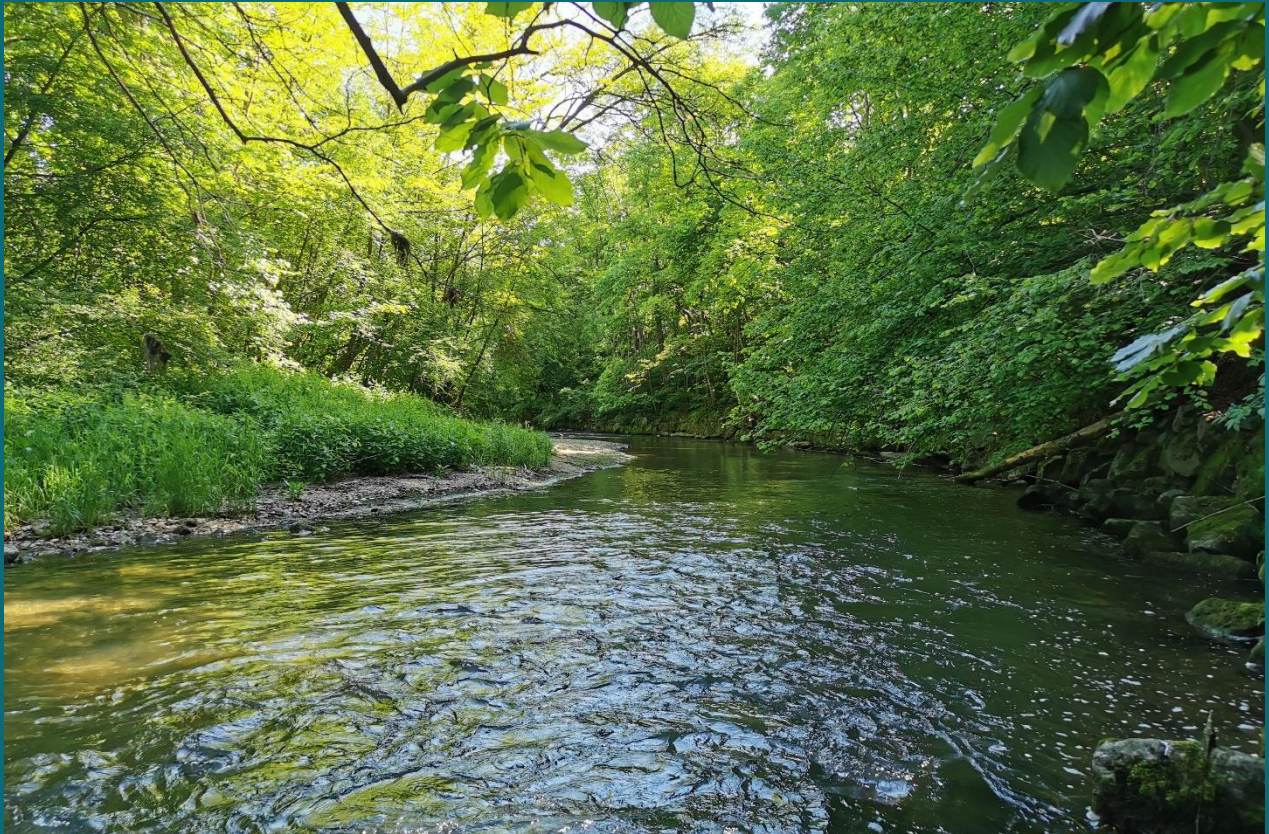




Maßnahmen zur Dämpfung der Gewässererwärmung

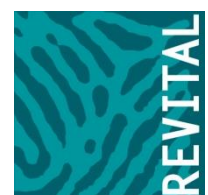
November 2022

Auftraggeber:



Amt der Oö.
Landesregierung

Bearbeitung:



www.revital-ib.at

Maßnahmen zur Dämpfung der Gewässererwärmung

Endbericht

Auftraggeber

Amt der Oö. Landesregierung

Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft

Abteilung Wasserwirtschaft

Kärntnerstraße 10-12

A-4021 Linz

Auftragnehmer

REVITAL Integrative Naturraumplanung GmbH

Nußdorf 71

9990 Nußdorf-Debant

Tel.: +43 4852 67499-0; Fax: DW 19

office@revital-ib.at; www.revital-ib.at

Bearbeitung

Clemens Holzer-Salcher

Lukas Reider

Sabine Raudaschl

Martin Weinländer

Nußdorf-Debant, im November 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Projektbeschreibung	11
1.1	Einführung	11
1.2	Ziele	12
1.3	Parameter	12
1.4	Projektaufbau	14
2	Methodik	16
2.1	Projektgebiet	16
2.1.1	Aschach	16
2.1.2	Krems.....	17
2.2	Beschattungsindex	17
2.2.1	Grundlagendaten	17
2.2.1.1	Airborne Laserscanning (ALS) – Höhendaten.....	18
2.2.1.2	RGBI Orthofotos	18
2.2.2	Software & Tools	18
2.2.2.1	ArcGIS.....	19
2.2.2.2	QGIS.....	19
2.2.3	Räumliche Analysen	19
2.3	Auswahl der Referenzgebiete	25
2.3.1	Vorauswahl auf Basis des Beschattungsindex	25
2.3.2	Begehung im Gelände	27
2.4	Vor-Ort-Messungen an Aschach und Krems	27
2.4.1	Messsystematik.....	27
2.4.2	Messgrößen.....	28
2.4.3	Fixierungen	31
2.4.4	Messzeitraum, Wartungen & Besonderheiten	31
2.5	Statistik.....	32
3	Ergebnisse	33
3.1	Beschattungsindex	33
3.2	Beschreibung der Referenzstrecken	36
3.3	Analyse & Auswertungen Vor-Ort-Messungen	59

3.3.1 Wetterdaten.....	59
3.3.1.1 Aschach - Aufzeichnungen Wetterstationen Weizenkirchen ZAMG	60
3.3.1.2 Krems - Aufzeichnungen Wetterstationen Kremsmünster ZAMG	62
3.3.1.3 Aufzeichnungen in den Referenzabschnitten positionierter Temperaturmesser	64
3.3.1.4 Aufzeichnungen in den Referenzabschnitten positionierter Globalstrahlungsmesser	66
3.3.2 Generelle Änderung Wassertemperatur im Tagesmittel entlang der Gewässer ...	67
3.3.3 Wirkung unterschiedlicher Beschattungsintensitäten auf die Wassertemperatur	68
3.3.3.1 Analyse der gesamten ersten Messreihen.....	68
3.3.3.2 Unterschiede Referenzstrecken/Beschattungsintensitäten: Gesamte Messreihe	70
3.3.3.3 Unterschiede Referenzstrecken/Beschattungsintensitäten: Strahlungsintensive Tage	73
3.3.3.4 Unterschiede Aschach und Krems: Tagesgang	79
3.3.4 Vergleich unterschiedlicher Wassertiefen an ausgewählten Standorten	82
3.4 Wirkung wasserbaulicher Maßnahmen.....	83
4 Messkampagne 2022.....	84
4.1 Anpassungen zu Messungen 2021	84
4.1.1 Fixierung der Sensoren 2022.....	84
4.1.2 Messzeitraum & Wartung 2022	84
4.1.3 Referenzstrecken 2022.....	84
4.1.4 Piberbach.....	97
4.1.5 Sulzbach.....	97
4.1.6 Sprinzenbach	98
4.1.7 Statistik 2022.....	99
4.2 Ergebnisse Krems 2022.....	99
4.2.1 Wetterdaten 2022.....	99
4.2.2 Globalstrahlung & Sonnenscheindauer - ZAMG	100
4.2.3 Globalstrahlungsmessungen in den Referenzabschnitten – eigene Messungen .	101
4.2.4 Lufttemperatur und Niederschlag - ZAMG	101
4.2.5 Lufttemperatur - eigene Messungen	103
4.2.6 Wassertemperatur – Plausibilisierung der Messdaten.....	105
4.2.6.1 Zubringer Sprinzenbach	105
4.2.6.2 Große Temperaturänderungen zwischen Sensor 21 und 22	106
4.2.6.3 Zubringer Piberbach.....	109
4.2.6.4 Zubringer Sulzbach.....	110
4.2.6.5 Große Temperaturerhöhungen im beschatteten Referenzabschnitt 1	110

4.2.6.6 Zubringer bei Referenzstrecke 2	113
4.2.7 Änderung der Wassertemperaturen im Gewässerverlauf	114
4.2.8 Temperaturdifferenzen in Referenzabschnitten	119
4.2.9 Tagesgänge	123
4.2.9.1 Referenzstrecken	123
4.2.9.2 Sensoren	126
4.2.9.3 Zubringer	134
5 Diskussion	136
5.1 Beschattungsindex und Eingangsdaten	136
5.2 Messkampagne 2021	136
5.3 Messkampagne 2022	137
6 Literatur	140

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komponenten der Wärmebilanz von Fließgewässern (nach Stein 2018)	13
Abbildung 2: Projektablaufdiagramm	15
Abbildung 3: Übersicht Aschach, Aschacharm, Faule Aschach & Dürre Aschach	16
Abbildung 4: Übersicht Krems	17
Abbildung 5: Berechnete Parameter zur Modellierung der Fließgewässerbeschattung. A: Ufertopographie. B: Gewässerbreite. C: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). D: Vegetationshöhen. E: Vegetationsdichte. F: Vegetationsüberhang.	21
Abbildung 6: Beschattungskarte im Juni (oben), Juli (Mitte) und August (unten) entlang der Aschach. Je dunkler die Fläche desto öfter sind die Pixel am Tag beschattet.	23
Abbildung 7: Einteilung der berechneten Wasserfläche in 50 m Profile.	24
Abbildung 8: Beschattungsindex getrennt nach Ufer	24
Abbildung 9: Übersicht über die Lage der Referenzstrecken entlang der Aschach und Faulen Aschach.	26
Abbildung 10: Übersicht über die Lage der Referenzabschnitte entlang der Krems.	26
Abbildung 11: Schematische Darstellung der Messsystematik im Querprofil. Fließgeschwindigkeit wird 15 cm unter der Wasseroberfläche gemessen, die Wassertemperatur wird 15 cm über der Sohle gemessen.	27
Abbildung 12: Schematische Darstellung über die Standorte der Messpunkte in unterschiedlichen Gewässerabschnitten.	28
Abbildung 13: Tinytag Auqatic 2 (Quelle: www.geminidataloggers.com)	30
Abbildung 14: TeMP Sensoren Blattfisch (Quelle: www.blattfisch.at)	30
Abbildung 15: RS- PRO-USB-2, 1-Kanal Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Taupunkt Datalogger (Quelle: rs-online.com)	30
Abbildung 16: VOLTcraft DL-131 LUX Solar-Datenlogger (Quelle: conrad.at)	30

Abbildung 17: OTT MF pro Magnetisch-induktives Strömungsmessgerät (Quelle: ott.com)	30
Abbildung 18: Messaufbau mit Sensoren, Bodenplatte und Boje.	31
Abbildung 19: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für die Krems. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.....	33
Abbildung 20: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für die Aschach. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.....	34
Abbildung 21: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für den Aschacharm. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.....	34
Abbildung 22: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für die Faule Aschach. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.....	35
Abbildung 23: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für die Dürre Aschach. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.....	35
Abbildung 24: Sonnenscheindauer pro Stunde aufgenommen an der ZAMG Messstation Weizenkirchen für die Messperiode an der Aschach.....	60
Abbildung 25: Energiedichte aufgenommen an der ZAMG Messstation Weizenkirchen für die Messperiode an der Aschach.	61
Abbildung 26: Lufttemperatur aufgenommen an der ZAMG Messstation Weizenkirchen für die Messperiode an der Aschach.	61
Abbildung 27: Sonnenscheindauer pro Stunde aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster für die Messperiode an der Krems.	62
Abbildung 28: Energiedichte aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster für die Messperiode an der Krems.	63
Abbildung 29: Lufttemperatur aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster für die Messperiode an der Krems.	63
Abbildung 30: Tagesverlauf der Lufttemperaturen an jedem Messstandort an der Aschach (rot) und der Krems (blau). Jede einzelne Linie stellt einen Tagesverlauf (0-24h) an der jeweiligen Station dar.	64
Abbildung 31: Temperaturunterschiede unterschiedlicher Beschattungsintensitäten am Beispiel eines wolkenlosen Tages an der Krems.	65
Abbildung 32: Unterschiede in der relativen Luftfeuchte unterschiedlicher Beschattungsintensitäten am Beispiel eines wolkenlosen Tages an der Krems.a	65
Abbildung 33: Beispiel der Globalstrahlung in Bereichen unterschiedlicher Beschattungsintensitäten an einem wolkenlosen Tag an der Krems.	66
Abbildung 34: Tagesmitteltemperaturen entlang der Messstationen an der Aschach (links) und der Krems (rechts). Der Farbgradient identifiziert die Tage während der Messperiode, die Linien sind lineare Modelle, welche den tagesspezifischen Anstieg bestmöglich beschreiben. Die mittlere Steigung aller Modelle ermöglicht eine solide Schätzung des Anstiegs der sommerlichen Wassertemperatur.	67
Abbildung 35: Normierte Temperaturdifferenz zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte (=Erwärmung in °C pro km). Breite der Balken verdeutlicht die Variabilität der	

tageszeitlichen Erwärmung über den Sommer (breite Balken = hoch variable Erwärmung zwischen Tagen oder unterschiedlichen Wettersituationen).....	68
Abbildung 36: Die tägliche Varianz (Schwankungsbreite) der Wassertemperatur über die Messperiode 2021, jeder einzelne Messpunkt entspricht der Temperaturschwankungen pro Tag. Eine hohe Variabilität bedeutet, dass dieser Abschnitt hohe Temperaturschwankungen erfährt. Ein Vergleich verschiedener Abschnitte (hatten ähnliche Einwirkungen von außen) verdeutlicht hiermit die Anfälligkeit für Erwärmungen durch Strahlung oder Lufttemperatur.	69
Abbildung 37: Kennwerte der Wassertemperatur (tägliches Mittel, tägliches Maximum, tägliche Variabilität, in °C) entlang der obersten Abschnitte der Aschach (Abschnitte 1-4) an den wärmsten Tagen dieser Messperiode. Alle grauen Linien verbinden die aufeinanderfolgenden Abschnitte an gleichen Tagen und zeigen Steigungen signifikant verschieden von null. Als „warme“ Tage wurden Tage mit Lufttemperaturen >25°C gewählt, Strahlungsintensität wurde nicht berücksichtigt.	70
Abbildung 38: Standardisierte Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte über den gesamten Zeitraum der Messperiode an der Aschach. Die Box zeigt die Quartile (d.h. 0,25-, 0,5- und 0,75-Quantil) der gemessenen Werte. Werte größer oder kleiner des 1,5-fachen Interquartilsabstandes (d.h. $Q1 - 1,5 * IQR$ bzw. $Q3 + 1,5 * IQR$) werden als Ausreißer betrachtet. Die Whiskers zeigen den größten bzw. kleinsten Messwert, welcher noch kein Ausreißer ist.....	71
Abbildung 39: Standardisierte Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte über den gesamten Zeitraum der Messperiode an der Krems.....	72
Abbildung 40: Absolute Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte über den gesamten Zeitraum der Messperiode an der Aschach.	72
Abbildung 41: Absolute Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte über den gesamten Zeitraum der Messperiode an der Krems.....	73
Abbildung 42: Standardisierte Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte an ausgewählten strahlungsintensiven Tagen an der Aschach. ...	75
Abbildung 43: Standardisierte Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte an ausgewählten strahlungsintensiven Tagen an der Krems.	75
Abbildung 44: Absolute Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte an ausgewählten strahlungsintensiven Tagen an der Aschach. ...	76
Abbildung 45: Absolute Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte an ausgewählten strahlungsintensiven Tagen an der Krems.	76
Abbildung 46: Tagesverlauf der Gewässertemperatur am Ende der jeweiligen Ende Referenzstrecke an der Aschach; links: heißester Tag (06.07.2021), rechts: kältester Tag (03.07.2021)	77
Abbildung 47: Tagesverlauf der Gewässertemperatur am Ende der jeweiligen Ende Referenzstrecke an der Krems; links: heißester Tag (13.08.2021), rechts: kältester Tag (25.08.2021).....	77
Abbildung 48: Standardisierte Temperaturdifferenzen der jeweiligen Referenzabschnitte an der Aschach; links: heißester strahlungsintensiver Tag (06.07.2021), rechts: kältester strahlungsintensiver Tag (03.07.2021).....	78
Abbildung 49: Standardisierte Temperaturdifferenzen der jeweiligen Referenzabschnitte an der Krems; links: heißester strahlungsintensiver Tag (13.08.2021), rechts: kältester strahlungsintensiver Tag (25.08.2021).....	78
Abbildung 50: Tagesverlauf der absoluten Temperaturdifferenzen pro Kilometer am 06.07.2021 an der Aschach	80

Abbildung 51: Tagesverlauf der absoluten Temperaturdifferenzen pro Kilometer am 13.08.2021 an der Krems	80
Abbildung 52: Tagesverlauf der absoluten Temperaturdifferenzen pro Kilometer am 21.08.2021 an der Krems	81
Abbildung 53: Unterschiede der Wassertemperaturen (15-min Auflösung) zwischen Oberfläche und Gewässersohle (Differenz zwischen Oberfläche und Gewässersohle). Die linke Abbildung zeigt die zeitweise höhere Differenz ($>0.5^{\circ}\text{C}$) an zwei Stationen, die rechte Abbildung zeigt die geringe Temperaturdifferenz an den übrigen Messstellen.....	82
Abbildung 54: Temperaturen an der Gewässersohle und Oberfläche in Tiefstellen (Kolken).....	83
Abbildung 55: Messaufbau.....	84
Abbildung 56: Sonnenscheindauer pro Stunde aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster über die gesamte Messperiode an der Krems.....	100
Abbildung 57: Energiedichte aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster über die gesamte Messperiode an der Krems.....	100
Abbildung 58: Tagesgang der auftreffenden Globalstrahlung an einem sonnigen Tag in den jeweiligen Kategorien der Referenzstrecken.....	101
Abbildung 59: Lufttemperatur aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster über die gesamte Messperiode mit dem Schwellenwert von 28°C (rote Linie).	102
Abbildung 60: Niederschlag (blau) im Messzeitraum mit Niederschlagsdauer (grau) aufgezeichnet von ZAMG Messstation Kremsmünster.	102
Abbildung 61: Aufgezeichnete Lufttemperaturen in unterschiedlichen Referenzstrecken über die gesamte Messperiode.	103
Abbildung 62: Aufgezeichnete Temperaturunterschiede im Tagesverlauf unterschiedlich beschatteter Referenzabschnitte, an einem sonnigen und bewölkten Tag.	104
Abbildung 63: Sprinzenbach.....	105
Abbildung 64: Gemessene Wassertemperaturen im Sprinzenbach, sowie nach der Einmündung am linken und rechten Ufer der Krems.....	105
Abbildung 65: Tagesverlauf des Sprinzenbach sowie der Krems am linken und rechten Ufer unterhalb der Einmündung.....	106
Abbildung 66: Temperaturunterschiede am linken und rechten Ufer der Krems unterhalb der Einmündung des Dambaches.	107
Abbildung 67: Dambach.	107
Abbildung 68: Linksufrige Einmündung des Dambach bei Flkm 15,35.	108
Abbildung 69: Einleitung durch Kläranlage bei Fließkilometer 14,7.	108
Abbildung 70: Ausleitungskanal Kläranlage bei Flkm 15,2.....	109
Abbildung 71: Einleitungen bei Flkm 43,35 im Referenzabschnitt 1.	111
Abbildung 72: Tagesverlauf von Sensor 1 und Sensor 2 an einem sonnigen und an einem bewölkten Tag.	112
Abbildung 73: Tagesverlauf Sensor 1 und Sensor 2 an mehreren aufeinanderfolgenden sonnigen Tagen (oben) und einem sonnigen mit darauffolgenden bewölkten Tagen (unten).....	113
Abbildung 74: Zubringer Ofenschüsselbach (Flkm 40,1) in Referenzstrecke 2.....	114
Abbildung 75: Temperaturverlauf über den gesamten Messabschnitt aller bewölkten Tage ohne Niederschlag, hinterlegt mit dem Beschattungsindex.	115
Abbildung 76: Temperaturverlauf über den gesamten Messabschnitt aller sonnigen Tage mit Lufttemperaturen größer 28°C , hinterlegt mit dem Beschattungsindex.	116

Abbildung 77: Maximale, minimale und mittlere Temperatur über den gesamten Messabschnitt gemittelt aller sonnigen Tage über 28°C und aller bewölkten Tage, hinterlegt mit dem Beschattungsindex.	117
Abbildung 78: Temperaturverlauf an einem sonnigen Tag (orange) und einem bewölkten Tag (grün) mit Änderung der Einzugsgebietsgröße (blau), Zubringern (grau) und Stau- (gelb) bzw. Restwasserstrecken (rot).....	118
Abbildung 79: Beschattungsindex Krems im Messabschnitt.	118
Abbildung 80: Absolute Temperaturdifferenzen pro km in den jeweiligen Referenzstrecken an bewölkten Tagen. (Box – 25 % bzw. 75 % Quantil (Whiskers mal 1,5), Strich schwarz – Median, Punkt weiß – Mittelwert).....	120
Abbildung 81: Absolute Temperaturdifferenzen pro km in den jeweiligen Referenzstrecken an sonnigen Tagen.	121
Abbildung 82: Absolute Temperaturdifferenzen pro km zusammengefasst in die Gruppen der Beschattungsintensität an bewölkten Tagen.	122
Abbildung 83: Absolute Temperaturdifferenzen pro km zusammengefasst in die Gruppen der Beschattungsintensität an sonnigen Tagen.	122
Abbildung 84: Tagesgänge der Temperaturdifferenzen in den Referenzabschnitten K1-K4 an einem bewölkten Tag (oben) und einem sonnigen Tag (unten).	123
Abbildung 85: Tagesgänge der Temperaturdifferenzen in den Referenzabschnitten K5-K8 an einem bewölkten Tag (oben) und einem sonnigen Tag (unten).	124
Abbildung 86: Tagesgänge der Temperaturdifferenzen in den Referenzabschnitten K9-K12 an einem bewölkten Tag (oben) und einem sonnigen Tag (unten).	125
Abbildung 87: Vergleich eines Tagganges an einem beschatteten Sensorstandort mit einem unbeschatteten Sensorstandort (oben), sowie Vergleich zweier gleich beschatteter Sensorstandorte im Oberlauf und Unterlauf (unten).	126
Abbildung 88: Tagesverlauf absoluter Temperaturdifferenzen an Endsensoren der jeweilig beschatteten/unbeschatteten Referenzstrecken.	127
Abbildung 89: Absolute Temperaturdifferenzen am 25.07.2022 (heißer sonniger Tag).	128
Abbildung 90: Krems Temperaturverlauf Sensor 1-4 gesamte Messreihe (Flkm 44,10-39,25, Wartberg).	129
Abbildung 91: Krems Temperaturverlauf Sensor 5-11 gesamte Messreihe (Flkm 34,00-27,95, Kremsmünster).	130
Abbildung 92: Krems Temperaturverlauf Sensor 12-14 gesamte Messreihe (Sulzbach Flkm 23,80-23,65).	131
Abbildung 93: Krems Temperaturverlauf Sensor 15-20 gesamte Messreihe (Flkm 21,95-18,35 inkl. Piberbach, Kematen).	132
Abbildung 94: Krems Temperaturverlauf Sensor 21-24 gesamte Messreihe (Flkm 15,10-8,20; Neuhofen-Kremsdorf).	133
Abbildung 95: Tagesgänge der Zubringer Piberbach und Sulzbach an einem sonnigen Tag.	134
Abbildung 96: Temperaturverlauf der gemessenen Zubringer über den gesamten Messzeitraum. .	135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Eingesetzte Messgeräte zur Erfassung von Wassertemperatur, Lufttemperatur, relativer Feuchte, Globalstrahlung und Fließgeschwindigkeit	30
Tabelle 3-1: Kurzbeschreibung Referenzstrecken Aschach.....	36
Tabelle 3-2: Kurzbeschreibung Referenzstrecken Krems.....	49
Tabelle 3-3: Tage mit längster Sonnenscheindauer, größter Energiedichte und höchster Lufttemperatur im Messzeitraum an der Aschach.	60
Tabelle 3-4: Tage mit längster Sonnenscheindauer, größter Energiedichte und höchster Lufttemperatur im Messzeitraum an der Krems.....	62
Tabelle 3-5: Charakteristika der zwei Messstandorte mit Temperaturdifferenzen an der Gewässersohle und Oberfläche.	82
Tabelle 4-1: Kurzbeschreibung Referenzstrecken Krems.....	85
Tabelle 2: Einzelmessungen Temperaturänderungen in Referenzabschnitt 1.	110
Tabelle 3: Liste der Zubringer im Messabschnitt.	118
Tabelle 4: Liste der Stau- und Restwasserstrecken im Messabschnitt.	119

1 Projektbeschreibung

1.1 Einführung

Die REVITAL Integrative Naturraumplanung GmbH wurde von der Abteilung Wasserwirtschaft des Amtes der Oö. Landesregierung im Dezember 2020 mit dem Projekt „Maßnahmen zur Dämpfung der Gewässererwärmung“ beauftragt.

