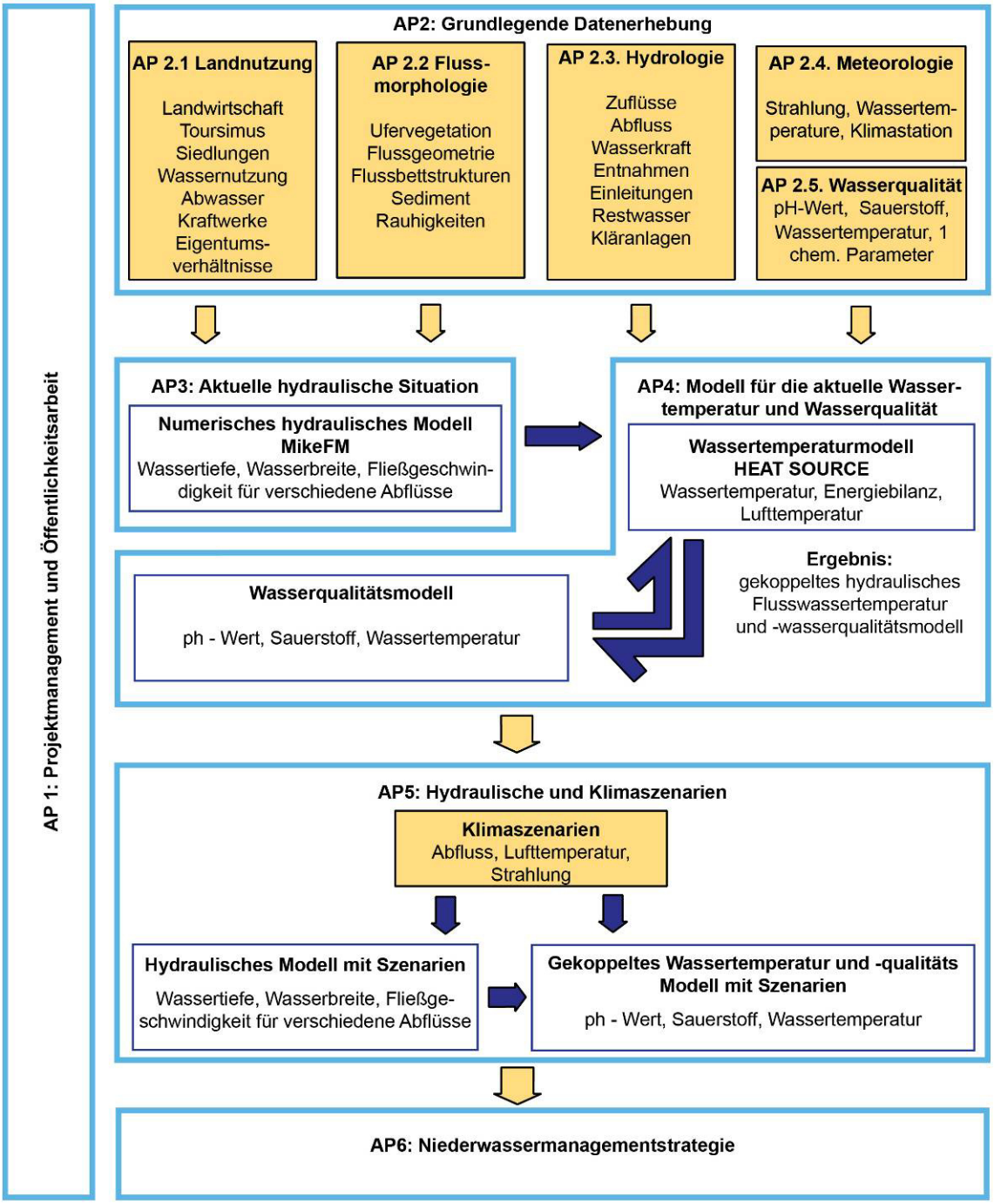
7 Arbeits- und Zeitplan

8

LOWFLOW+

Arbeitsplan

	April 2013	Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Aug. 2013	Sept. 2013	Okt. 2013	Nov. 2013	Dez. 2013	Jän. 2014	Feb. 2014	März 2014	April 2014	Mai 2014	Juni 2014	Juli 2014	Aug. 2014	Sept. 2014	Okt. 2014	Nov. 2014	Dez. 2014	Jän. 2015	Feb. 2015	März 2015
	Jahr 1												Jahr 2											
Arbeitspake 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arbeitspake 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X														
Arbeitspake 3								X	X	X	X	X	X	X										
Arbeitspake 4												X	X	X	X	X								
Arbeitspake 5															X	X	X	X	X					
Arbeitspake 6																		X	X	X	X	X	X	X



Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

AutorInnen/Jahr	Titel	Eingereicht in
BARTEL W., HLOUSEK C. (2014)	Survey of radiation intensities at the rivers Lafnitz and Pinka using hemispherical images and analysis of the shadowing effect of the vegetation.	Abgeschlossene Masterarbeit am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien
HOLZAPFEL G, RAUCH H.P. (2015)	Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka.	Vortrag: ÖWAV Tagung – Ingenieurbiologie Neue Entwicklungen an Fließgewässern, Hängen und Böschungen - Wien FEB 12-13, 2015, Veröffentlicht in: Ingenieurbiologie. Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Vereins für Ingenieurbiologie 1/2015, 4-10
Holzapfel, G., Formayer, H., Papay, H., Pfannhauser, G., Pressl, A., Trimmel, H., Wagner, J., Weihs, P., Rauch, H.P. (2015)	Zusammenhang der physikalischen und chemischen Parameter des stark beeinträchtigten mittelgroßen Flusses Pinka unter Berücksichtigung des Klimawandels.	Vortrag am 16. Klimatag - Aktuelle Klimaforschung in Österreich und vertreten im Tagungsband: Climate Change Center Austria.
HOLZAPFEL G; RAUCH H.P (2013)	The potential of riparian vegetation for river restoration demonstrated at the two lowland rivers Lafnitz and Pinka.	Poster: European River Restoration Conference, SEPT 11-13, 2013, Vienna, AUSTRIA
HOLZAPFEL G; RAUCH H.P (2013)	Wirkungsweise und ökologisches Potenzial der Ufervegetation am Beispiel der Lafnitz und Pinka.	Vortrag: ÖWAV, Naturnaher Wasserbau Herstellung der Durchgängigkeit und Instandhaltung der Gewässer, Güssing, JUN 26-27, 2007 Tagungsband: ÖWAV Naturnaher Wasserbau Herstellung der Durchgängigkeit und Instandhaltung der Gewässer
KALNY G., MELCHER A., TRIMMEL H., WEIHS P., RAUCH H.P. (2015)	Assessing the impact of vegetation shading on the water temperature of medium sized Austrian rivers.	Eingereicht bei: Journal Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, in Begutachtung
LEDOCHOWSKI V. (2015)	Changes in riparian vegetation and river morphology in the river course of the river Pinka.	Abgeschlossene Masterarbeit am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien
MALLINGER, A. (2014)	Gewässermorphologische Analyse der Pinka Grenzstrecke	Abgeschlossene Masterarbeit am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (BOKU Wien)
PRESSL A., ALLABASHI R. (2015)	Veränderung ausgewählter Wasserqualitätsparameter durch Querbauwerke in Fließgewässern.	Vortrag: ÖWAV Tagung – Ingenieurbiologie Neue Entwicklungen an Fließgewässern, Hängen und Böschungen - Wien

		FEB 12-13, 2015, Veröffentlicht in: Ingenieurbiologie. Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Vereins für Ingenieurbiologie 1/2015, 29-36
TRIMMEL H., GANGNEUX C., KALNY G., MICHIE R., WEIHS P. (2015)	Influence of meteorological components on stream temperature and simulation accuracy under heat wave conditions.	Eingereicht bei: Meteorologische Zeitschrift, in Begutachtung.
WEIHS P., TRIMMEL H., HASEL S., MURSCH-RADLGRUBER A. (2015)	Messung und Modellierung der Wassertemperatur an den Flüssen Lafnitz und Pinka.	Vortrag: ÖWAV Tagung – Ingenieurbiologie Neue Entwicklungen an Fließgewässern, Hängen und Böschungen - Wien FEB 12-13, 2015, Veröffentlicht in: Ingenieurbiologie. Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Vereins für Ingenieurbiologie 1/2015, 15,11-14
WEIHS P., TRIMMEL H., DOSSI F., FORMAYER H., GRAF W., HOLZAPFEL G., LEITNER P., MELCHER A., RAUCH H.P. (2014)	Untersuchung des Einflusses von Ufervegetation auf die Wassertemperaturen von fließenden Gewässern: Maßnahme gegen den Einfluss des Klimawandels.	Poster: [8. BIOMET-Tagung Mensch-Pflanze-Atmosphäre im 21. Jahrhundert, Dresden, 2.-3. Dezember 2014] Tagungsband: Valeri Goldberg und Christian Bernhofer, 8. BIOMET-Tagung Mensch-Pflanze-Atmosphäre im 21. Jahrhundert, Tharandter Klimaprotokolle Band 20, S.131-132.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.