Durch den Klimawandel werden für die meisten Fließgewässer steigende Gewässertemperaturen erwartet (van Vliet et al., 2013; MacDonald et al., 2014; Hannah & Garner, 2015). Selbst bei konservativen Szenarien (siehe IPCC, 2013) zeigen die meisten globalen Klimamodelle einen Anstieg der globalen Flusstemperaturen um ca. 1,0–3,0 °C bis 2100 (Dugdale 2018).

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässertemperatur und der damit einhergehenden Wirkungen auf Gewässerzönosen wurden in vielen Studien erfasst und analysiert. Der durch den Klimawandel bedingte Temperaturanstieg führt zu sich immer stärker erwärmenden Gewässern, mit negativen Konsequenzen für die Gewässerfauna. Da die meisten aquatischen Organismen eine festgelegte Temperaturspanne haben innerhalb der ein Leben bzw. ein Überleben möglich ist, ist die Gewässertemperatur einer der wesentlichen Faktoren der auf das Vorkommen und die Bestandsbildung aquatischer Arten Einfluss hat. Auch für die Gewässer Oberösterreichs wurde im Jahr 2018 eine Studie (Keil et al. 2018) mit diesem Inhalt durchgeführt und an einigen Gewässern ein Handlungsbedarf aufgezeigt.

Die Wassertemperatur hat sowohl ökonomische als auch ökologische Bedeutung, wenn es um Fragen wie Wasserqualität und biotische Bedingungen in Flüssen geht. Die Wassertemperatur ist einer der Parameter in der Flussökologie, der die Gesundheit aquatischer Ökosysteme bestimmt (Caissie 2006). Daher ist die Betrachtung der wesentlichen Einflussfaktoren auf die Gewässertemperatur von entscheidender Bedeutung, um geeignete Anpassungsmaßnahmen für das sensible Ökosystem Fließgewässer zu finden.

Laut Garner et al. (2017) können solche Maßnahmen zur Minderung der Auswirkungen der Klimaerwärmung die Bepflanzung der Ufer mit hochwachsenden Gehölzen (z. B. Hannah et al., 2008; Imholt et al., 2013; Ryan et al., 2013; Garner et al., 2014), die Wiederverbindung von Flüssen mit ihren Überschwemmungsgebieten (z. B. Poole et al., 2008; Opperman et al., 2010), die Wiederherstellung oder die Verbesserung des hyporheischen Austauschs (Beechie et al., 2013; Kurylyk et al., 2014), Verringerung des städtischen Abflusses (z.B. Booth und Leavitt, 1999) und die Verringerung der Wasserentnahmeraten (Poole und Berman, 2001) sein.

Das gegenständliche Projekt befasst sich nun vor allem mit möglichen Maßnahmen zur Dämpfung der Gewässererwärmung. In diesem Zusammenhang spielt die Analyse der Wirkung von Beschattung auf die Gewässertemperatur sowie die Wirkung von wasserbaulichen Maßnahmen eine entscheidende Rolle. Die Ergebnisse dieses Projektes sollen aufzeigen, welche Abkühlungs- bzw. Erwärmungseffekte in Abhängigkeit von unterschiedlichen Beschattungsformen und Beschattungsintensitäten bzw. fehlender Beschattung festgestellt werden können. Darüber hinaus wird untersucht, welche Wirkungen wasserbauliche Maßnahmen auf den Wärmehaushalt eines Gewässers haben.

1.2 Ziele

Entsprechend der Ausschreibung soll das Projekt Aussagen zu folgenden Aspekten liefern:

Aussagen zu Abkühlungs- und Erwärmungseffekten in Abhängigkeit von Gewässertyp, Gewässerbreite, Fließgeschwindigkeit und Länge der Beschattung bzw. fehlenden Beschattung

- Wirkung unterschiedlicher Beschattungsintensitäten
- Wirkung wasserbaulicher Maßnahmen bzw. tiefliegender Gewässerbereiche (Kolke) auf das Temperaturregime

1.3 Parameter

Bei der Betrachtung der Einflussfaktoren der Wassertemperatur in Fließgewässern spielen viele Faktoren eine Rolle. Laut Caissie (2006) können diese Faktoren im Wesentlichen in vier verschiedene Gruppen eingeteilt werden:

1. atmosphärische Bedingungen,
2. Topographie der Ufer,
3. Abfluss bzw. Durchfluss (Hydrologie),
4. Beschaffenheit des Bachbetts.

Die atmosphärischen Bedingungen gehören zu den wichtigsten Faktoren und sind hauptsächlich für die an der Wasseroberfläche stattfindenden Wärmeaustauschprozesse einschließlich Phasenänderungen verantwortlich (Caissie 2006; Garner et al. 2017; Wondzell et al. 2019).

Auch die Topographie der Ufer oder die geografische Lage sind wichtig, da sie die atmosphärischen Bedingungen beeinflussen.

Der Abfluss bzw. Durchfluss, meist eine Funktion der Flusshydraulik (z. B. Zu- und Abflüsse), beeinflusst hauptsächlich die Heizleistung (Wassermenge) und/oder die Kühlung durch Durchmischung von Wasser aus verschiedenen Quellen einschließlich Bachbett-Wärmeaustausch (Caissie 2006; Webb et al. 2008).

Neben diesen natürlichen Einflussfaktoren haben aber auch anthropogene Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Gewässertemperatur und verändern somit die thermischen Eigenschaften von Flüssen (Hannah et al. 2015).

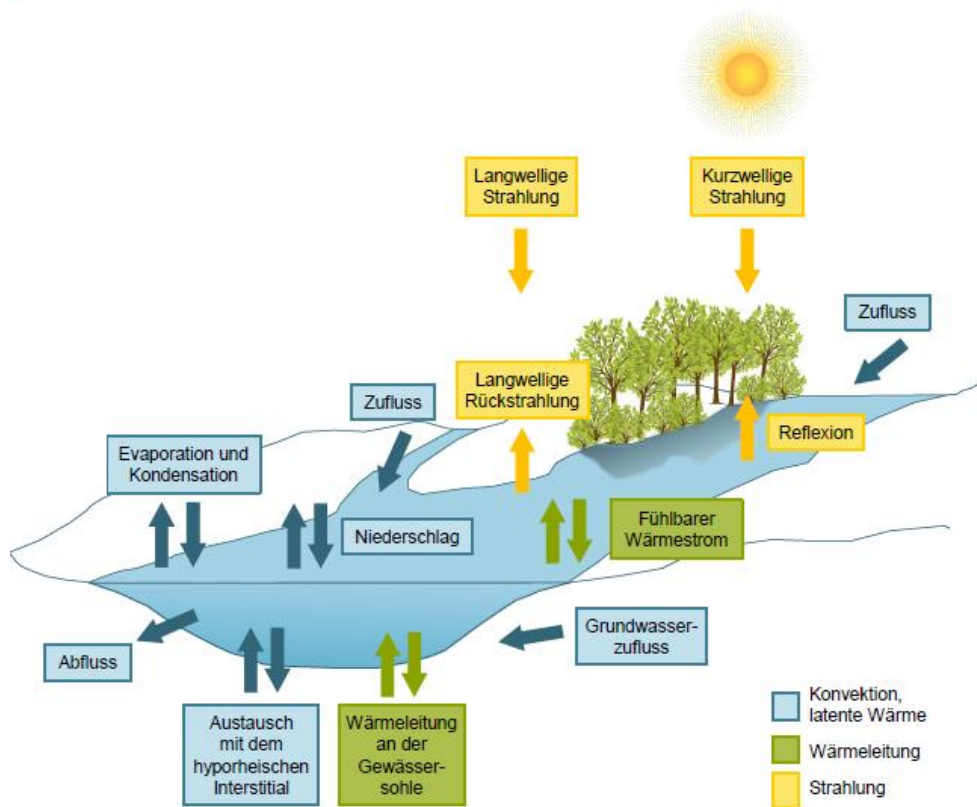


Abbildung 1: Komponenten der Wärmebilanz von Fließgewässern (nach Stein 2018)

Die Wärmebilanz eines Wasserkörpers (Nettowärmestrom) berechnet sich aus den einzelnen Summen aller Wärmeaustauschprozesse (vgl. Abbildung 1). Die Wärmeübertragung innerhalb von Flusssystemen ist komplex und erfolgt durch eine Kombination von Strahlung, Leitung, Konvektion und Advektion (Webb und Zhang, 1997, Stein 2018, Garner et al. 2015). Durch diesen Energieaustausch wird dem Gewässer Wärme zu- und abgeführt. Wärmeeinträge können durch einfallende kurzwellige (solare) und langwellige (abwärts gerichtete atmosphärische) Strahlung, Kondensation, Reibung am Flussbett und an den Ufern sowie durch chemische und biologische Prozesse erfolgen. Zu den Wärmeverlusten können Reflexion von Sonnenstrahlung, Emission langwelliger (Rück-)Strahlung und Verdunstung gehören (Garner et al. 2017; Webb et al. 2008).

Zusätzlich zu diesen Wärmeaustauschprozessen kann der Eintrag bzw. der Verlust von Energie beispielsweise durch das Ein- und Ausleiten von Wasser an Wehr- und Stauanlagen, Grundwassereinträge, Zuflüssen von Nebengewässern oder durch Niederschläge erfolgen (Hannah et al. 2015). Diese Wärmeströme können unter Verwendung eines Wärmehaushalts (oder einer Energiebilanz) miteinander in Beziehung gesetzt werden, um die an einem bestimmten Punkt verfügbare Gesamtenergie zur Erwärmung oder Abkühlung der Fließgewässertemperatur zu erhalten (Caissie 2006; Webb et al. 2008).

Studien, die die Energiehaushalte von Fließgewässern und den relativen Einfluss verschiedener Faktoren untersuchen, zeigen, dass kurzwellige Strahlung, insbesondere direkte Sonneneinstrahlung, den Wärmehaushalt von kleinen und mittleren Fließgewässern dominiert und daher die größte Determinante der Gewässertemperatur an Sommertagen ist (Wondzell et al. 2019; Dugdale et al. 2018; Stein 2018; Trimml et al. 2018; Melcher et al. 2016; Johnson 2004).

Die Beschattung von Fließgewässern beeinflusst den direkten Strahlungseintrag von kurzwelliger Strahlung maßgeblich und wirkt sich somit auf den Wärmeaustausch zwischen der Gewässeroberfläche und der Atmosphäre aus. Ufergehölze und andere beschattende Objekte verhindern also, dass ein Teil der kurzwelligen Sonnenstrahlung die Wasseroberfläche erreicht und reduzieren somit den strahlungsbedingten Wärmeeintrag (Wondzell et al. 2019; Trimml et al. 2018, Stein 2018; Melcher et al. 2016; Imholt et al., 2013; Hester & Doyle 2011; Moore et al., 2005).

Der Begriff Fließgewässerbeschattung ist zu verstehen als der Anteil der einfallenden direkten Sonnenstrahlung, der von der Vegetation und / oder der Topografie reflektiert oder absorbiert wird und so die Gewässeroberfläche nicht erreicht. Wie groß der beschattete Anteil der Fließgewässeroberfläche ist, hängt von den morphologischen Eigenschaften des Gewässers und der Ufervegetation sowie vom Sonnenstand ab.

Folgende Komponenten beeinflussen die Fließgewässerbeschattung:

1. Flussmorphologie: Wasserfläche, Gewässerbreite, Gewässerausrichtung, Ufertopografie
2. Vegetationsparameter: Vegetationshöhe, Vegetationsdichte, Vegetationsüberhang
3. Sonnenstand: Jahreszeit, Dauer, Verlauf

1.4 Projektaufbau

Um die Bedeutung von unterschiedlichen Beschattungstypen entlang von Fließgewässern auf die Gewässertemperatur quantitativ und qualitativ zu erfassen, wird für die Studie ein integrativer Ansatz gewählt, der GIS-Modellierungen und hydrologische Feldstudien verknüpft. Die folgende Graphik (Abbildung 2) zeigt den entsprechenden methodischen Ansatz.

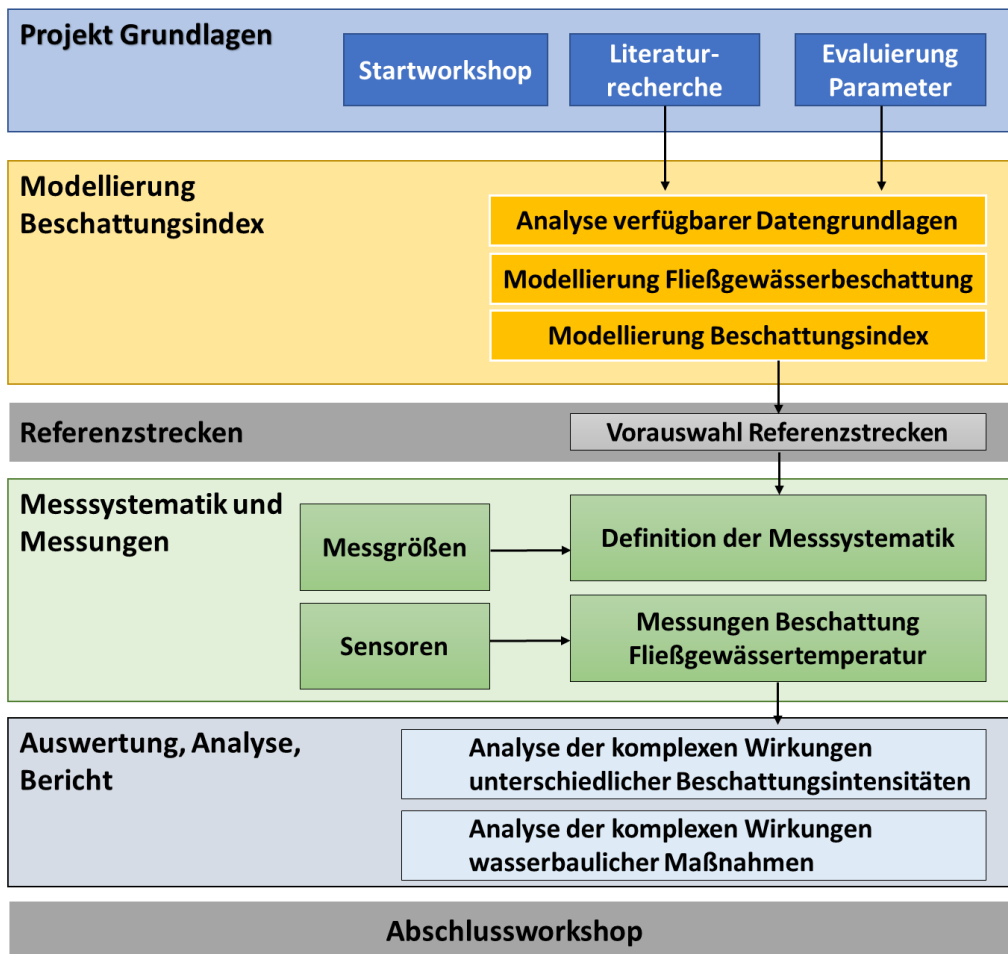


Abbildung 2: Projektablaufdiagramm

Das methodische Grundkonzept zur Ermittlung des Einflusses von Beschattung auf die Gewässertemperatur baut auf einer ausgefeilten Modellierung der Beschattungsformen und Beschattungsintensitäten entlang der Projektgewässer auf, da damit einerseits die Analyse bzw. Interpretation der gewonnenen Messdaten wesentlich verbessert werden und andererseits auch eine gewisse Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gewässer leichter entwickelt werden kann.

Aufbauend auf dem modellierten Beschattungsindex werden Referenzabschnitte in den Gewässern ausgewählt, in denen der Einfluss von unterschiedlichen Beschattungsformen auf die Temperatur im Gewässer gemessen wird.

2 Methodik

2.1 Projektgebiet

Das Projektgebiet umfasst die Fließgewässer

- Aschach, ein Zubringer der Donau (Abbildung 3) sowie
- die Krems, ein Zubringer der Traun (Abbildung 4).

2.1.1 Aschach

Die Aschach, nach Zusammenfluss der Faulen und Dürren Aschach, ist ein 35 km langes Fließgewässer mit einer Einzugsgebietsgröße von 415,9 km². Die Quelle befindet sich auf 365 m.ü.A. und die Mündung auf 264 m.ü.A., womit sich ein durchschnittliches Sohlgefälle von 2,9 ‰ ergibt.

Der Mittelwasserabfluss beträgt $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die Faule Aschach entspringt auf einer Höhe von 430 m.ü.A. und hat auf einer Länge von 14 km ein durchschnittliches Sohlgefälle von 3,8 ‰.

Die Dürre Aschach entspringt ebenso auf einer Höhe von 430 m.ü.A. und weist auf einer Länge von 17 km ein durchschnittliches Sohlgefälle von 4,6 ‰ auf.

Die Aschach mit Fauler Aschach und Dürrer Aschach ist größtenteils stark reguliert und geprägt durch intensive landwirtschaftliche Nutzung sowie durch viele kleinere und zwei größere Zubringer.

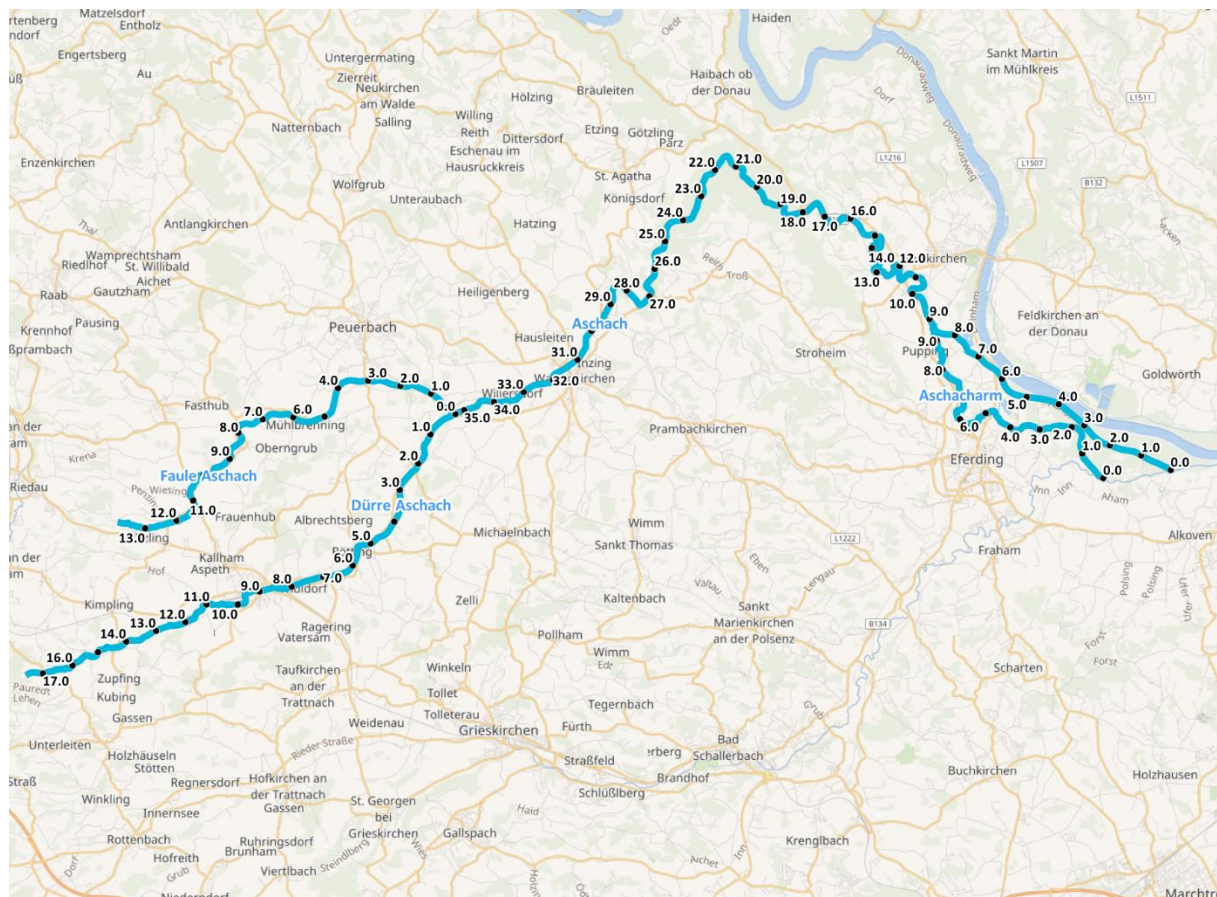


Abbildung 3: Übersicht Aschach, Aschacharm, Faule Aschach & Dürre Aschach

2.1.2 Krems

Die Krems erstreckt sich über eine Länge von 62 km und entspringt am Fuß der Kremsmauer auf 580 m.ü.A. Bis Kirchdorf weist die Krems ein Gefälle von 2 bis 4 % auf, welches sich im weiteren Verlauf allerdings auf 5,3 ‰ verringert.

Die Krems hat nur wenige kleinere Zuflüsse und einen mittleren Abfluss von 5,9 m³/s.

Auch die Krems ist über weite Strecken begradigt und reguliert, sowie durch zahlreiche von intensiver land- und wasserwirtschaftlicher Nutzung (Ausleitungen zur Bewässerung, Restwasserstrecken, etc.) beeinflusst.

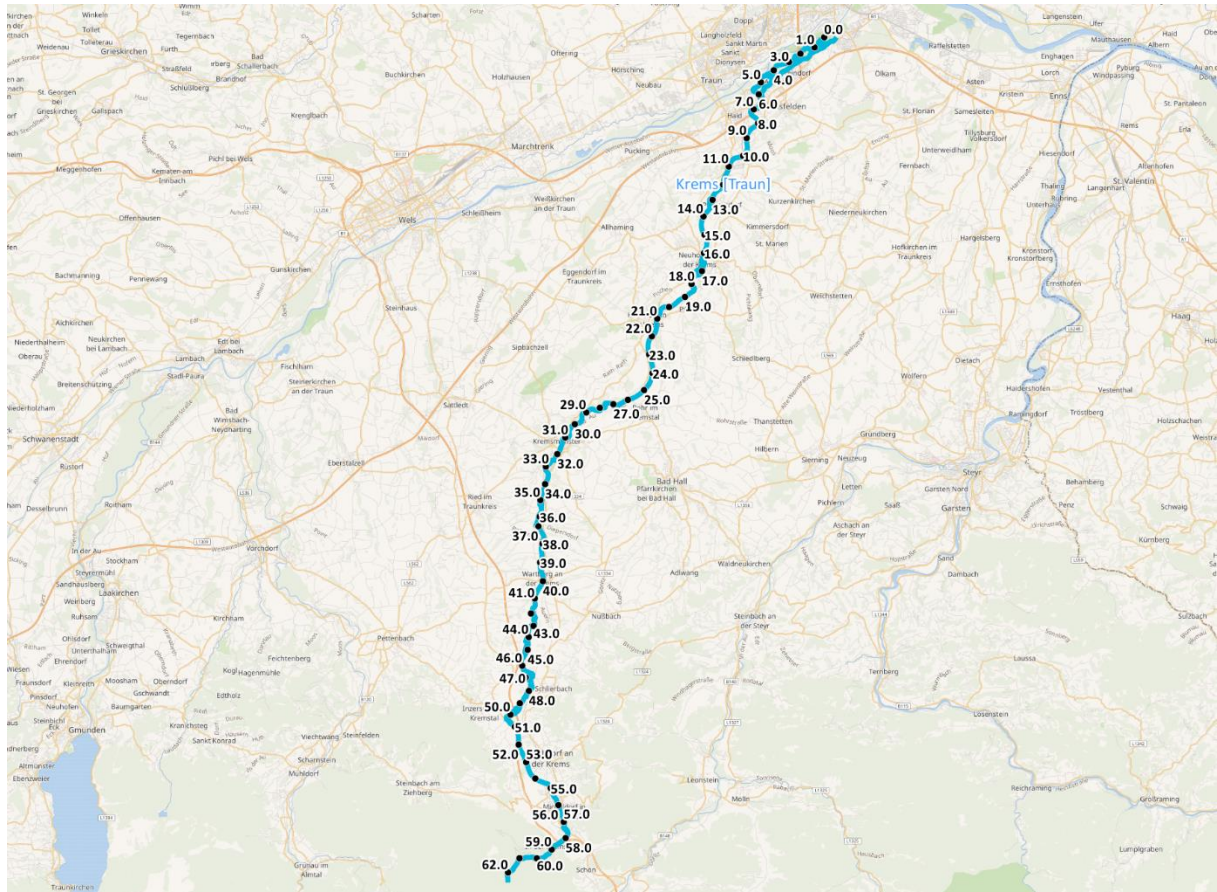


Abbildung 4: Übersicht Krems

2.2 Beschattungsindex

2.2.1 Grundlagendaten

Die wesentliche Voraussetzung für eine Beschattungsanalyse und- modellierung sind qualitativ hochwertige Grundlagendaten. Im gegenständlichen Projekt wurde eine Reihe verschiedener Daten eingesetzt und im Modellierungsprozess an unterschiedlichen Stellen integriert. Die verwendeten Daten setzen sich wie folgt zusammen:

1. Höhendaten (ALS)
2. RGBI Orthofotos

Die Datensätze werden nachfolgend näher beschrieben.

2.2.1.1 Airborne Laserscanning (ALS) – Höhendaten

Airborne Laserscanning (ALS) ist eine Methode der Geodäsie, bei der eine Topographie mit Hilfe von punkweisen Entfernungsmessungen über Laser-Impulse von Flugzeugen aus erfasst wird. Dieses Verfahren dient im Allgemeinen zur Erfassung von Geländehöhen und Objekten auf dem Gelände. Die digitalen Höhenmodelle (DGM & DOM) können frei verfügbar von der DORIS Webseite des Landes Oberösterreich heruntergeladen werden. Im Folgenden werden sie beschrieben:

Digitales Geländemodell

Das digitale Geländehöhenmodell (DGM) beschreibt die Erdoberfläche (natürlicher Boden, ohne Bewuchs und Bebauung) in Form von Punktmengen, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet und in Lage und Höhe georeferenziert sind. Die Punktwolken stammen aus ALS-Befliegungen, die oberösterreichweit im Zeitraum von 2013 bis 2017 durchgeführt wurden. Der final interpolierte Geländedatensatz liegt als GeoTIF mit einer Pixelgröße von 1 m vor. Die horizontale Genauigkeit ist mit +/-40 Zentimeter und die vertikale Genauigkeit mit +/-15 Zentimeter angegeben.

Digitales Oberflächenmodell

Das Digitale Oberflächenmodell (DOM) beschreibt die Erdoberfläche samt allen darauf befindlichen Objekten in Form von Punktmengen, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet und in Lage und Höhe georeferenziert sind. Im Unterschied zum digitalen Geländemodell (DGM) wird somit die Vegetations- und Bebauungsoberfläche dargestellt.

Analog zum zuvor beschriebenen digitalen Geländemodell wird das digitale Oberflächenmodell aus den gleichen ALS-Punktwolken abgeleitet. Diese Punktwolken stammen aus ALS-Befliegungen die oberösterreichweit im Zeitraum von 2013 bis 2017 durchgeführt wurden. Der final interpolierte Oberflächendatensatz liegt als GeoTIF mit einer Pixelgröße von 1 m vor.

2.2.1.2 RGBI Orthofotos

Ein Orthofoto ist eine verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Abbildung der Erdoberfläche. Das Land Oberösterreich stellt die aktuellen Orthofotos in Echtfarbe (RGB) oder als 4-Kanalbilder (RGBI) gratis zum Download zu Verfügung. Die Orthofotos weisen eine räumliche Auflösung (Pixelgröße) von 20 cm auf.

Bei den im gegenständlichen Projekt verwendeten Orthofotos handelt es sich um Infrarot Orthofotos, welche neben den 3 Standard Spektralkanälen Rot/Grün/ Blau noch einen Kanal im nahen Infrarot enthalten. Analysen des Reflexionsverhaltens von Oberflächen im nahen Infrarot haben vor allem im Bereich der Vegetationsanalyse einen großen Mehrwert, da lebende Pflanzen (das Chlorophyll im speziellen) im nahen Infrarot eine vielfach höhere Reflexion aufweisen.

Die im Projekt verwendeten RGBI Orthofotos stammen aus den Jahren 2019 (Krems) und 2020 (Aschach).

2.2.2 Software & Tools

Im Zuge der Bearbeitung des Projektes werden eine Reihe verschiedener Geoinformationssoftware Tools angewendet. Das folgende Kapitel stellt diese kurz vor.

2.2.2.1 ArcGIS

ArcGIS ist ein geografisches Informationssystem (GIS), welches vom Environmental Systems Research Institute (Esri) verwaltet wird. Das Programm ist das führende kommerzielle Programm im Bereich der Geoinformationsverarbeitung. Es eignet sich zum Erstellen und Verwenden von Karten, zum Zusammenstellen von geografischen Daten, zum Analysieren von zugeordneten Informationen, zum Teilen und Erkennen von geografischen Informationen sowie zum Verwalten von geografischen Informationen in einer Datenbank.

Spatial Analyst

Das Toolkit Spatial Analyst ist eine Erweiterung in ArcGIS und stellt ein umfangreiches Paket an Werkzeugen und Funktionen für eine umfassende, Raster-basierte räumliche Analyse bereit. Mit dieser Erweiterung können viele verschiedene Datenformate verwendet werden, um Daten zu prozessieren oder komplexe Rasteranalysen durchzuführen (Terrain-Analysen, Oberflächenmodellierung, Oberflächeninterpolation, hydrologische Analysen, statistische Analysen und Bildklassifizierung).

2.2.2.2 QGIS

QGIS ist eine professionelle GIS-Anwendung, die auf der Grundlage von freier- und Open-Source-Software (FOSS) entwickelt wurde. Es eignet sich wie ArcGIS zum Betrachten, Bearbeiten, Erfassen und Analysieren von räumlichen Daten. Wesentliche Merkmale der Applikation sind die breite Unterstützung gängiger Vektordaten und Rasterdaten wie Shapefile oder GeoTIFF, aber auch räumlicher Datenbanken wie PostGIS und SpatiaLite. Die QGIS-Architektur baut stark auf Erweiterungen auf, und bietet somit einer Vielzahl von unterschiedlichen GIS und Fernerkundungssoftwarepaketen die Integration in die Anwendung an, und können somit vom Benutzer gebündelt in einer Software genutzt werden. (Quelle QGIS, WIKIPEDIA)

2.2.3 Räumliche Analysen

In Anlehnung an das von Li et al. (2012) entwickelte Beschattungsmodell SHADE2 werden eine Reihe wichtiger Parameter mittels folgender Formel in einem Modell integriert und in weiterer Folge die Fließgewässerbeschattung berechnet.

$$SG = \frac{SU_L + SU_R + SV_L * D_L + SV_R * D_R}{WB}$$

Wobei SG der Anteil der beschatteten Gewässeroberfläche, SU_L die Länge des Schattens des linken Ufers auf der Gewässeroberfläche [m], SU_R die Länge des Schattens des rechten Ufers auf der Gewässeroberfläche [m], SV_L die Länge des Schattens der Vegetation am linken Ufer auf der Gewässeroberfläche [m], SV_R die Länge des Schattens der Vegetation am rechten Ufer auf der Gewässeroberfläche [m], D_L die Beschattungsdichte der Vegetation am linken Ufer [-], D_R die Beschattungsdichte der Vegetation am rechten Ufer [-] und WB die Wasserspiegelbreite [m] ist.

Der Anteil der beschatteten Gewässeroberfläche *SG* beschreibt die Abschirmung der direkten kurzwelligeren Sonneneinstrahlung.

Zur Berechnung der Fließgewässerbeschattung werden folgende Parameter mithilfe einer GIS-Modellierung über ein digitales Oberflächenmodell, ein digitales Geländemodell und ein RGBI Orthofoto näherungsweise, für jedes Ufer separat, berechnet.

1. Neigung:

Die Geländeneigung wird aus dem DGM (Kapitel 2.2.1.1) berechnet und liegt in Grad als GeoTIF Raster mit einer Pixelgröße von 1 m vor (siehe Abbildung 5 A).

2. Wasserfläche:

Die Berechnung der Wasserfläche basiert auf einer einfachen Distanzanalyse. Ausgehend von der Fließmittellinie des Gewässers wird hierbei die minimale Entfernung zum Ufer mit der nächstgrößeren Geländeneigung berechnet (siehe Abbildung 5 B). Da die Wasserfläche im DGM in der Regel eine ebene Fläche ist werden Pixel mit einer Geländeneigung größer eines gewissen Schwellenwertes und einer definierten Höhenabweichung nicht mehr als Wasserfläche angesehen.

3. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

NDVI ist ein Standard-Vegetationsindex (VI), der von fast allen vorhandenen Satellitensensoren bzw. Orthofotos mit einem nahen Infrarotkanal abgeleitet werden kann und häufig zur Untersuchung der Vegetationsphänologie verwendet wird. Die spektrale Reflexionskurve von Pflanzen ist durch Chlorophyllabsorption im Rot (Wellenlänge von etwa 600 bis 700 nm) und höhere Reflexion der Strahlung im nahen Infrarot (Wellenlänge von etwa 700 bis 1300 nm) gekennzeichnet. Ein Verhältnis aus beiden Wellenlängen zeigt also die Vitalität einer Pflanze an (vgl. Abbildung 5 C). Je vitaler (grün) eine Pflanze ist, desto größer ist die Zunahme des Reflexionsvermögens in diesem Spektralbereich (NASA 2015). Andere Oberflächenmaterialien wie Boden, Gestein oder tote Vegetation zeigen in beiden Wellenlängen keinen oder nur einen begrenzten Unterschied im Reflexionsvermögen. Dieser Umstand kann dazu dienen, vegetationsbedeckte Landbedeckung von vegetationsfreien Oberflächen zu unterscheiden. Der NDVI wird wie folgt berechnet:

$$\frac{NIR - ROT}{NIR + ROT}$$

4. Vegetationshöhen:

Die Ableitung der Vegetationshöhen erfolgt über die Kombination von NDVI und nDOM. Das normalisierte Oberflächenmodell (nDOM) wird aus der Differenz aus DOM (Kapitel 2.1.1) und DGM (Kapitel 2.1.1) berechnet und dient in erster Linie zur Ableitung von Objekt- und Vegetationshöhen (siehe Abbildung 5 D).

5. Kronendichte

Die Baumkronendichte zeigt das Verhältnis von vegetationsbedeckter Oberfläche (ab einer Höhe von 2 m) und vegetationsloser Oberfläche bzw. niedrig wachsender Vegetation in einer bestimmten Bewertungseinheit an. Als Bewertungseinheit wird im gegenständlichen Projekt ein 5 m Hexagongrid gewählt (siehe Abbildung 5 E). Zur Ermittlung der Dichte wird der Vegetationsraster mit dem Hexagongrid verschnitten und im Anschluss der relative Anteil an vegetationsbedeckter und

vegetationsfreier Fläche im Verhältnis zur Gesamtfläche der einzelnen Hexagone berechnet. Die Baumkronendichte wird in % angegeben.

6. Vegetationsüberhang

Der Vegetationsüberhang wird mittels der Verschneidung des Vegetationsrasters und der abgeleiteten Wasserfläche generiert (siehe Abbildung 5 F).

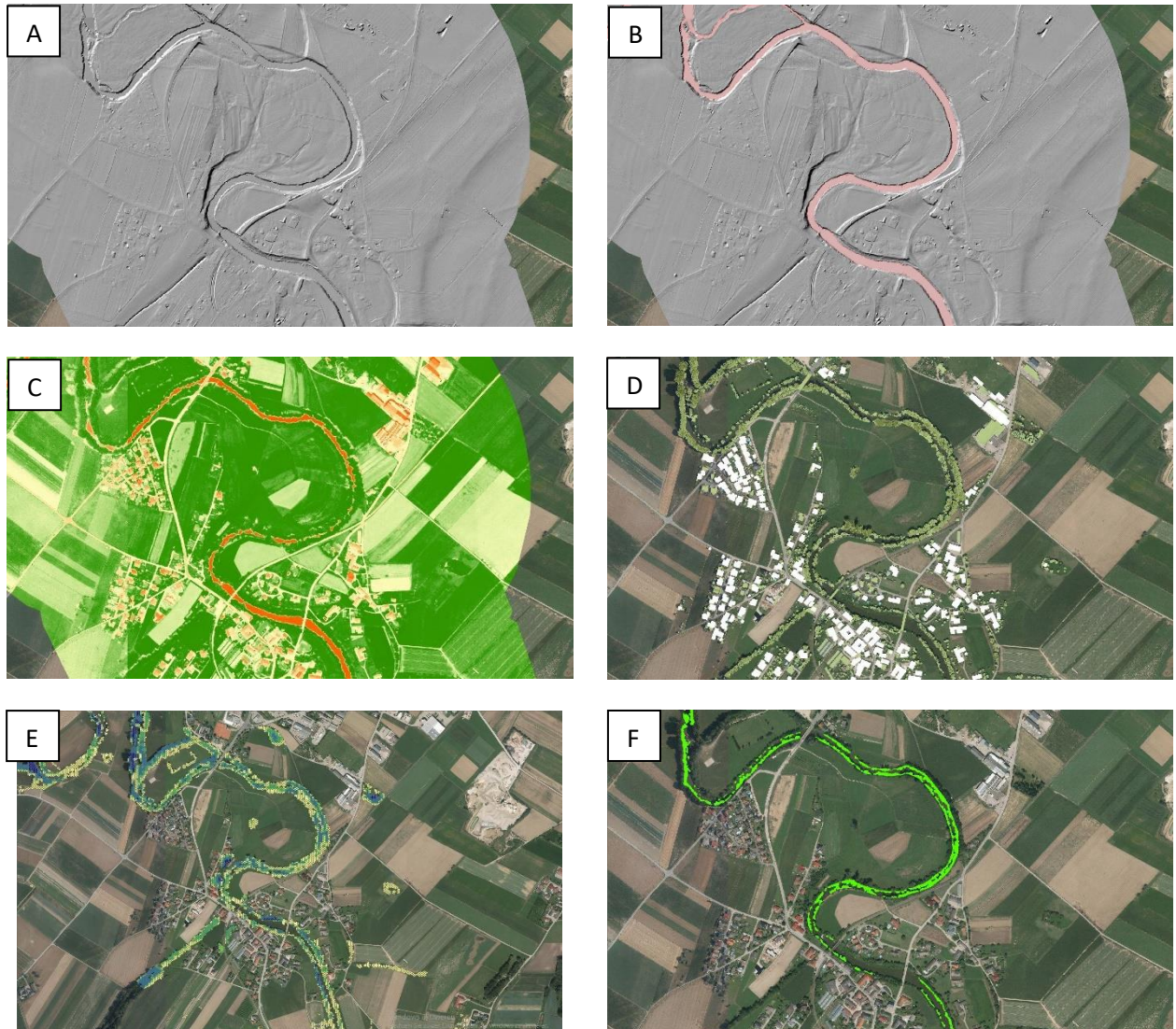


Abbildung 5: Berechnete Parameter zur Modellierung der Fließgewässerbeschattung. A: Ufertopographie. B: Gewässerbereite. C: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). D: Vegetationshöhen. E: Vegetationsdichte. F: Vegetationsüberhang.

7. Länge des Schattens

Die Länge des Schattens, der von Vegetation und Objekten geworfen wird, wird über das UMEP QGIS Plugin (Lindberg und Grimmond 2011) berechnet. Hier wird ein Ansatz gewählt, der die Höhe und den Azimut der entsprechenden Lichtquelle (die Sonne) sowie die Höhe der Vegetation sowie die Objekthöhen in die Berechnung integriert. Nach Ratti und Richens (1999) berechnen sich „Schattenvolumina“ durch sequentielles Verschieben des DOM am Azimutwinkel der Sonne, wobei die Höhe bei jeder Iteration basierend auf dem Elevationswinkel der Sonne verringert wird. Bei jeder Iteration wird ein Teil des Schattenvolumens abgeleitet. (Lindberg und Grimmond 2011).

Im gegenständlichen Projekt werden stündliche Schattenkarten generiert. Die benötigte Information bezüglich der Position der Sonne wird mittels PySolar berechnet, einer Python-Bibliothek für verschiedene sonnenbezogene Anwendungen (<http://pysolar.org/>).

Die Schattenkarten aus diesem Modellierungsprozess dienen als Grundlage zur Ableitung der Längen des Schattens durch die Topografie sowie der Länge des Schattens durch die Vegetation der beiden Ufer.



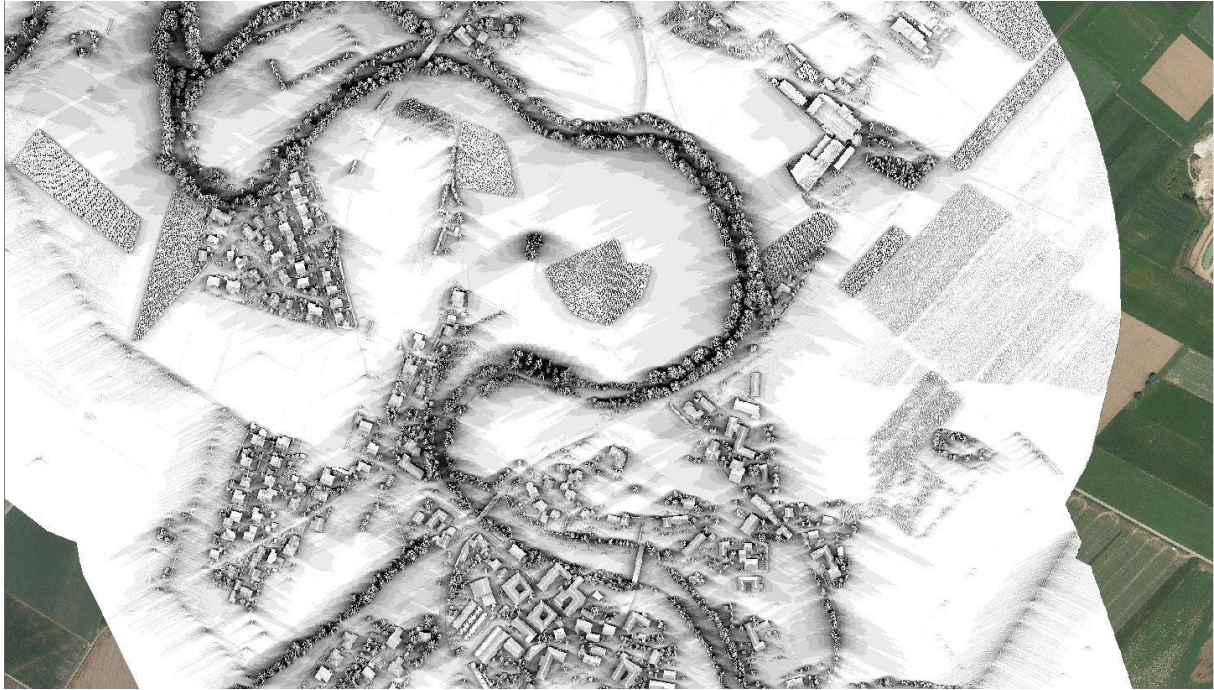


Abbildung 6: Beschattungskarte im Juni (oben), Juli (Mitte) und August (unten) entlang der Aschach. Je dunkler die Fläche desto öfter sind die Pixel am Tag beschattet.

8. Wasserspiegelbreite & Fließrichtung

Die Wasserspiegelbreite wird für jeden 50 m-Abschnitt (siehe nachfolgendes Kapitel und Abbildung 7) über die ArcGIS Toolbox Minimale Begrenzungsgeometrie berechnet. Dabei wird für jeden 50 m-Abschnitt der berechneten Wasserfläche ein Shape berechnet, welches Polygone, die die minimale Begrenzungsgeometrie (Konvexe Hülle) einschließlich der Attribute bezüglich der Länge der kürzeren und Länge der längeren Seite sowie die Orientierung des Eingangsshapes beinhalten.

Der Beschattungsindex wird für die Monate Juni, Juli, August und September 1-mal alle 2 Wochen als ein gewichtetes Mittel für einen kompletten Tagesgang (Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang) gerechnet (siehe Abbildung 6). Die Gewichtung erfolgt über die theoretisch mögliche Strahlungsdichte (direkte kurzwellige Strahlung) zu einem bestimmten Zeitpunkt im Tagesgang.

Basierend auf der zuvor angeführten Formel (SG) und der, aus den Grundlagendaten berechneten Parametern zur Berechnung der Fließgewässerbeschattung, wird der Beschattungsindex ermittelt. Hierfür wird einleitend das Fließgewässer in 50 m breite homogene Gewässerabschnitte links und rechts der Fließmittellinie eingeteilt (siehe Abbildung 7).

Für jeden dieser 50 m breiten Gewässerabschnitte wird die zuvor berechnete Fließgewässerbeschattung jeweils zum maximal möglichen Wert ins Verhältnis gebracht. Der daraus resultierende Wert liegt zwischen 0 und 1, wobei 0 „keine direkte Sonneneinstrahlung bzw. vollständige Beschattung“ und 1 „vollständige Sonneneinstrahlung“ der benetzten Wasserfläche im jeweiligen Abschnitt bedeutet.

Der Beschattungsindex gibt an wieviel Sonneneinstrahlung, in Abhängigkeit von der Beschattung der Ufervegetation, auf die Gewässeroberfläche in einem Abschnitt trifft.

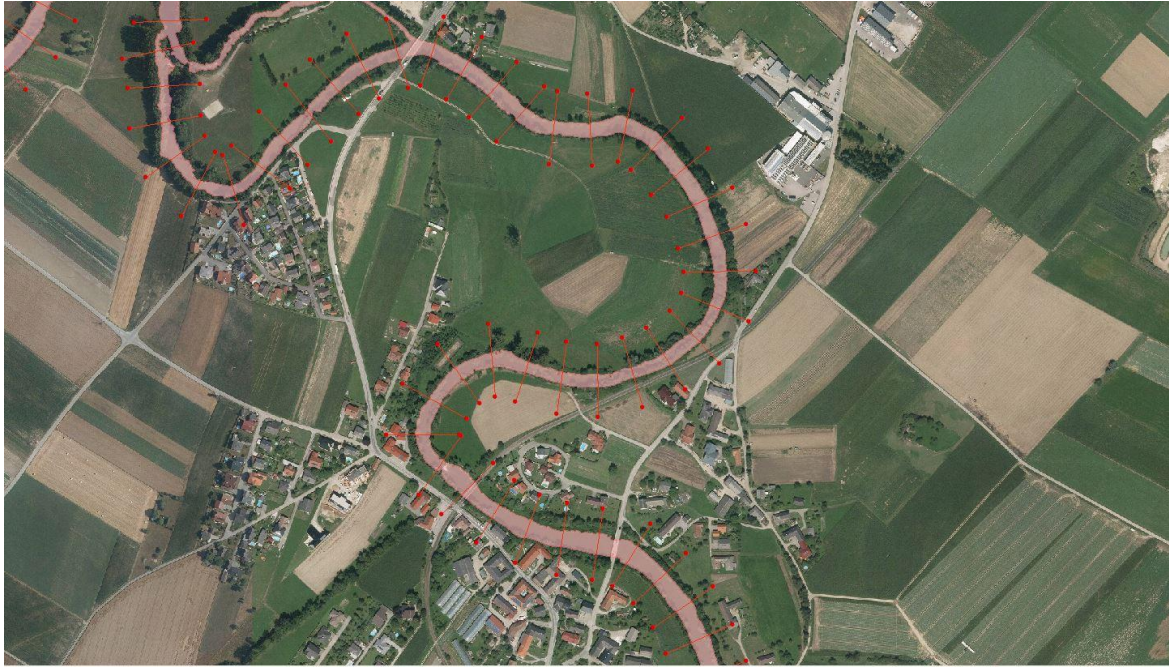


Abbildung 7: Einteilung der berechneten Wasserfläche in 50 m Profile.

Die Werte der Beschattungsintensitäten in den einzelnen 50m Profilen entlang der Aschach und der Krems werden im finalen Schritt gemäß der 25% Quantile in beschattet (0-0,25), überwiegend beschattet (0,25 – 0,5), überwiegend unbeschattet (0,5 – 0,75) und unbeschattet (0,75 – 1) klassifiziert (siehe Abbildung 8).

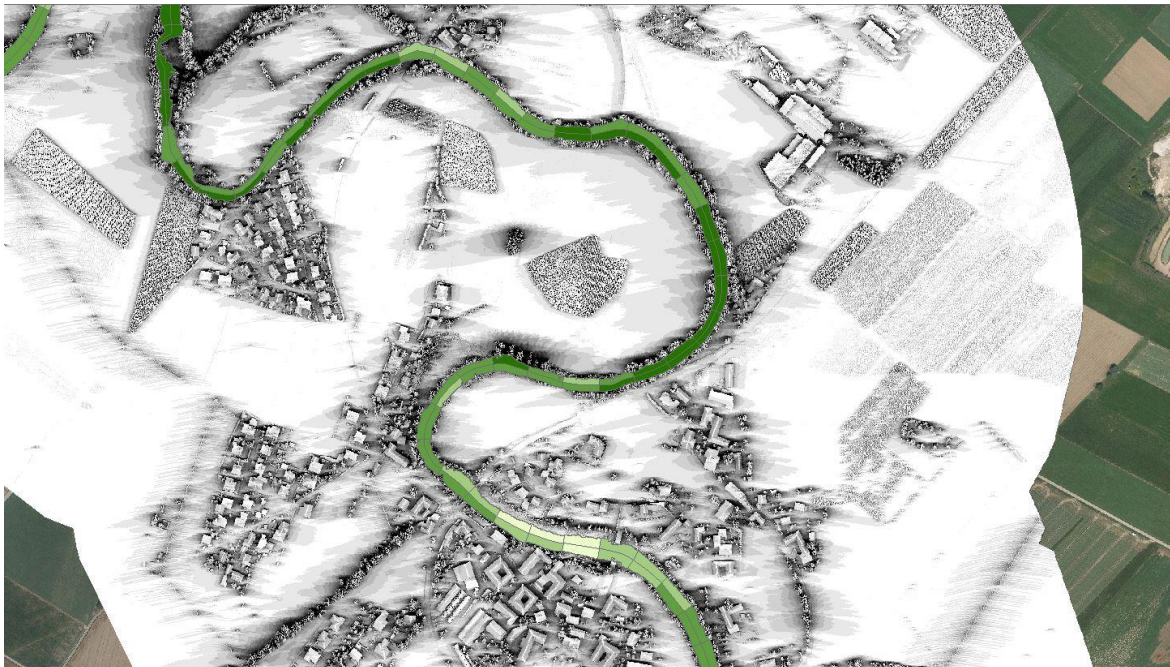


Abbildung 8: Beschattungsindex getrennt nach Ufer

2.3 Auswahl der Referenzgebiete

2.3.1 Vorauswahl auf Basis des Beschattungsindex

Mittels des zuvor berechneten Beschattungsindex wurden jene Gewässerabschnitte ausgewählt, die sich für Feldmessungen besonders eignen. Dabei wurden solche Bereiche als Messabschnitte ausgewählt, die über eine große Länge durchgehend beschattet, überwiegend beschattet, überwiegend unbeschattet oder durchgehend unbeschattet sind. Die Auswahl der Referenzgebiete orientierte sich dabei an der Identifikation möglichst homogener Gewässerabschnitte, die aus dem, für den gesamten Flusslauf berechneten und im 50 m Intervall aufgereihten Beschattungsindex abgeleitet wurden (vgl. Kapitel 2.2).

Bei der Vorauswahl der Referenzstrecken wurden neben dem Beschattungsindex folgende Kriterien herangezogen:

- Wo sind Stau- und Restwasserstrecken vorhanden?
Restwasserstrecken wurden kategorisch bei der Auswahl ausgeschlossen. Staustrecken wurden nur bedingt in Betrachtung gezogen.
- Wo sind Einmündungen größerer Zuflüsse?
Bei der Vorauswahl der Referenzstrecken wurde darauf geachtet, dass sich möglichst keine Zubringer in der Referenzstrecke befinden. In manchen Fällen konnte es jedoch nicht vermieden werden, Zuflüsse in der Referenzstrecke zu haben. Hier wurden zusätzliche Sensoren vor und nach dem Zubringer im Gewässer installiert, um deren Einfluss auf den Hauptstrom zu evaluieren.

Zur Erfassung des Einflusses von Beschattungsintensitäten auf die Gewässertemperatur wurden insgesamt 23 Referenzstrecken in den Gewässern Aschach (13) und Krems (10) identifiziert und ausgewiesen.

Maßnahmen zur Dämpfung der Gewässererwärmung

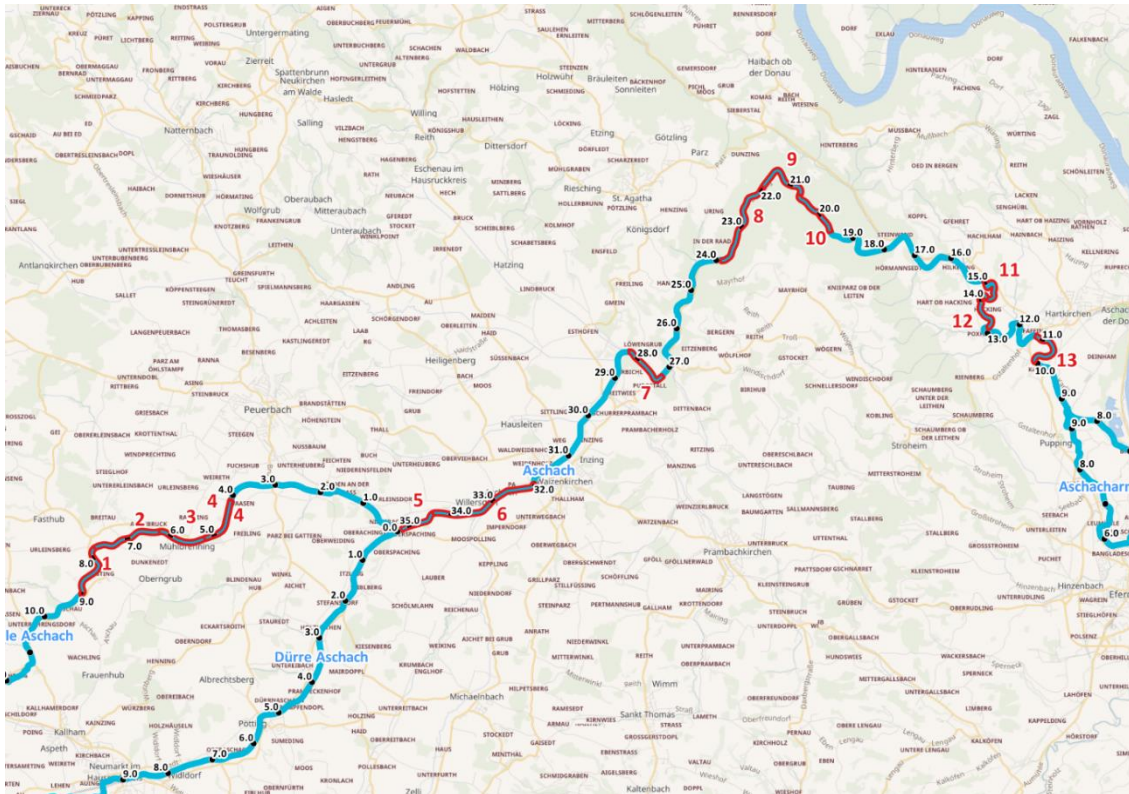


Abbildung 9: Übersicht über die Lage der Referenzstrecken entlang der Aschach und Faulen Aschach.

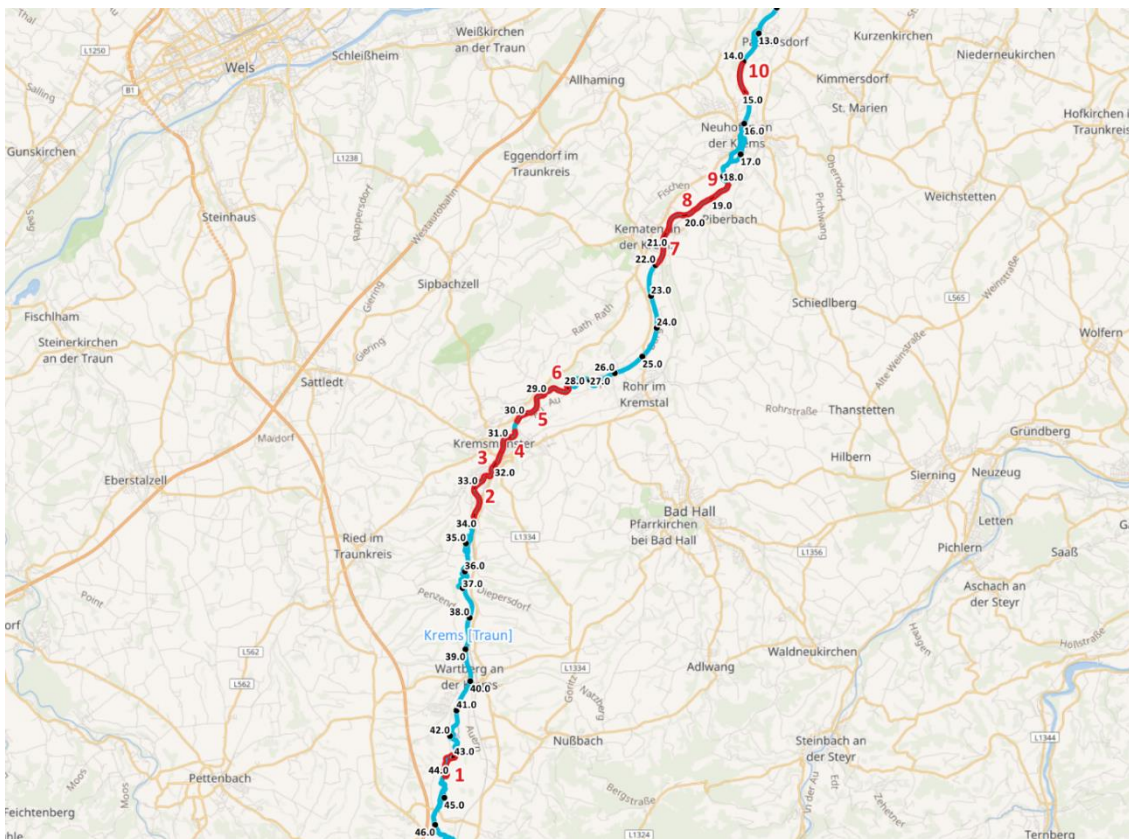


Abbildung 10: Übersicht über die Lage der Referenzabschnitte entlang der Krems.

2.3.2 Begehung im Gelände

Im Zuge einer Begehung beider Gewässer wurden die in der Vorauswahl gewählten Gewässerabschnitte begutachtet und auf Übereinstimmung mit den berechneten Beschattungsindizes überprüft. Ebenso wurden im Zuge der Begehung weitere Aspekte, wie die Möglichkeit der Zufahrt (Besitzverhältnisse) und auch die Zugänglichkeit der Standorte selbst überprüft, um eine reibungslose Sensormontage zu gewährleisten. Die Zeit vor Ort wurde auch genutzt, um soweit möglich Kontakt mit den angrenzenden Grundstücksbesitzern aufzunehmen, um über das Projekt aufzuklären und so offene Fragen zu beantworten oder auch Zufahrtsberechtigungen über landwirtschaftliche Flächen einzuholen. Gegebenenfalls wurden Alternativstandorte gesucht, um möglichst flächendeckend die verschiedenen Beschattungstypen in den Referenzstrecken repräsentiert zu haben. Wurden Standorte als geeignet erachtet, erfolgten erste Handmessungen, um Temperaturunterschiede entlang der Gewässerverläufe festzustellen. Auch die Wassertiefen wurden gemessen, um zu beurteilen, ob am Standort eine Messung an Gewässeroberfläche und Gewässersohle sinnvoll ist. Weiters wurden Kolke (Tiefstellen) gesucht, welche sich eignen den Einfluss von wasserbaulichen Maßnahmen zu beurteilen und eventuelle Temperaturunterschiede in unterschiedlichen Wassertiefen zu messen. Dies waren meist Tiefstellen im Bereich von Buhen, aber auch an mit Kurzbuhnen und Pfahlwänden gesicherten Prallufern, da diese die größte Wassertiefe aufwiesen.

2.4 Vor-Ort-Messungen an Aschach und Krems

2.4.1 Messsystematik

Um Aussagen in Abhängigkeit des Gewässertyps zu erhalten, wurden Messungen an zwei unterschiedlichen Gewässern durchgeführt. Die Auswahl erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber. Um mögliche Unterschiede an Sohle und Oberfläche zu erfassen wurden, wenn die entsprechende Wassertiefe gegeben war, zwei Sensoren – 15 cm unter der Oberfläche und 15 cm über der Sohle (Abbildung 11) - am Messpunkt installiert. Sämtliche Messungen erfolgten in der Gewässermitte.

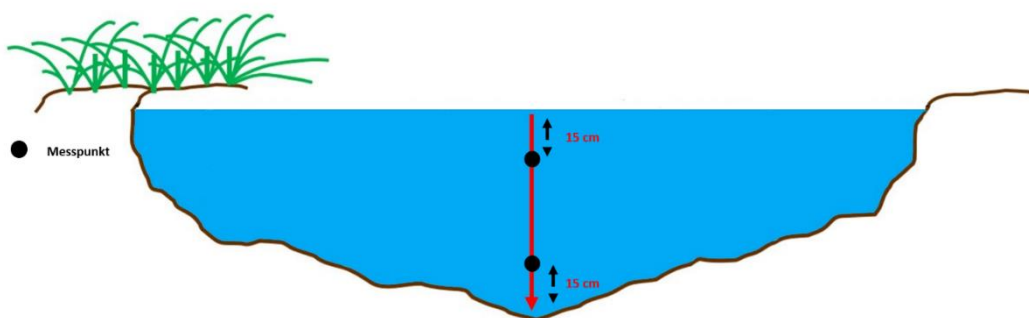


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Messsystematik im Querprofil. Fließgeschwindigkeit wird 15 cm unter der Wasseroberfläche gemessen, die Wassertemperatur wird 15 cm über der Sohle gemessen.

Um repräsentative Aussagen zu den unterschiedlichen Beschattungsintensitäten in einem Gewässer zu erhalten, wurde bei jedem Gewässer darauf geachtet, Messungen in zwei bis drei Referenzabschnitte jeden Typs mit einer durchgängigen Länge von mindestens einem Kilometer durchzuführen. Sensoren wurden jeweils am Anfang und am Ende einer Referenzstrecke positioniert

(siehe Abbildung 12). Weiters wurde darauf geachtet, wenn möglich zusätzliche Einflüsse aus z.B.: Staustrecken oder Zuflüssen zu minimieren. Allerdings war dies nicht in jeder Referenzstrecke möglich, daher wurden diese genutzt, um auch Aussagen über die Einflüsse von Zubringern zu ermöglichen. Hierzu wurden bei Zubringern, welche sich in einem Referenzabschnitt befinden, Sensoren direkt vor und nach dem Zubringer positioniert. Zusätzlich wurden punktuell Handmessungen an den in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Tiefstellen durchgeführt. Anhand dieser Messungen konnte anschließend der Einfluss wasserbaulicher Maßnahmen (Buhnen, Kurzbuhnen zur Strömungslenkung) beurteilt werden.

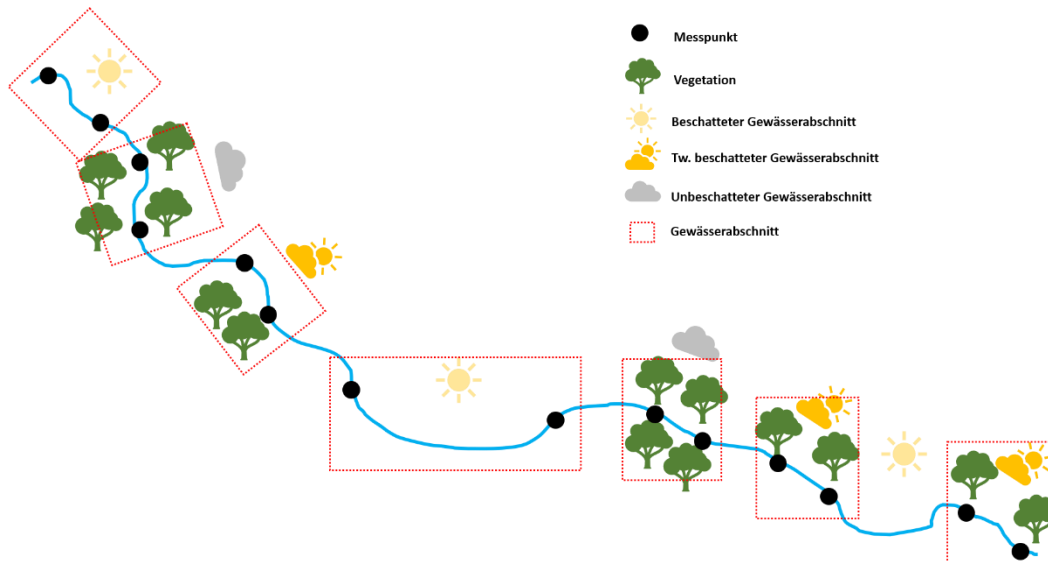


Abbildung 12: Schematische Darstellung über die Standorte der Messpunkte in unterschiedlichen Gewässerabschnitten.

2.4.2 Messgrößen

Um Auswirkungen von Beschattung bzw. fehlender Beschattung auf die Gewässertemperatur zu erfassen, wurden neben der Aufzeichnung der Gewässertemperatur eine Reihe weiterer Parameter aufgenommen. Im gegenständlichen Projekt wurden in den Referenzabschnitten folgende Messgrößen aufgezeichnet (die Standorte der Messungen können den Abbildungen im Ergebnisteil entnommen werden):

1. Wassertemperatur

Die Gewässertemperatur (°C) wurde gemäß der in Kapitel 2.4.1 beschriebenen Messsystematik an insgesamt 43 Standorten mit 60 Sensoren in den beiden Gewässern Aschach und Krems gemessen.

Die Ermittlung und Aufzeichnung der Wassertemperatur erfolgte mit zwei unterschiedlichen Datenloggern im 15 Minutenintervall:

- An der Krems wurden die Tinytag Auqatic 2 eingesetzt (Abbildung 13). Diese können Temperaturen von -40 °C bis +70 °C und einer Genauigkeit von 0,01 °C aufzeichnen.
- An der Aschach wurden die TeMP Sensoren der Firma Blattfisch mit einem Messbereich von -40 °C bis +85 °C und einer Genauigkeit von 0,0625 °C eingesetzt (Abbildung 14).

2. Fließgeschwindigkeit

Für jeden Referenzabschnitt wurde am Anfang und am Ende des Abschnittes die Fließgeschwindigkeit erfasst. Für den jeweiligen Abschnitt wurde dann die mittlere Fließgeschwindigkeit (m/s) berechnet.

Weiters wurde in den einzelnen Referenzabschnitten die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit mithilfe eines magnetisch-induktiven Strömungsmessgerätes der Firma OTT ermittelt (Abbildung 17).

3. Wassertiefe

Die Wassertiefe (in cm) wurde an jedem Standort zur Messung der Gewässertemperatur bestimmt.

4. Lufttemperatur & relative Feuchte

Die Messgrößen Lufttemperatur (°C) und relative Feuchte (%) wurden an insgesamt 16 Standorten in den beiden Gewässern gemessen. Mit Hilfe der Aufzeichnung dieser beiden Parameter können Rückschlüsse auf mikroklimatische Unterschiede in den einzelnen Referenzabschnitten gezogen werden, welche bei der Interpretation der Ergebnisse eine wertvolle zusätzliche Informationsquelle darstellen.

Zur Aufzeichnung der Lufttemperatur und relativen Feuchte in den einzelnen Referenzabschnitten wurden die RS-PRO-USB-2 Temperatur und Feuchtigkeits-Datenlogger eingesetzt (Abbildung 15). Die Lufttemperatur wird mit einer Auflösung von 0,5°C im Messbereich von -34 bis +80 °C erfasst und die relative Feuchte zwischen 0 und 100% und einer Auflösung von 0,5 %. Die Lufttemperatur und relative Feuchte wurden im 15 Minuten Intervall aufgezeichnet.

5. Globalstrahlung

Die Globalstrahlung ist die am Boden von einer horizontalen Ebene empfangene Sonnenstrahlung und setzt sich aus der direkten Strahlung (der Schatten werfenden Strahlung) und der gestreuten Sonnenstrahlung (diffuse Himmelsstrahlung) aus der Himmelskugel zusammen. Bei Sonnenhöhen von mehr als 50° und wolkenlosem Himmel besteht die Globalstrahlung zu ca. 3/4 aus direkter Sonnenstrahlung, bei tiefen Sonnenständen (bis etwa 10°) nur noch zu ca. 1/3 (DWD 2021).

Mittels Aufzeichnung der Globalstrahlung können wiederum Rückschlüsse auf klimatische Unterschiede in verschiedenen Regionen entlang der Referenzgewässer gewonnen werden.

Die Messung der Intensität der Globalstrahlung erfolgte mit dem VOLTcraft DL-131 Datenlogger mit einer Genauigkeit von +/- 10 W/m² (Abbildung 16).

Zusätzlich zu eigenen Aufzeichnungen der oben gelisteten Messgrößen, werden die stündlichen Werte der Lufttemperatur, relative Feuchte, Globalstrahlung, Niederschlag und Sonnenscheindauer der ZAMG Messstationen Kremsmünster und Waizenkirchen ins Projekt integriert.

Tabelle 2-1: Eingesetzte Messgeräte zur Erfassung von Wassertemperatur, Lufttemperatur, relativer Feuchte, Globalstrahlung und Fließgeschwindigkeit

Eingesetzte Messgeräte	
 Abbildung 13: Tinytag Aquatic 2 (Quelle: www.gemindataloggers.com)	 Abbildung 14: TeMP Sensoren Blattfisch (Quelle: www.blattfisch.at)
 Abbildung 15: RS- PRO-USB-2, 1-Kanal Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Taupunkt Datalogger (Quelle: rs-online.com)	 Abbildung 16: VOLTcraft DL-131 LUX Solar-Datenlogger (Quelle: conrad.at)
 Abbildung 17: OTT MF pro Magnetisch-induktives Strömungsmessgerät (Quelle: ott.com)	

2.4.3 Fixierungen

Abbildung 18 zeigt die Fixierung der Sensoren. Eine Bodenplatte aus Beton mit 20 kg Gewicht ist über ein Stahlseil mit einer 3,5 l großen Boje verbunden, welche für den Auftrieb sorgt. Am Stahlseil selbst sind abhängig von der Wassertiefe 1 bis 2 Sensoren - 15 cm unter der Oberfläche bzw. 15 cm über der Sohle - angebracht. Bei der zweiten Messreihe an der Krems wurden die Bodenplatten zusätzlich mit einem weiteren Stahlseil am Ufer fixiert, um auch größeren Hochwässern standzuhalten.

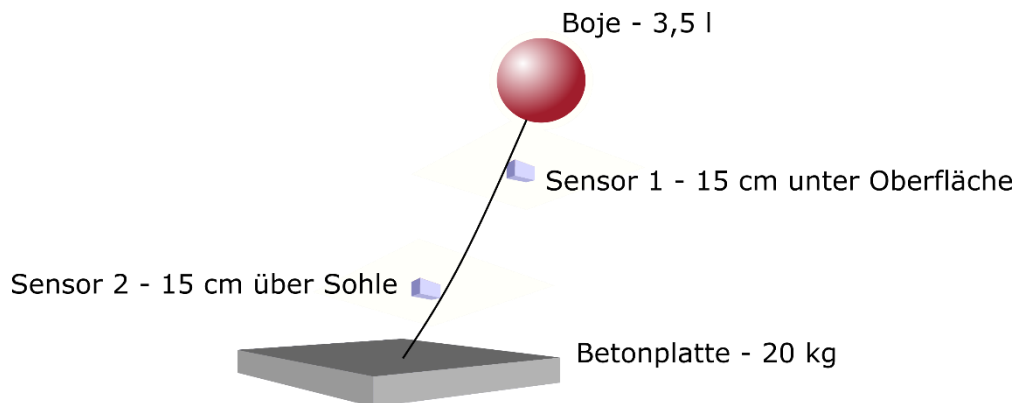


Abbildung 18: Messaufbau mit Sensoren, Bodenplatte und Boje.

2.4.4 Messzeitraum, Wartungen & Besonderheiten

Die Messkampagne an der Aschach startete am 02.07.2021 und wurde am 03.08.2021 beendet. Die erste Messkampagne an der Krems wurde am 30.06.2021 begonnen und am 04.08.2021 beendet.

Wöchentlich erfolgte eine Wartung der gesamten Standorte an der Aschach und der Krems, sowie zwischenzeitlich ereignisbedingte Stichprobenkontrollen an kritischen Standorten.

Trotz einiger kleinerer Hochwässer konnten die Sensoren an der Aschach an 24 der insgesamt 26 Standorte erfolgreich die gesamte Messperiode über Daten aufzeichnen. Bei den verbleibenden 2 Standorten konnten die Daten bis zum 19.07.2021 im Zuge einer Wartung gesichert werden. Nach dem 19.07.2021 verschwanden die Sensoren dieser zwei Standorte. Vermutlich durch menschlichen Einfluss (Vandalismus, Diebstahl), da einer dieser Sensoren bereits bei einer Wartung zuvor einige Hundert Meter stromabwärts mit entfernter Verankerung gefunden wurde.

An der Krems führten mehrere Hochwässer, aber auch menschliche Eingriffe zum Verlust oder zur fehlerhaften Datenaufzeichnung mehrerer Sensoren. Sensoren, die bereits vor der ersten Sicherung verschwanden, wurden ersetzt. Jedoch führten weitere Hochwässer zu weiteren Verlusten, wodurch keine aussagekräftigen durchgehenden Datenreihen aufgezeichnet werden konnten.

Daher wurde im August 2021 eine weitere angepasste Messkampagne an der Krems durchgeführt. Bei dieser konnten alle Sensoren wieder sichergestellt werden und auch vollständige valide Datenreihen im Zeitraum vom 12.08.2021 bis zum 05.09.2021 aufgenommen werden.

Die gesamten Messzeiträume an beiden Gewässern waren durch wechselnde Wetterbedingungen mit wenigen hochsommerlichen Tagen und vielen Unwettern gekennzeichnet. Obwohl nicht die erhofften Hitzewellen aus den vergangenen Jahren in den Messzeiträumen erfasst werden konnten,

wurden dennoch ausreichend strahlungsintensive und heiße Tage aufgezeichnet, um den Einfluss der Beschattung auf die Gewässererwärmung analysieren zu können.

2.5 Statistik

Es wurden folgende Analysen durchgeführt:

1. Generelle Änderungen der Wassertemperatur entlang der beiden Gewässer Aschach und Krems
2. Vergleich der Erwärmungsrate ($^{\circ}\text{C}$ pro km oder $^{\circ}\text{C}$ pro 10 km) zwischen verschiedenen Abschnitten mit unterschiedlicher Beschattungsintensität entlang beider Gewässer
3. Vergleich der Temperatur-Schwankungsbreite in verschiedenen Abschnitten mit unterschiedlicher Beschattungsintensität entlang beider Gewässer
4. Vergleich unterschiedlicher Wassertiefen an ausgewählten Standorten
5. Wirkung wasserbaulicher Maßnahmen (Kolke)

Um die Datenreihen aus den unterschiedlichen Gewässern vergleichen zu können, wurden diese normiert bzw. mithilfe einer z-Transformation standardisiert. Es wurden die gesamten Datenreihen analysiert, sowie weiters die Daten auf Sonnenscheindauer und in weiterer Folge auf die strahlungsintensiven warmen Tage gefiltert und analysiert. Statistische Analysen wurden in Form von linearen Modellen für die Analyse der generellen Temperaturänderungen, sowie zum Vergleich von Tagesmittel und Maximaltemperaturen durchgeführt. Der Vergleich der Erwärmungsraten unterschiedlich beschatteter Abschnitte entlang der Gewässer, wurde mithilfe von gruppenspezifischen t-Tests vorgenommen. Der Vergleich der Temperaturschwankungsbreiten unterschiedlicher Beschattungsintensitäten erfolgte anhand einer Varianzanalyse (ANOVA). Mithilfe von t-Tests konnten statistische Aussagen über unterschiedliche Wassertiefen und die Wirkung wasserbaulicher Maßnahmen getroffen werden. Weiters werden standardisierte und absolute Tagesverläufe von Wassertemperaturen, Lufttemperaturen, relativer Feuchte und Globalstrahlung, als auch Vergleiche unterschiedlicher Wettersituationen statistisch beschrieben.

Die statistischen Analysen wurden in der freien Statistiksoftware R (R Core Team 2015), sowie Anaconda (Python-Distribution) durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Beschattungsindex

Aus den Abbildung 19-Abbildung 23 können die Ergebnisse der Beschattungsindex (BSI)-Modellierung für die Krems, Aschach, Aschacharm, Faulen Aschach und Dürren Aschach entnommen werden. Rein nach Betrachtung der Beschattungsindizes der 50 m-Profile geht klar hervor, dass die Krems einen wesentlich höheren Beschattungsgrad aufweist als die Aschach (vgl. Abbildung 19 und Abbildung 20).

Die Beschattungsindizes an der Krems zeigen einen deutlichen Süd-Nord Verlauf. Im Ober- und Mittellauf des Gewässers sind stark bis überwiegend beschattete Abschnitte dominant, während im Unterlauf (ab km 18) die Beschattung nachlässt und erst im Mündungsbereich der Krems wieder ansteigt (Abbildung 19).

Aus der Analyse des BSI entlang der Krems lassen sich 3 große Bereiche mit einer sehr hohen Einstrahlungsintensität und einer fehlenden Vegetation ableiten (Abbildung 20). Diese Bereiche konzentrieren sich vor allem um die größeren Ortschaften Kremsdorf (bei Flkm. 9), Kematen an der Krems (zwischen Flkm. 20 – 25) und Wartberg an der Krems (zwischen Flkm. 39 - 42).

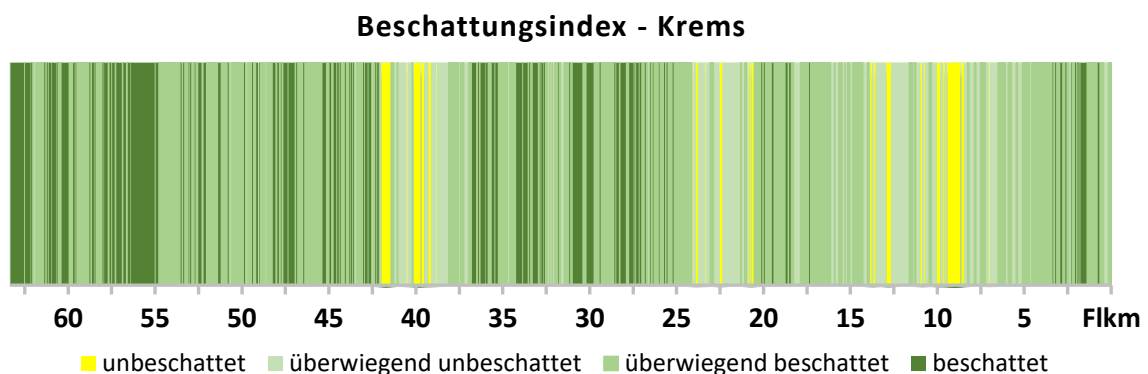


Abbildung 19: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für die Krems. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.

Der Ober- (Flkm. 27-37) und Unterlauf (Flkm. 0-11) der Aschach sind geprägt von fehlender bzw. geringer Ufervegetation. Speziell der Oberlauf der Aschach weist keine Vegetation auf, hier kommt es zu einem nahezu kompletten Strahlungseintrag ins Gewässer (Abbildung 20). Die Ufer des Unterlaufs der Aschach sind zwar mit teilweise dichter Ufervegetation bewachsen, jedoch ist hier die Aschach zu breit, bzw. die Vegetation zu weit von der Uferkante (im Bereich der Aufweitungen zwischen Flkm. 5-7) entfernt, um hohe Beschattungsintensitäten zu erreichen.

Der Aschachdurchbruch (Flkm. 19-24) ist von einer hohen Beschattungsintensität mit Abschnitten einer kompletten Beschattung geprägt (Abbildung 20). Obwohl die Aschach hier stellenweise breit ist, ist dieser Abschnitt, auch auf Grund der Topografie (stark eingeschnitten ins Tal), überwiegend beschattet.

Beschattungsindex - Aschach

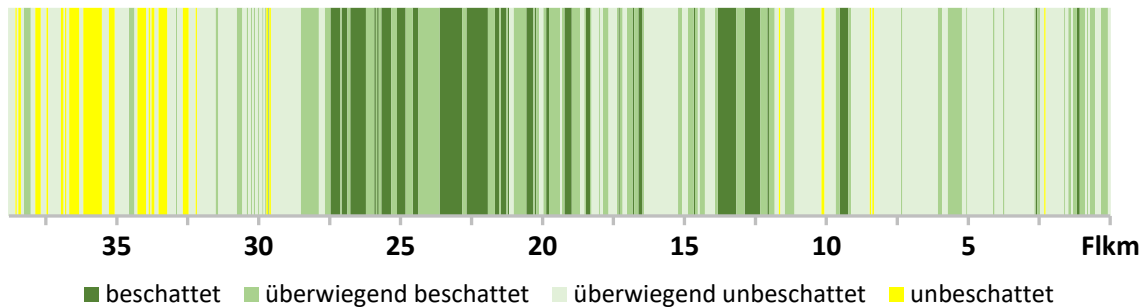


Abbildung 20: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für die Aschach. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.

Die Beschattungswerte entlang des Aschacharmes sind fast durchgehend hoch. BSI Werte, die eine komplette Besonnung mit einem maximalen Strahlungseintrag anzeigen fehlen im Aschacharm vollständig (Abbildung 21). Einzelne Bereiche mit einer überwiegenden Besonnung sind im Unterlauf nahe der Mündung in den Innbach und zwischen den Ortschaften Gstöttenau und Leumühle (Flkm. 8,5-10,5) vorzufinden.

Beschattungsindex - Aschacharm

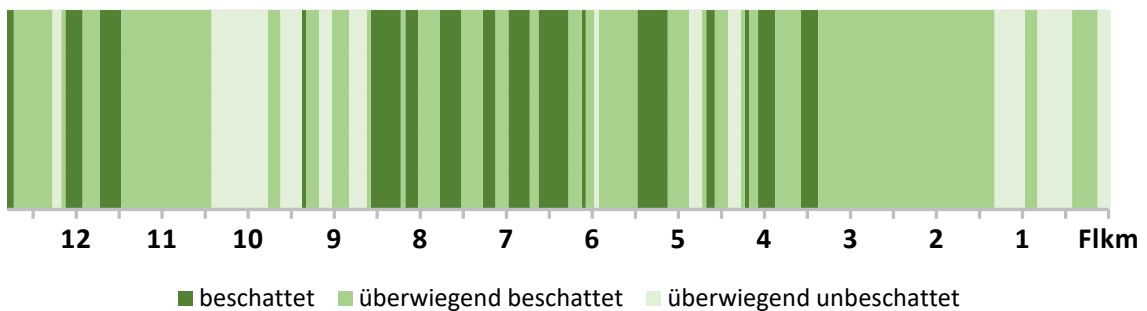


Abbildung 21: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für den Aschacharm. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.

Die Faule Aschach ist in Bezug auf den BSI und die Ufervegetation zweigeteilt. Im Oberlauf der Faulen Aschach sind BSI Werte vorherrschend, die eine komplette und überwiegende Beschattung anzeigen (Flkm. 6-12), während im Unterlauf die Ufervegetation fast gänzlich fehlt und auch die Ufertopografie keinen maßgeblichen Einfluss auf den BSI hat (Abbildung 22).

Beschattungsindex - Faule Aschach

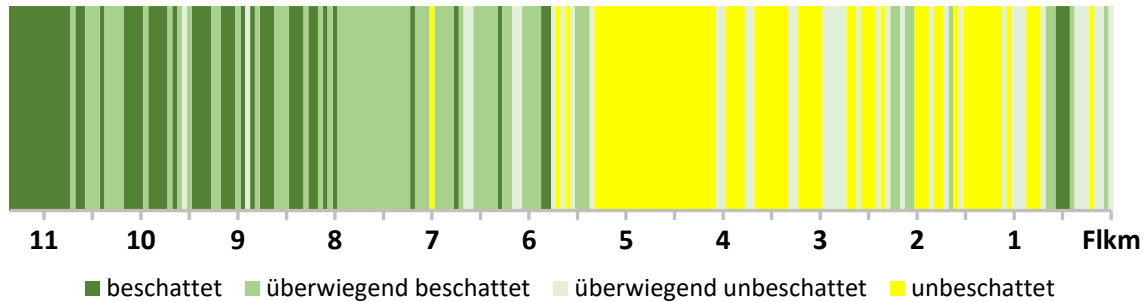


Abbildung 22: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für die Faule Aschach. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.

Die Dürre Aschach ist jenes Gewässer, das den höchsten relativen Anteil an komplett besonnten Flächen mit einem maximalen Strahlungseintrag, im Vergleich mit den anderen Referenzgewässern, aufweist. Im Mittellauf (zwischen Flkm. 4,5-6) sind Abschnitte mit einer überwiegenden und kompletten Beschattung vorzufinden (Abbildung 23).

Beschattungsindex - Dürre Aschach

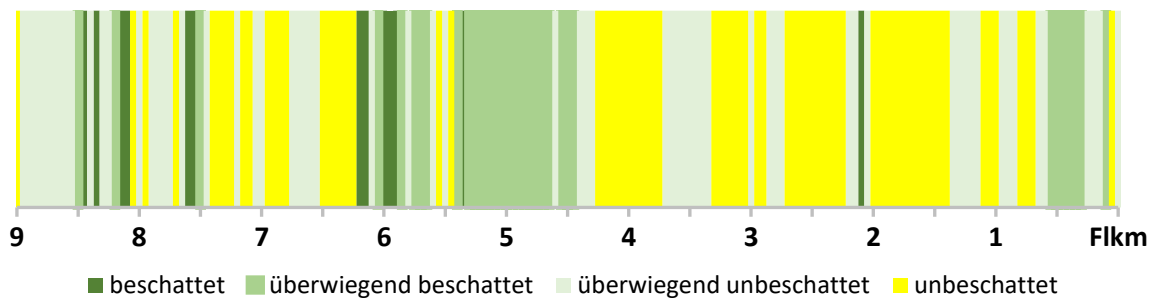


Abbildung 23: Ergebnis der Beschattungsindexberechnungen für die Dürre Aschach. Die unterschiedlichen Beschattungsindizes werden für den gesamten Flusslauf in 50 m breiten Gewässerabschnitten dargestellt.

3.2 Beschreibung der Referenzstrecken

Im Folgenden werden die Referenzstrecken an der Aschach und der Krems, an denen die Vor-Ort-Messungen stattgefunden haben, anhand von Steckbriefen kurz dargestellt (Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2).

Neben Lage und Länge sowie einer kurzen verbalen Beschreibung der einzelnen Gewässerstrecken werden die durchschnittlich errechneten Beschattungsindex (BSI)-Werte und die daraus resultierende Beschattungskategorie sowie die Lage der verschiedenen Messpunkte ersichtlich.

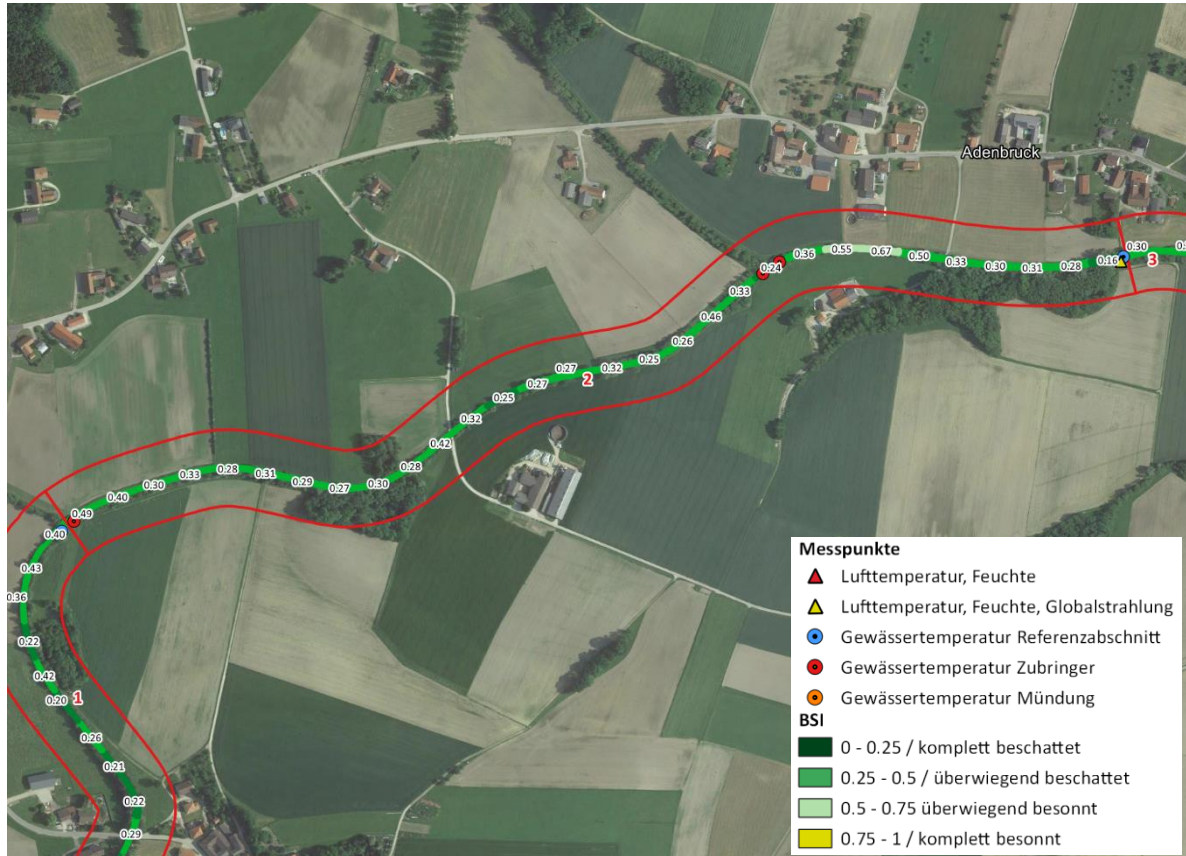
Tabelle 3-1: Kurzbeschreibung Referenzstrecken Aschach





Aschach - Referenzstrecke 2

- überwiegend beschattet
- von Flkm. 7,85 bis Flkm. 6,3 (Faule Aschach)
- Länge: 1,55 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,35
- Besonderheiten: Großteils nur einseitige Ufervegetation





Aschach - Referenzstrecke 3

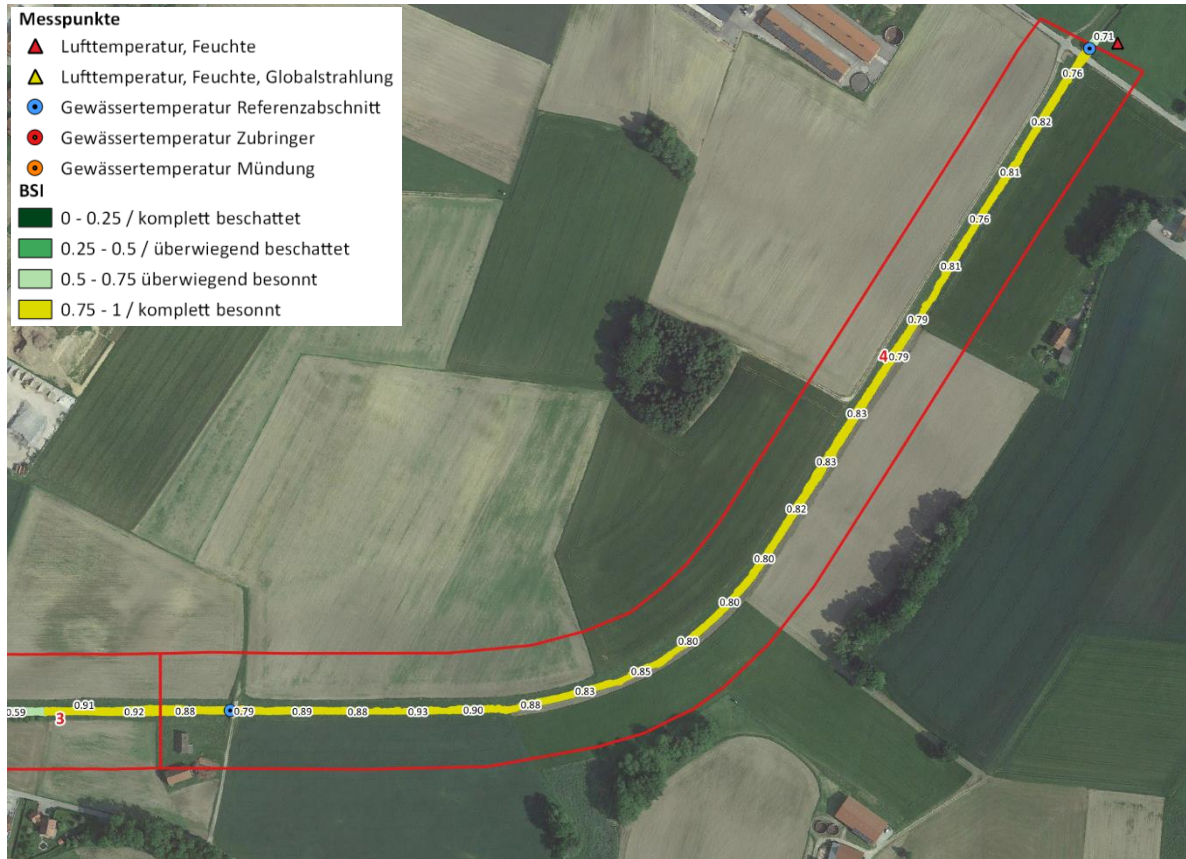
- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 6,3 bis Flkm. 5,2 (Faule Aschach)
- Länge: 1,1 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,56
- Besonderheiten: Anfangs abwechselnd hohe Beschattung und keine Beschattung, später durchwegs geringer lichter Uferbewuchs





Aschach - Referenzstrecke 4

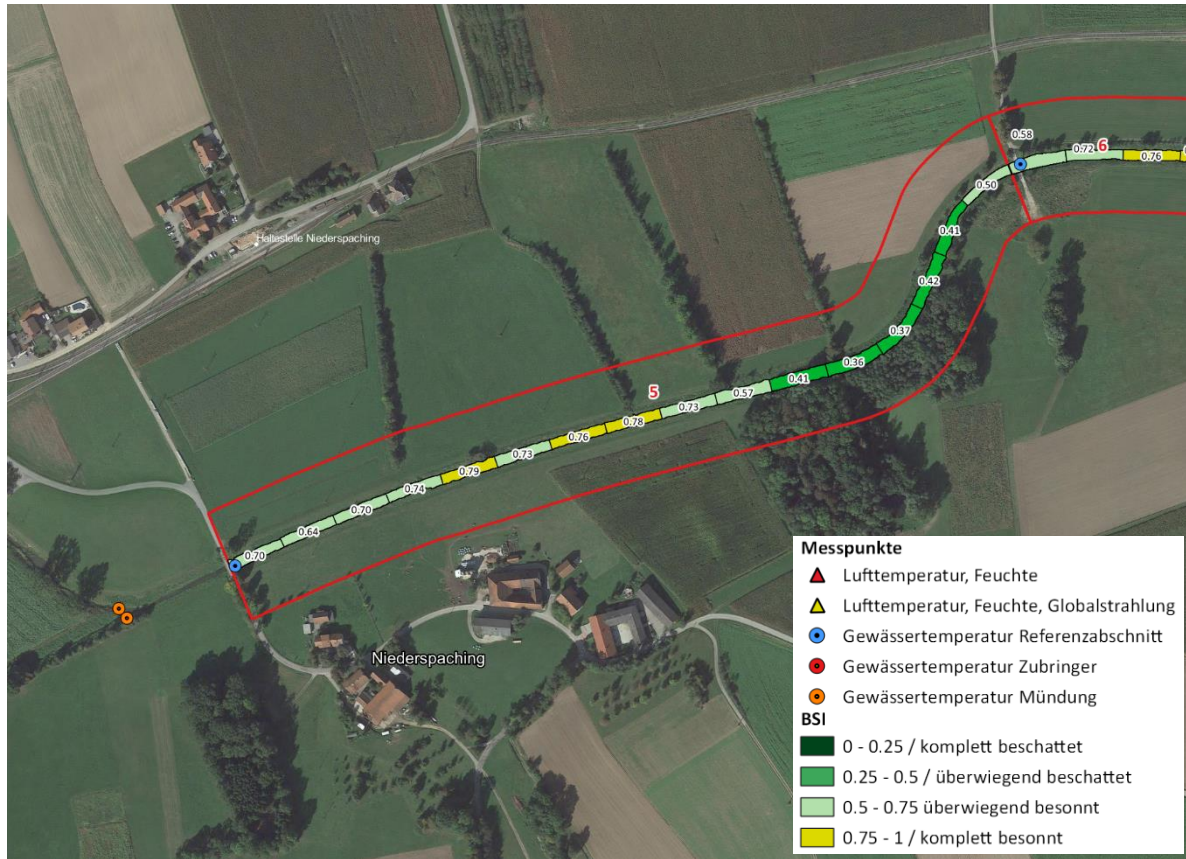
- unbeschattet
- von Flkm. 5,2 bis Flkm. 4,1 (Faule Aschach)
- Länge: 1,1 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,82
- Besonderheiten: gesamte Messtrecke ohne Uferbewuchs





Aschach - Referenzstrecke 5

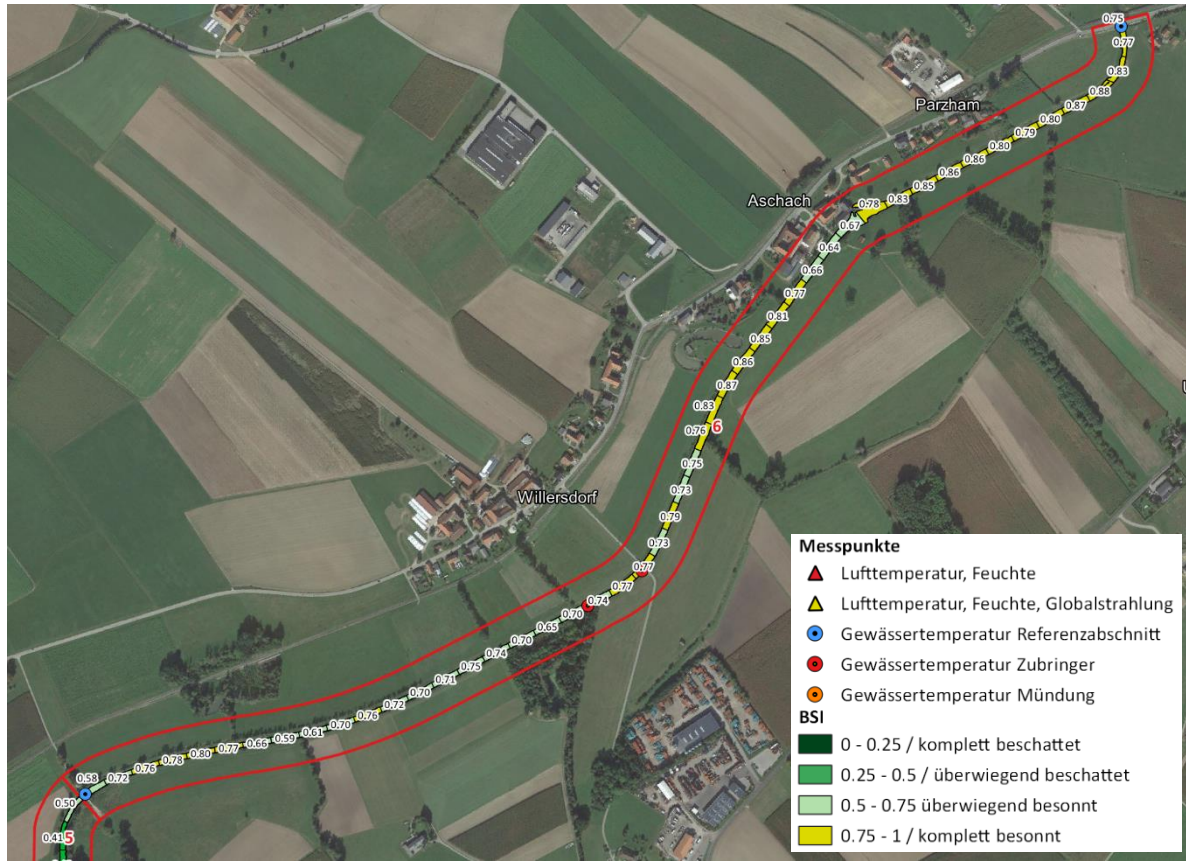
- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 35,2 bis Flkm. 34,4 (Aschach)
- Länge: 0,8 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,61
- Besonderheiten: gesamte Messstrecke nur vereinzelter bzw. lichter Uferbewuchs





Aschach - Referenzstrecke 6

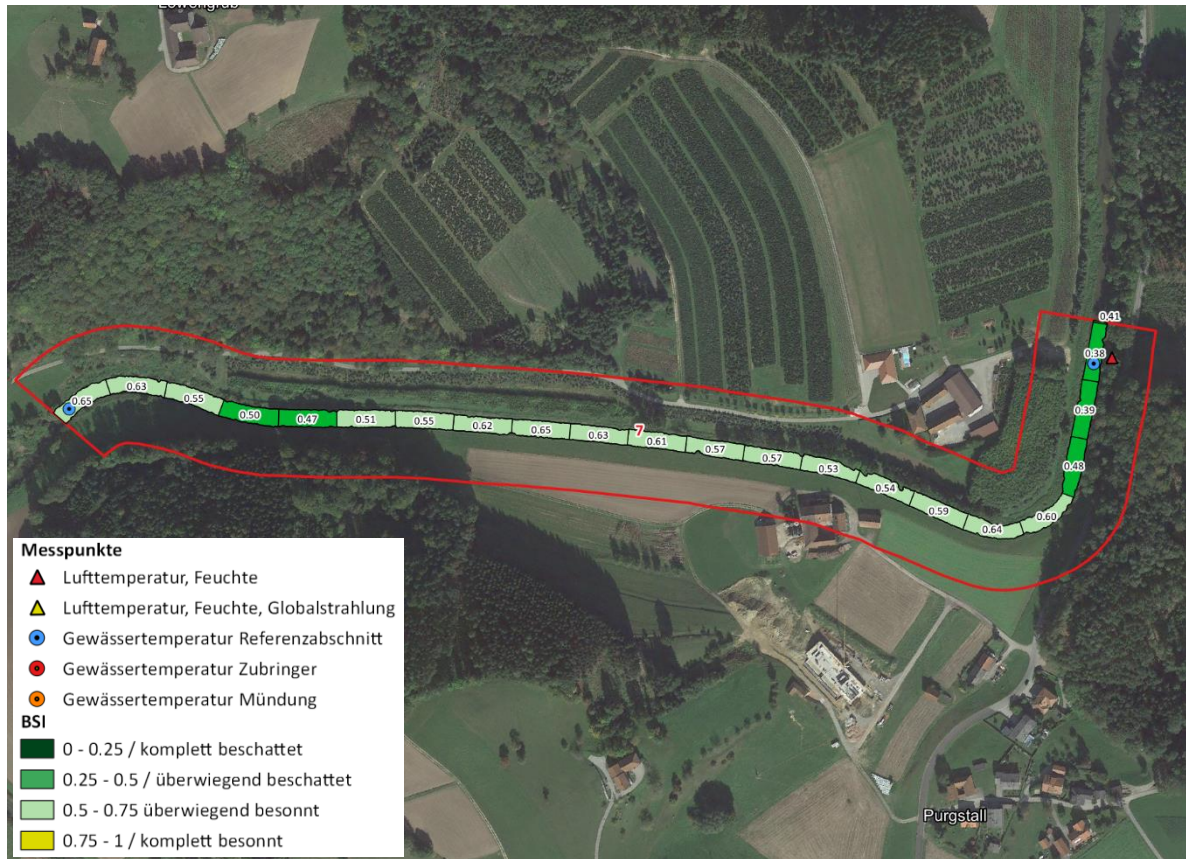
- unbeschattet
- von Flkm. 34,4 bis Flkm. 32,0 (Aschach)
- Länge: 2,4 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,72
- Besonderheiten: gesamte Messstrecke ohne Uferbewuchs





Aschach - Referenzstrecke 7

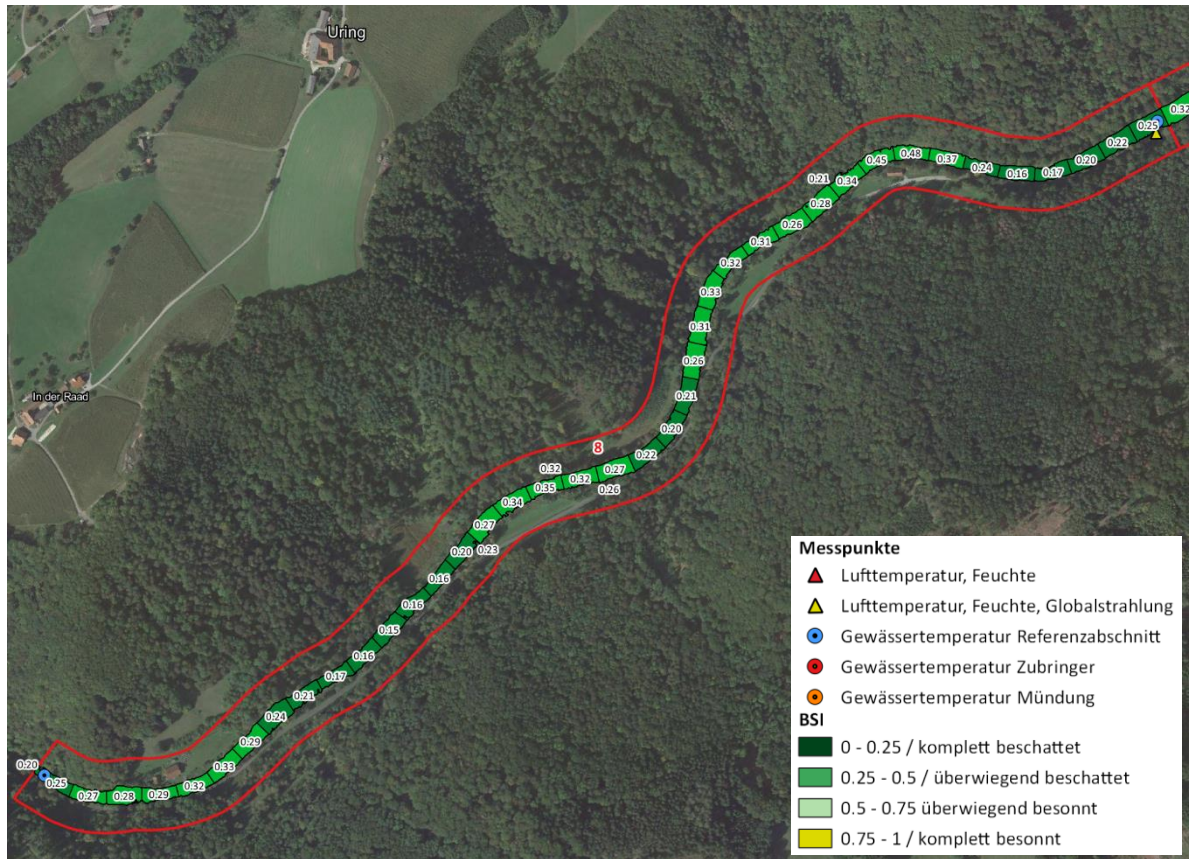
- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 28,25 bis Flkm. 27,3 (Aschach)
- Länge: 0,95 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,58
- Besonderheiten: Bewuchs nicht bis an die Ufer, Zubringer Sandbach führt wesentlich wärmeres Wasser zu





Aschach - Referenzstrecke 8

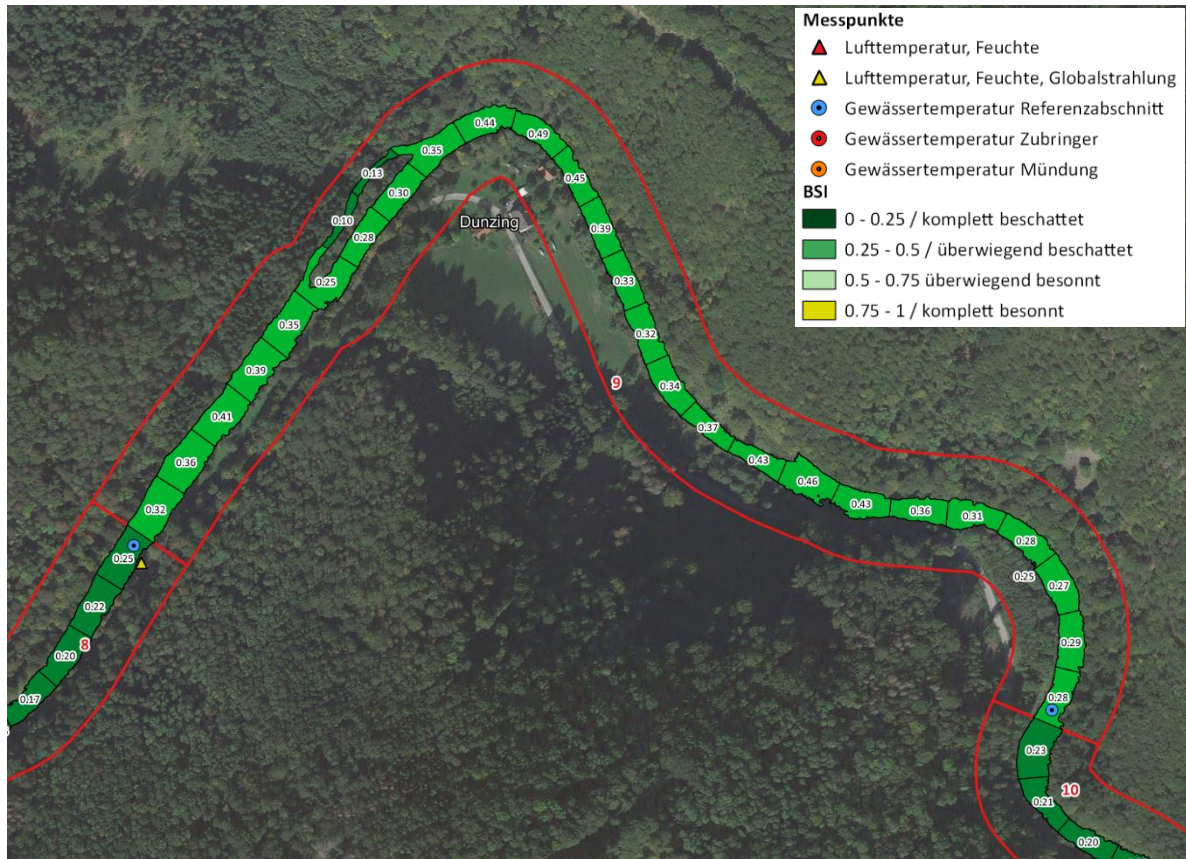
- beschattet
- von Flkm. 23,9 bis Flkm. 21,9 (Aschach)
- Länge: 2,0 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,25
- Besonderheiten: Anfang Aschachdurchbruch, durchgehender Bewuchs bis an die Ufer mit steil ansteigenden Flanken





Aschach - Referenzstrecke 9

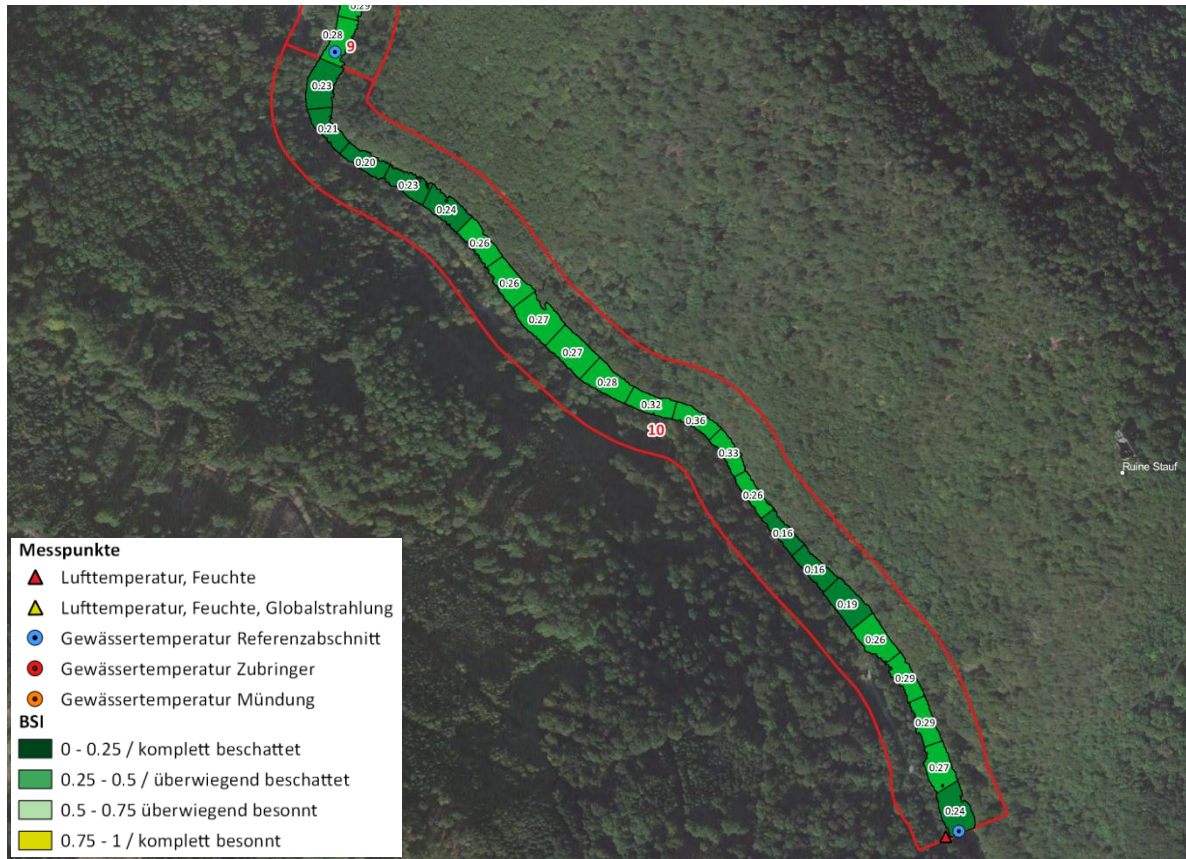
- überwiegend beschattet
- von Flkm. 21,9 bis Flkm. 20,7 (Aschach)
- Länge: 1,2 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,35
- Besonderheiten: Mitte Aschachdurchbruch, durchgehender Uferbewuchs, jedoch wird das Gewässerbett breiter und lässt so mehr Einstrahlung zu





Aschach - Referenzstrecke 10

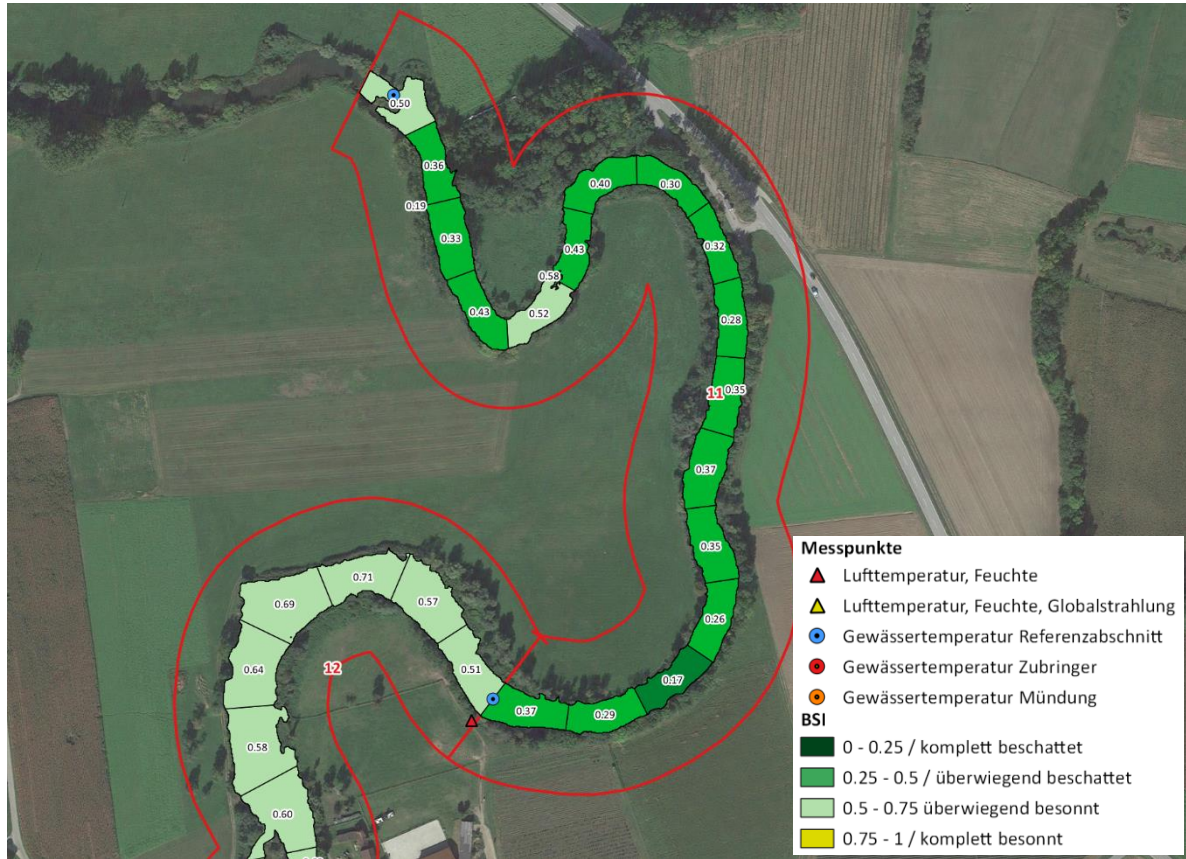
- beschattet
- von Flkm. 20,7 bis Flkm. 19,65 (Aschach)
- Länge: 1,05 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,25
- Besonderheiten: Ende Aschachdurchbruch, durchgehender teils einige Meter überhängender Uferbewuchs





Aschach - Referenzstrecke 11

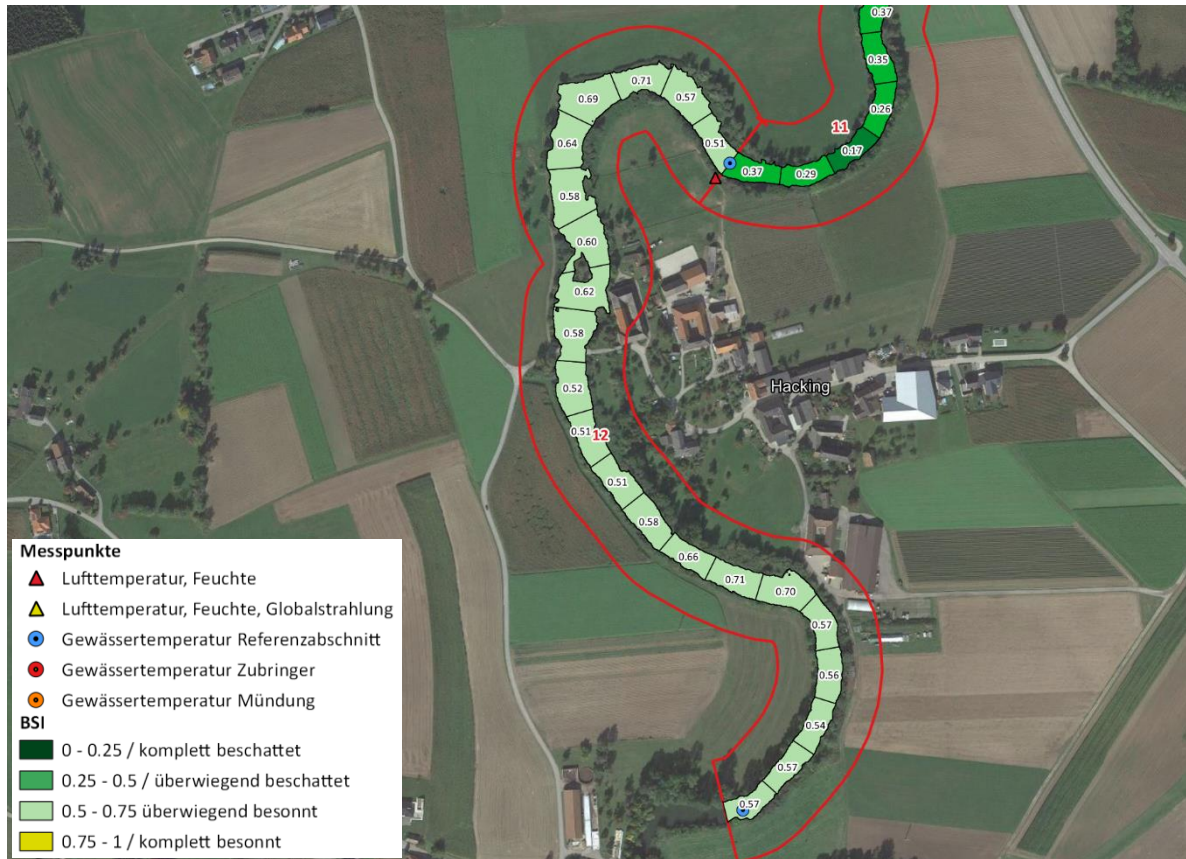
- überwiegend beschattet
- von Flkm. 15,1 bis Flkm. 14,2 (Aschach)
- Länge: 0,9 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,36
- Besonderheiten: Staustrecke vor Wehr, üppiger Uferbewuchs, allerdings große Gewässerbreite





Aschach - Referenzstrecke 12

- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 14,2 bis Flkm. 13,3 (Aschach)
- Länge: 0,9 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,60
- Besonderheiten: Staustrecke, große Wassertiefen, beeinflusst durch Einleitung, meist nur einseitiger niedriger Uferbewuchs



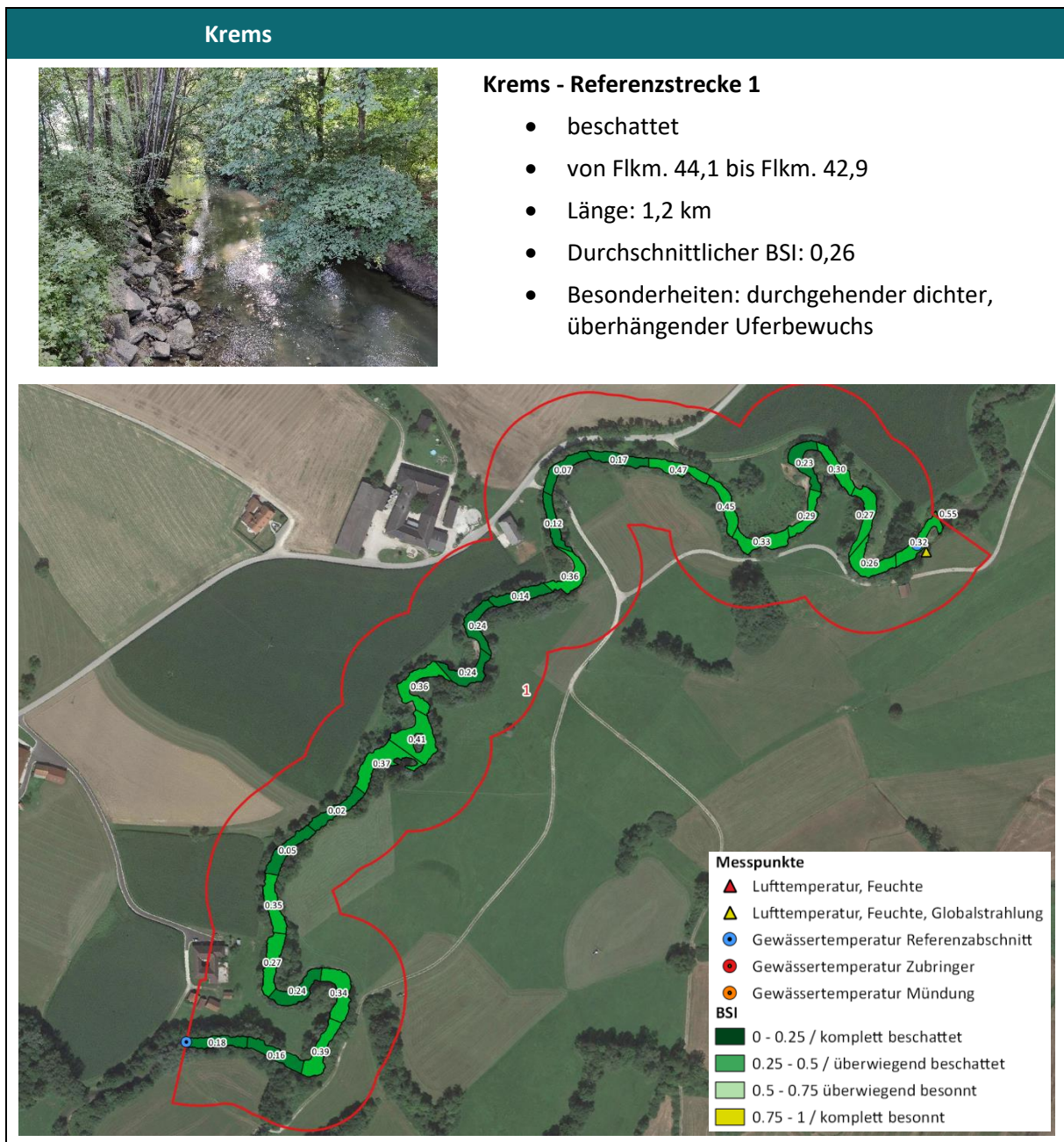


Aschach - Referenzstrecke 13

- beschattet
- von Flkm. 11,2 bis Flkm. 10,1 (Aschach)
- Länge: 1,1 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,26
- Besonderheiten: durchgehender beidseitiger hoher Uferbewuchs



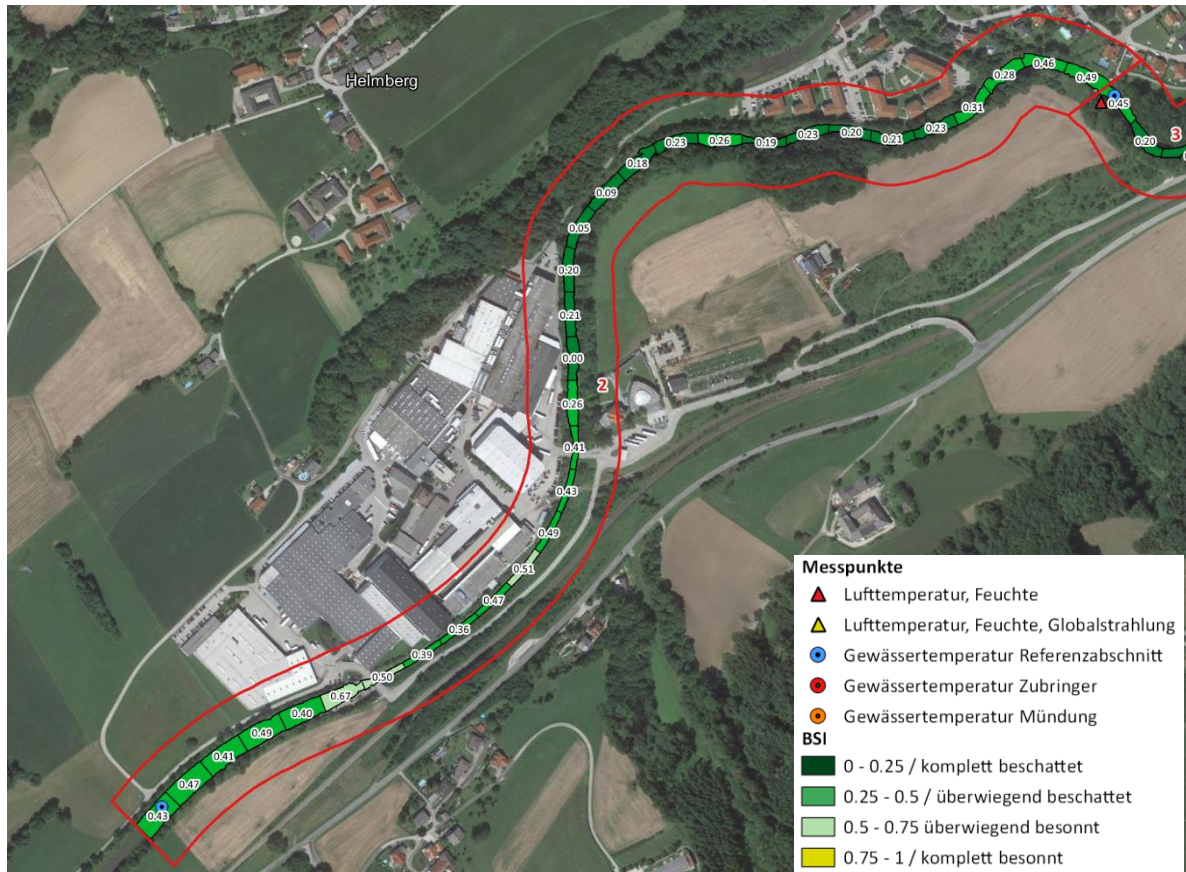
Tabelle 3-2: Kurzbeschreibung Referenzstrecken Krems





Krems - Referenzstrecke 2

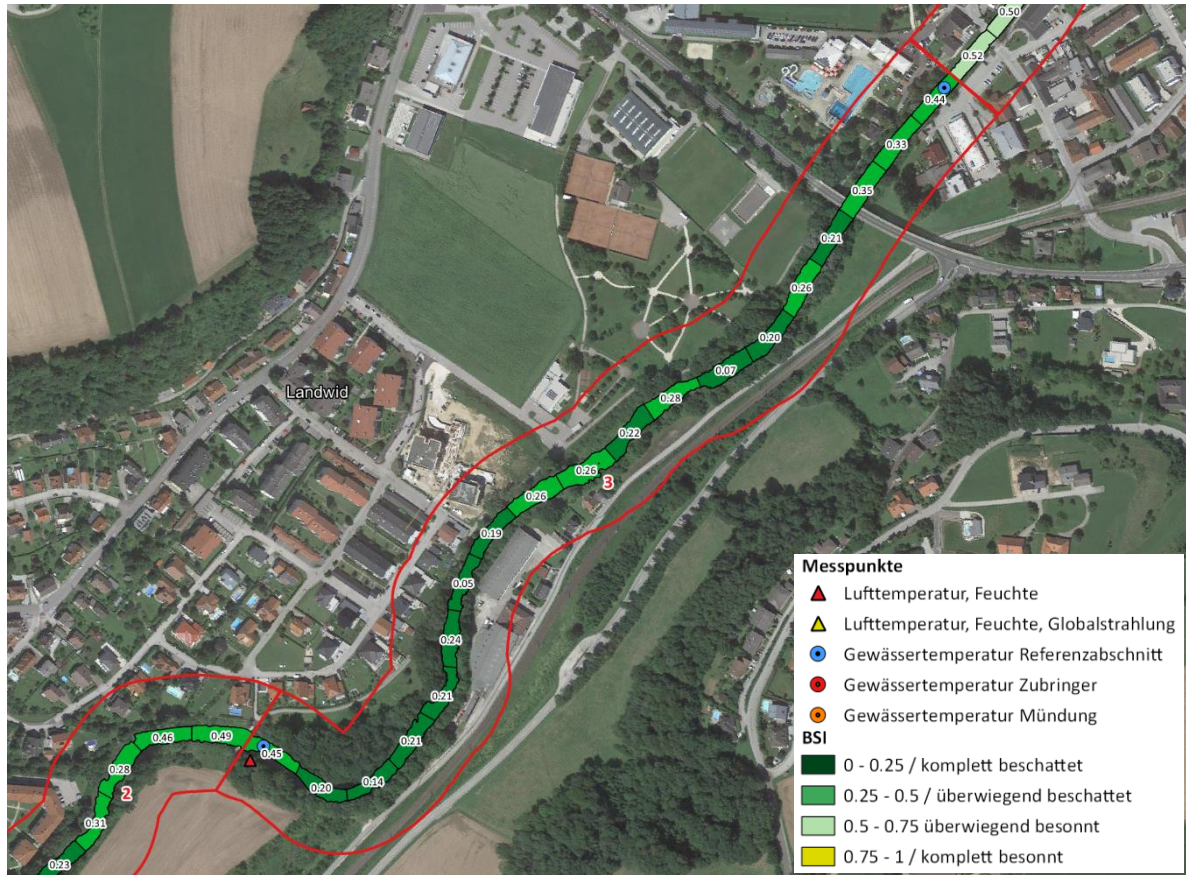
- überwiegend beschattet
- von Flkm. 34,0 bis Flkm. 32,4
- Länge: 1,6 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,32
- Besonderheiten: Anfang in Staustrecke (Greinerwehr), beeinflusst durch Ausleitungen, Wechsel zwischen üppigen und lichterem Uferbewuchs





Krems - Referenzstrecke 3

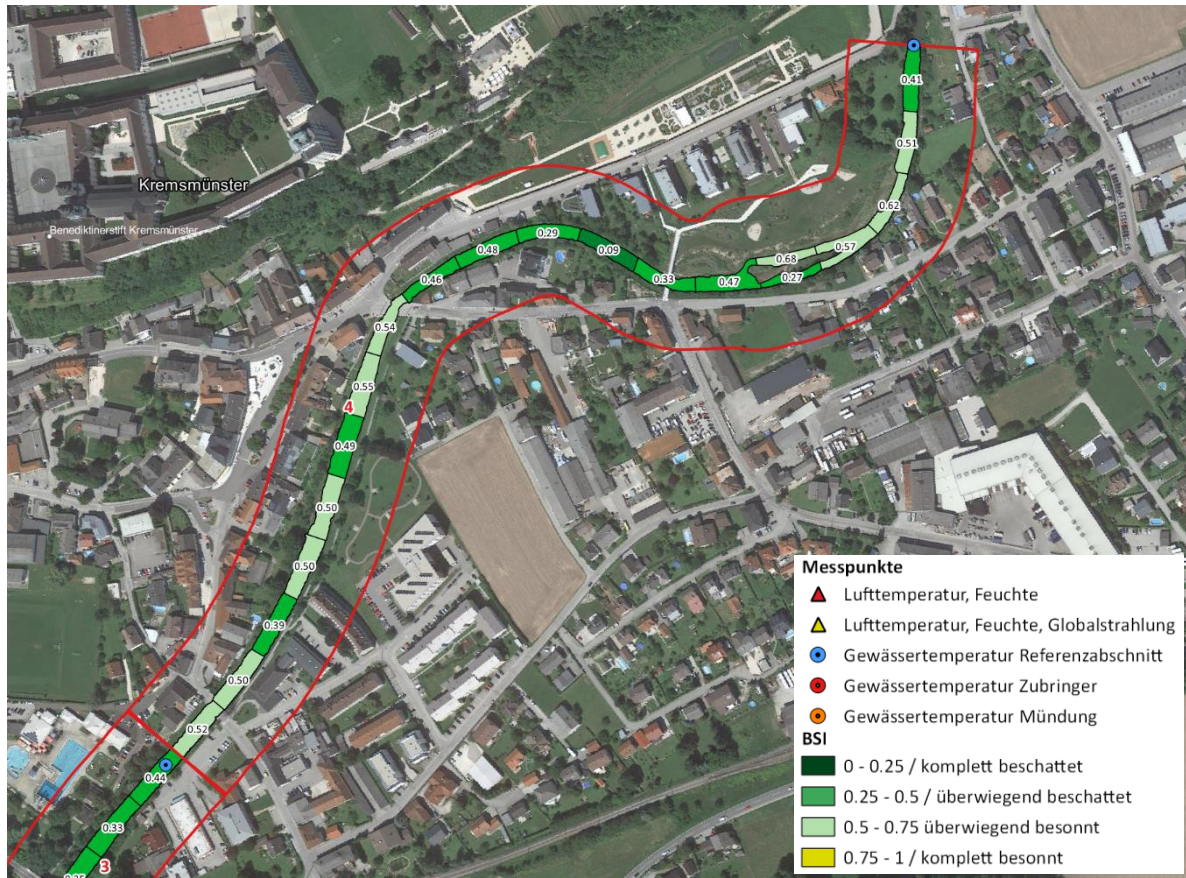
- beschattet
- von Flkm. 32,4 bis Flkm. 31,5
- Länge: 0,9 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,24
- Besonderheiten: durchgehend üppiger teils überhängender Uferbewuchs





Krems - Referenzstrecke 4

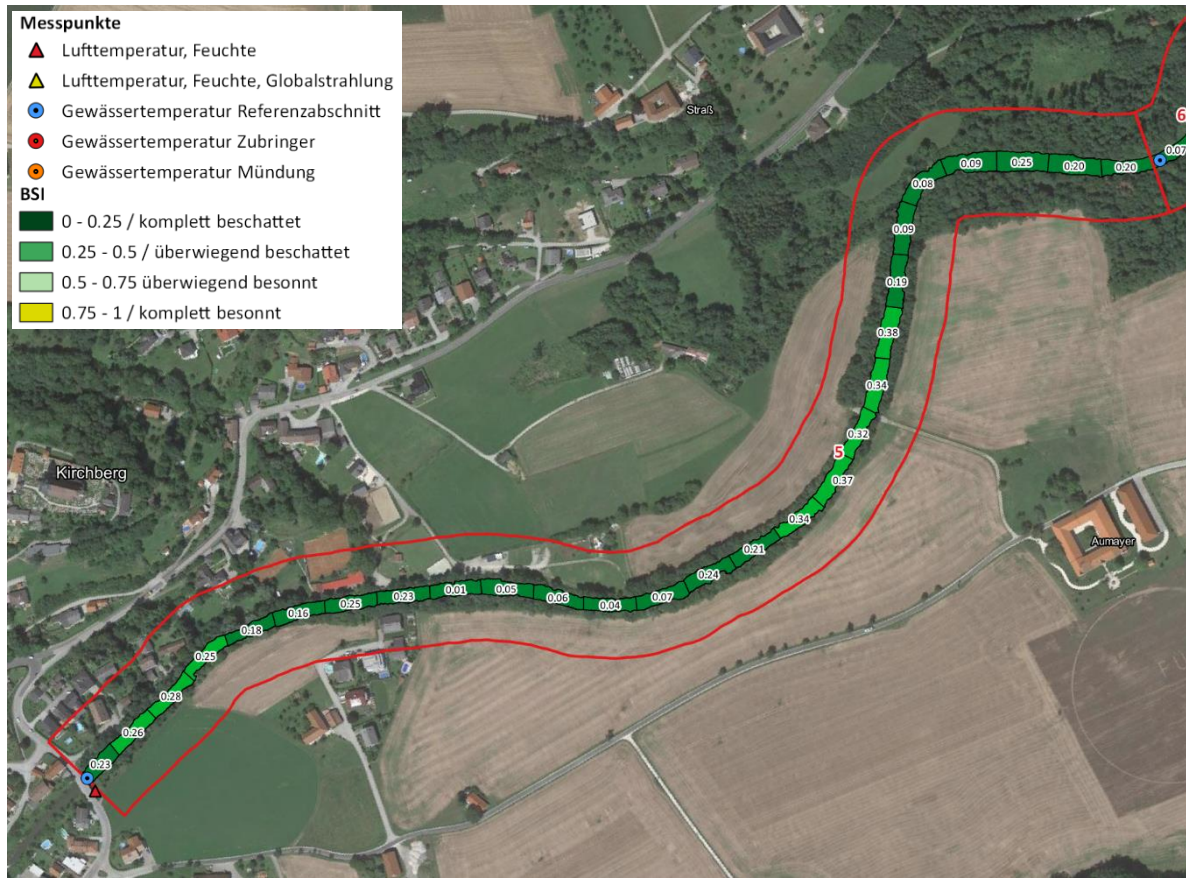
- unbeschattet
- von Flkm. 31,5 bis Flkm. 30,6
- Länge: 0,9 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,66
- Besonderheiten: Stadtstrecke, hohe Ufermauern, kein bis geringer Uferbewuchs





Krems - Referenzstrecke 5

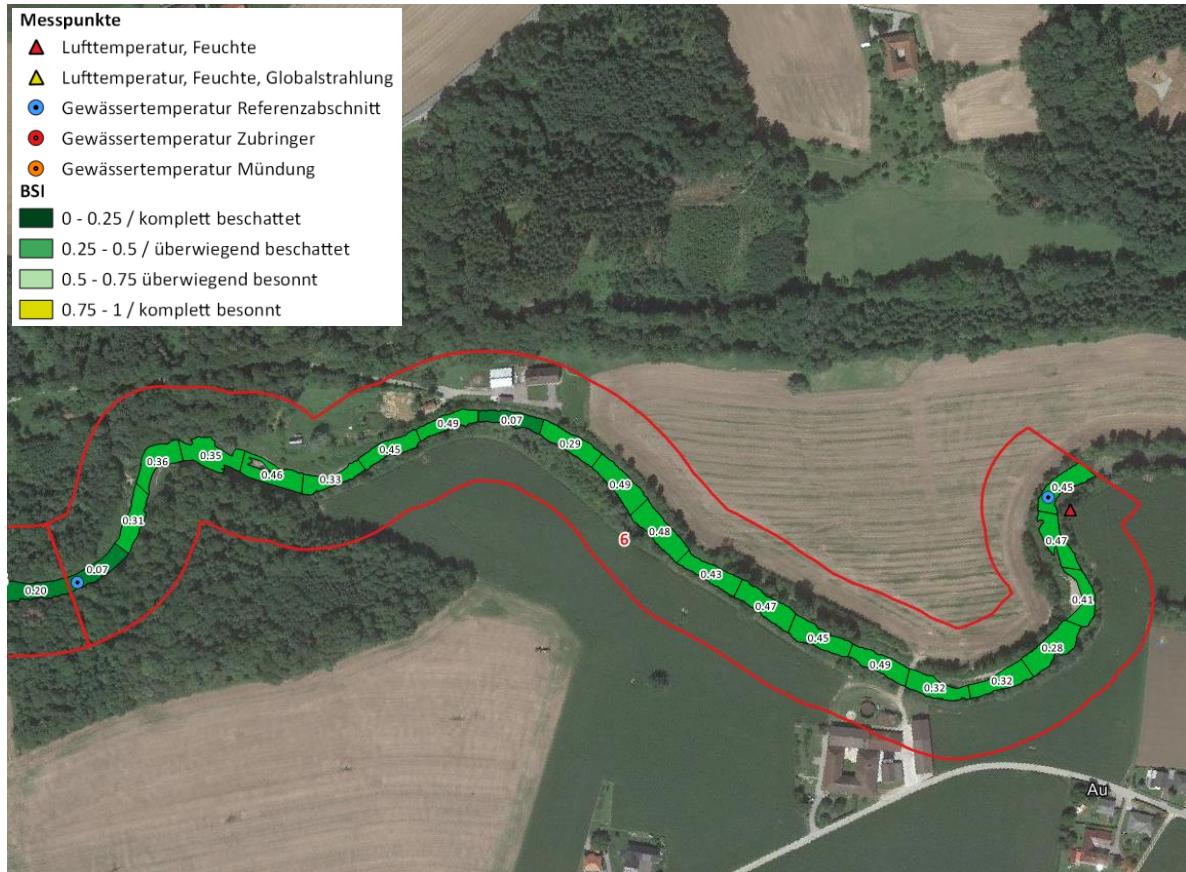
- beschattet
- von Flkm. 30,35 bis Flkm. 29,0
- Länge: 1,35 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,19
- Besonderheiten: dichter teils überhängender Uferbewuchs, nordseitig steil ansteigende Hänge mit Wasseraustritt





Krems - Referenzstrecke 6

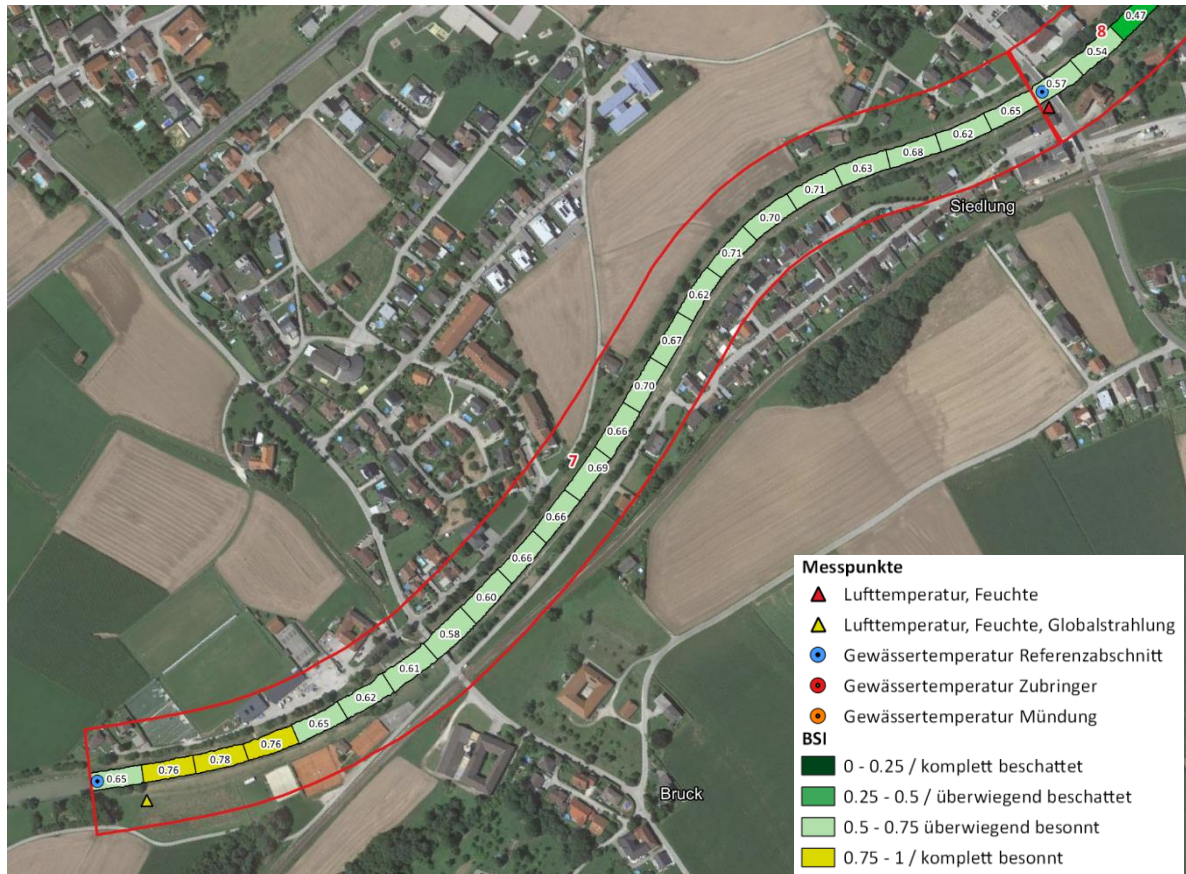
- überwiegend beschattet
- von Flkm. 29,0 bis Flkm. 28,0
- Länge: 1,0 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,4
- Besonderheiten: Anfangs dichter beschattet, später hohe, aber lichte Ufervegetation





Krems - Referenzstrecke 7

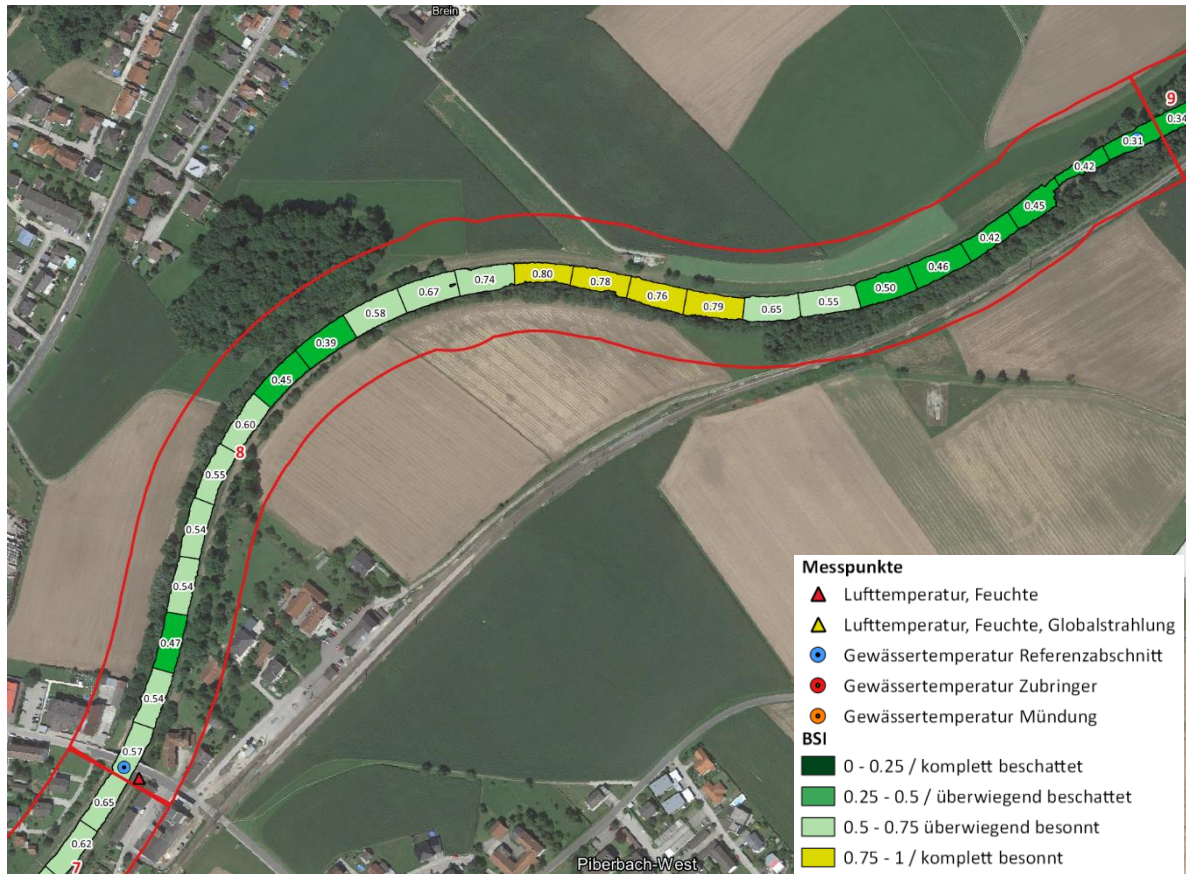
- unbeschattet
- von Flkm. 21,95 bis Flkm. 20,8
- Länge: 1,15 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,67
- Besonderheiten: durchgehend keine, oder aufgrund des Hochwasserabflussquerschnittes nur niedrige, strauchige Ufervegetation





Krems - Referenzstrecke 8

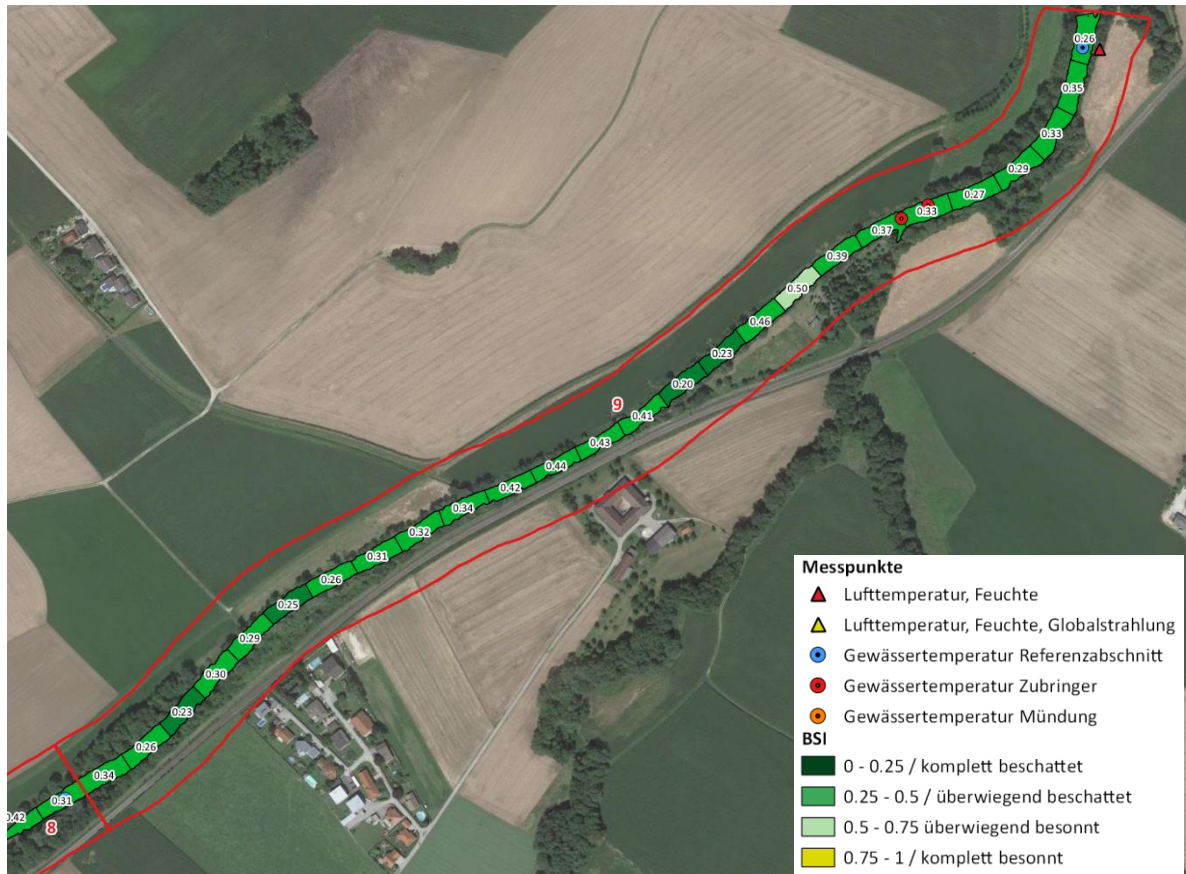
- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 20,8 bis Flkm. 19,6
- Länge: 1,2 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,55
- Besonderheiten: teils hohe und dichte Ufervegetation, allerdings große Gewässerbreite und Vegetation nicht bis ans Ufer reichend





Krems - Referenzstrecke 9

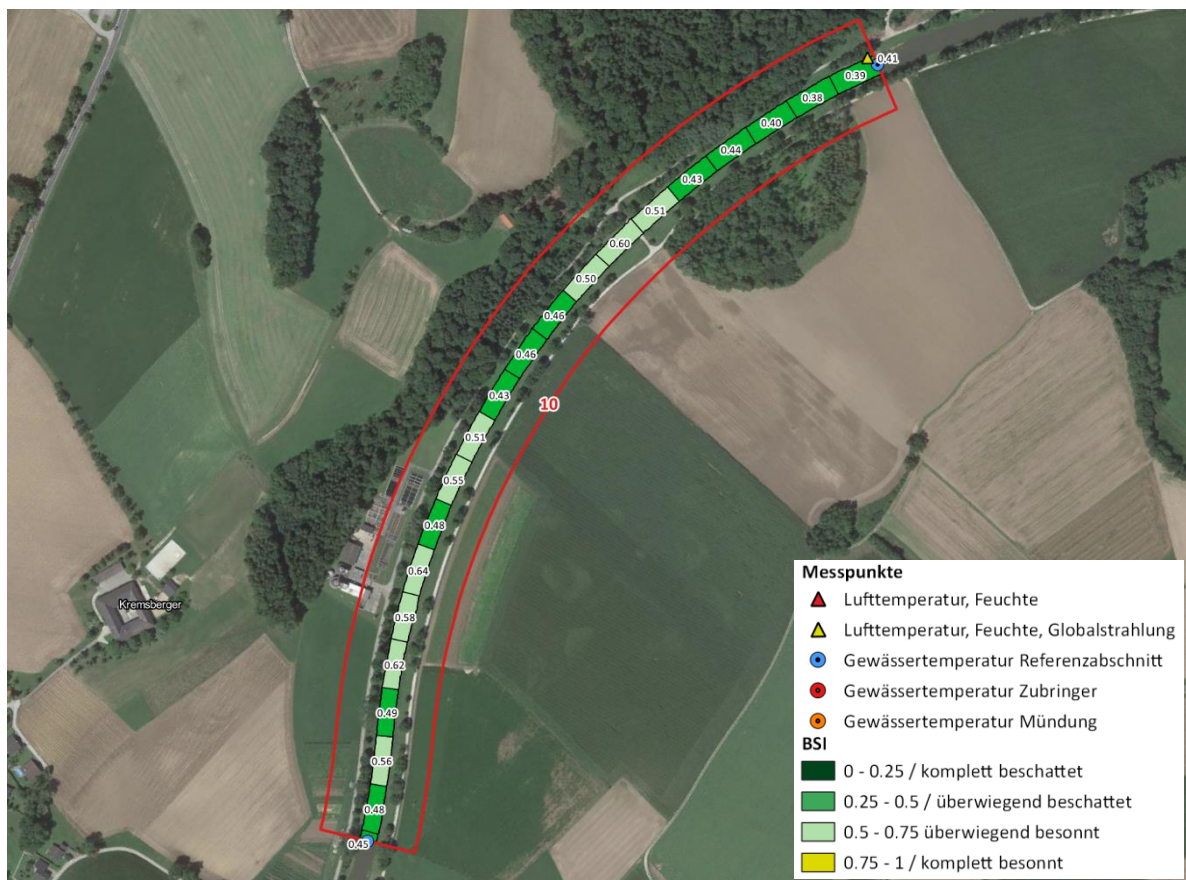
- überwiegend beschattet
- von Flkm. 19,6 bis Flkm. 18,35
- Länge: 1,25 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,33
- Besonderheiten: meist hohe abwechselnd dichte bis weniger dichte Ufervegetation, große Gewässerbreite





Krems - Referenzstrecke 10

- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 15,1 bis Flkm. 14,1
- Länge: 1,0 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,54
- Besonderheiten: hohe und dichte Ufervegetation, allerdings reicht die Vegetation durch Freihaltung des Hochwasserabflussquerschnittes nicht bis an die Ufer, aufgrund von Ausrichtung und Breite des Abflussquerschnittes defacto unbeschattet



3.3 Analyse & Auswertungen Vor-Ort-Messungen

Im folgenden Kapitel wird die Analyse und Auswertung der im Sommer 2021 generierten Messdaten an der Aschach inklusive Faulen Aschach, sowie an der Krems beschrieben. Weiters wird auf die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen und die Unterschiede zwischen Aschach und Krems eingegangen.

3.3.1 Wetterdaten

3.3.1.1 Aschach - Aufzeichnungen Wetterstationen Weizenkirchen ZAMG

In Abbildung 24 bis Abbildung 25 sind die Sonnenscheindauer, die Energiedichte und die Lufttemperatur der Wetterstation Weizenkirchen im Messzeitraum an der Aschach dargestellt. Anhand dieser Daten wurden die für die Analyse der Beschattungsintensitäten relevanten (längste Sonnenscheindauer, größte Energiedichte und höchste Lufttemperatur) Zeiträume identifiziert und in Tabelle 3-3 mit den jeweiligen Temperaturmaxima gelistet.

Tabelle 3-3: Tage mit längster Sonnenscheindauer, größter Energiedichte und höchster Lufttemperatur im Messzeitraum an der Aschach.

Datum	max. Temp. [°C]	Datum	max. Temp. [°C]	Datum	max. Temp. [°C]	Datum	max. Temp. [°C]
03.07.2021	24,7	09.07.2021	22,6	20.07.2021	23,6	25.07.2021	27,6
04.07.2021	24,9	10.07.2021	25,8	21.07.2021	25,5	26.07.2021	27,4
05.07.2021	25,6	12.07.2021	26,3	22.07.2021	25,6	27.07.2021	26,3
06.07.2021	31,7	13.07.2021	27,2	23.07.2021	26,9	29.07.2021	26,1
08.07.2021	26,4	19.07.2021	25,5	24.07.2021	27,6	30.07.2021	28,2

< 25 °C
25°C - 30 °C
> 30°C

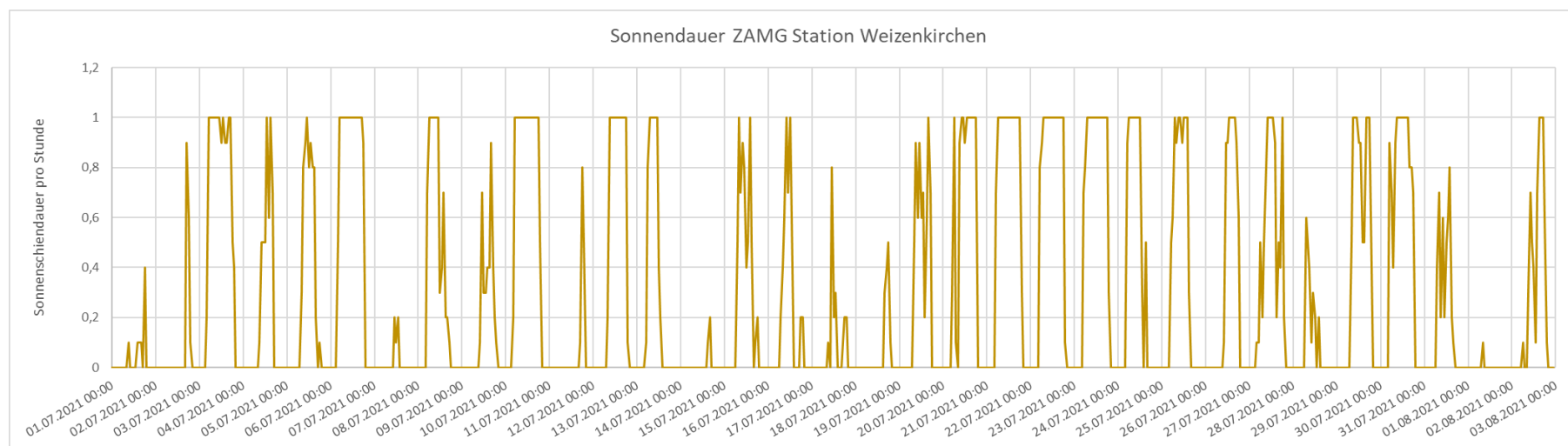


Abbildung 24: Sonnenscheindauer pro Stunde aufgenommen an der ZAMG Messstation Weizenkirchen für die Messperiode an der Aschach.

Maßnahmen zur Dämpfung der Gewässererwärmung

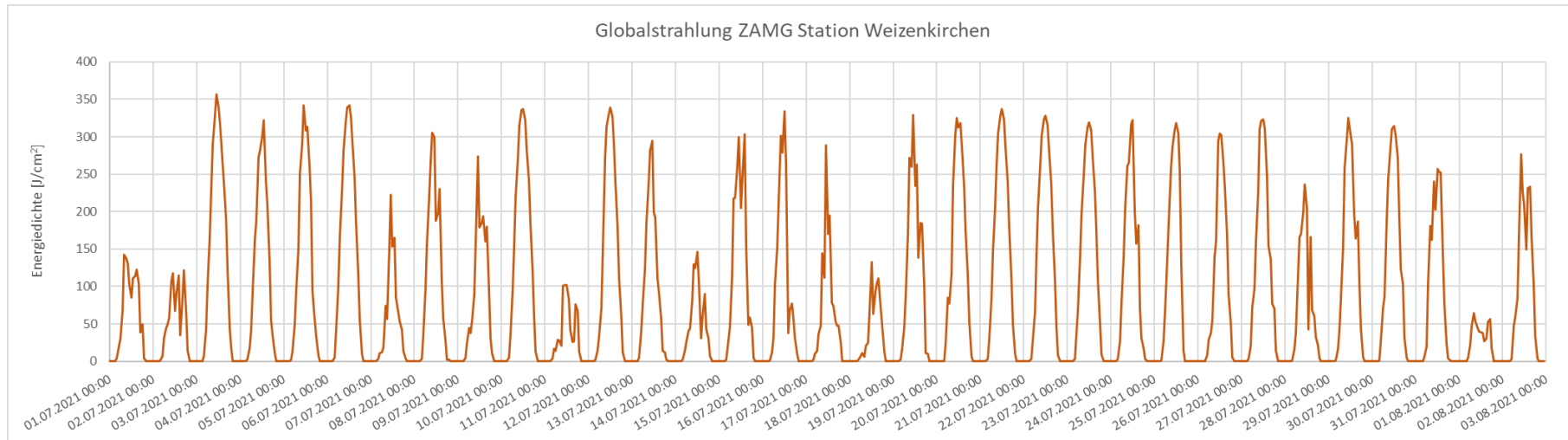


Abbildung 25: Energiedichte aufgenommen an der ZAMG Messstation Weizenkirchen für die Messperiode an der Aschach.

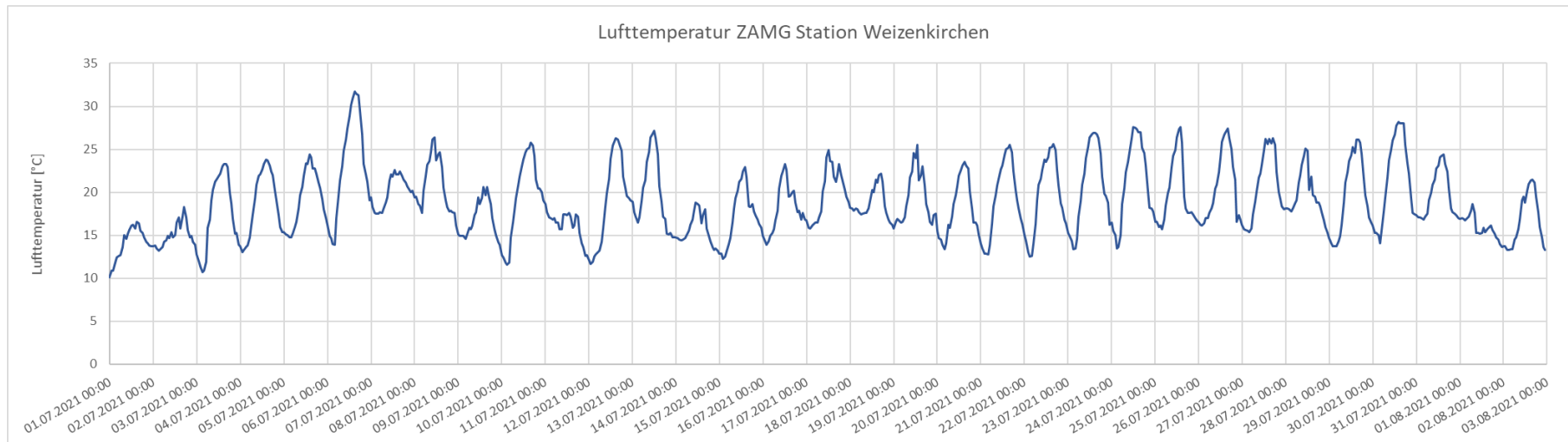


Abbildung 26: Lufttemperatur aufgenommen an der ZAMG Messstation Weizenkirchen für die Messperiode an der Aschach.

3.3.1.2 Krems - Aufzeichnungen Wetterstationen Kremsmünster ZAMG

An der Krems konnten aufgrund mehrerer Hochwässer und dem Verlust einiger Sensoren in der ersten Messperiode keine aussagekräftigen Messreihen gesichert werden. Daher liegt der Fokus bei den Auswertungen auf der zweiten durchgeführten Messkampagne vom 12.08.2021 bis zum 06.09.2021. Die Verläufe von Sonnenscheindauer, Energiedichte und Lufttemperatur sind in Abbildung 27 bis Abbildung 29 dargestellt.

Die wiederum für die Analyse der Beschattungsintensitäten relevanten (längste Sonnenscheindauer, größte Energiedichte und höchste Lufttemperatur) Tage mit Temperaturmaxima sind in Tabelle 3-4 gelistet.

Tabelle 3-4: Tage mit längster Sonnenscheindauer, größter Energiedichte und höchster Lufttemperatur im Messzeitraum an der Krems.

Datum	max. Temp. [°C]	Datum	max. Temp. [°C]	Datum	max. Temp. [°C]	Datum	max. Temp. [°C]
12.08.2021	28,8	15.08.2021	31,1	02.09.2021	21,8	05.09.2021	23,6
13.08.2021	31,2	21.08.2021	25,6	03.09.2021	22,9		
14.08.2021	30,1	25.08.2021	19,0	04.09.2021	23,7		

< 25 °C
25°C - 30 °C
> 30°C

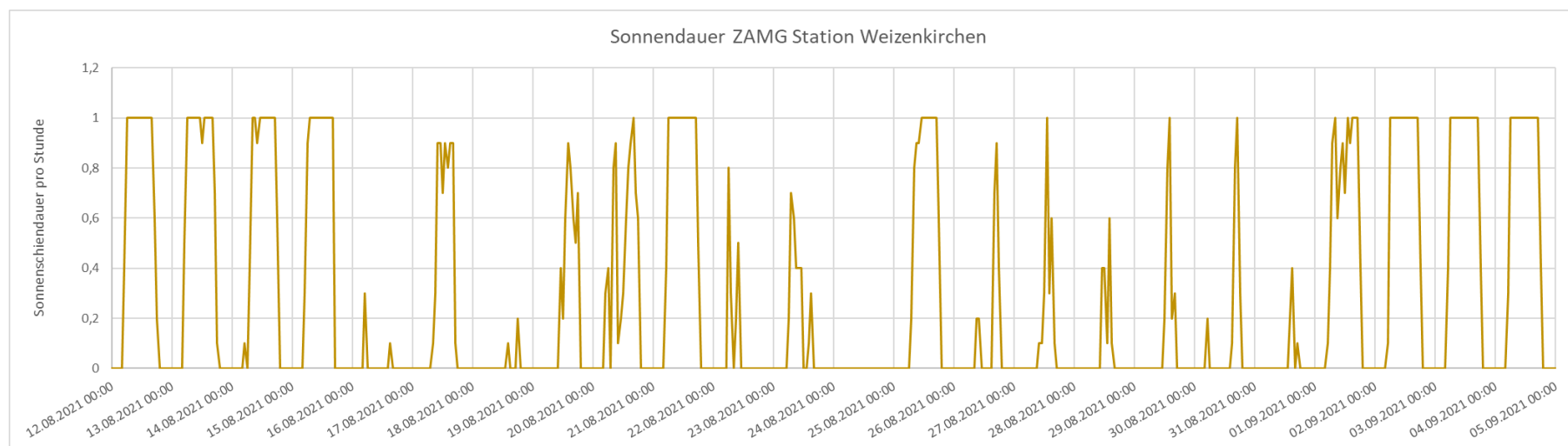


Abbildung 27: Sonnenscheindauer pro Stunde aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster für die Messperiode an der Krems.

Maßnahmen zur Dämpfung der Gewässererwärmung

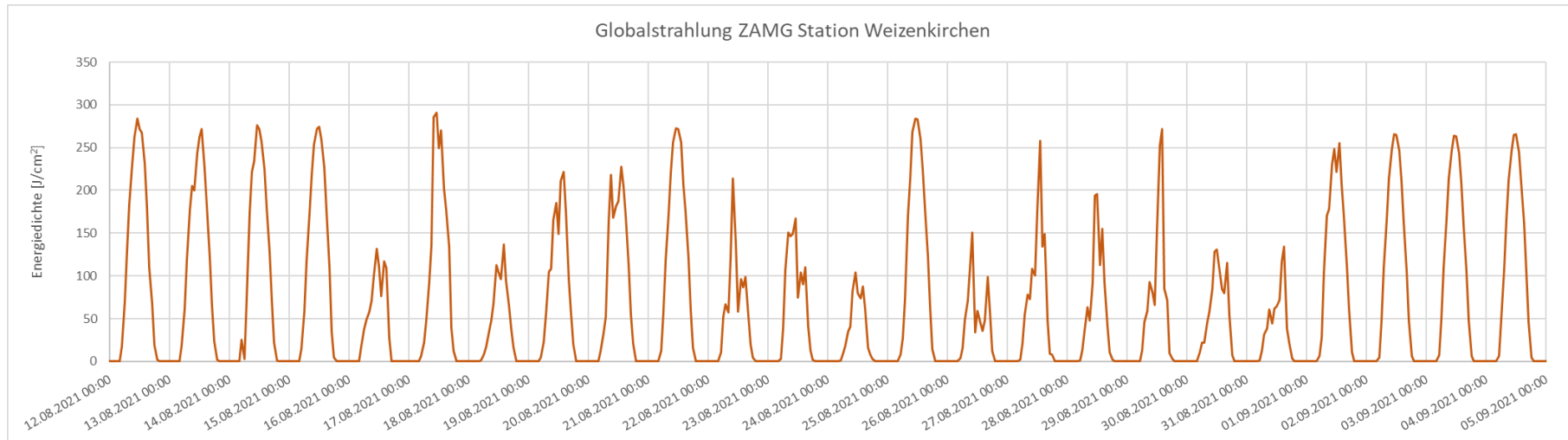


Abbildung 28: Energiedichte aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster für die Messperiode an der Krens.

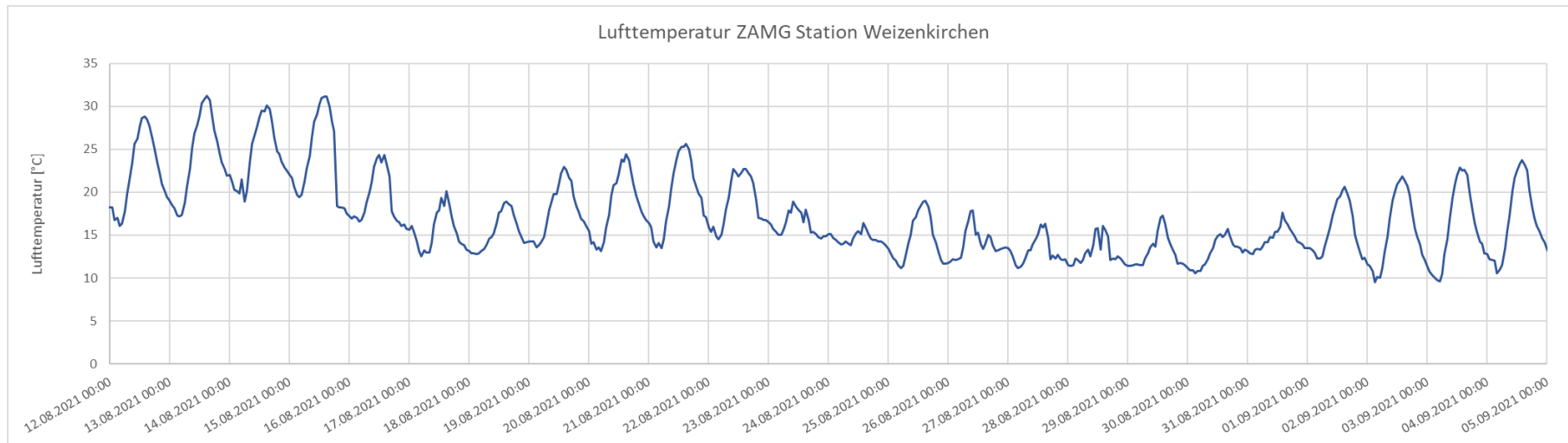


Abbildung 29: Lufttemperatur aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster für die Messperiode an der Krens.

3.3.1.3 Aufzeichnungen in den Referenzabschnitten positionierter Temperaturmesser

In Abbildung 30 sind die einzelnen Tagesverläufe der in den Referenzabschnitten positionierten Lufttemperaturmesser dargestellt. Es ist zu erkennen, dass im Schnitt Höchsttemperaturen um die 25 °C aufgezeichnet wurden. An einzelnen Tagen wurden Lufttemperaturen über 30°C aufgezeichnet, welche mit den Messstellen der ZAMG korrelieren. Einzelne Sensoren zeichnen Werte von bis zu 40 °C auf. Bei diesen Sensoren (9, 16, 20, 26 und 35) ist anzunehmen, dass die Sensoren einer direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt waren. Somit ist die Positionierung der Sensoren zu diskutieren und die Werte dieser, werden als Ausreißer behandelt. Die täglichen Maximaltemperaturen wurden meist zwischen 13:00 Uhr und 16:00 Uhr erreicht.

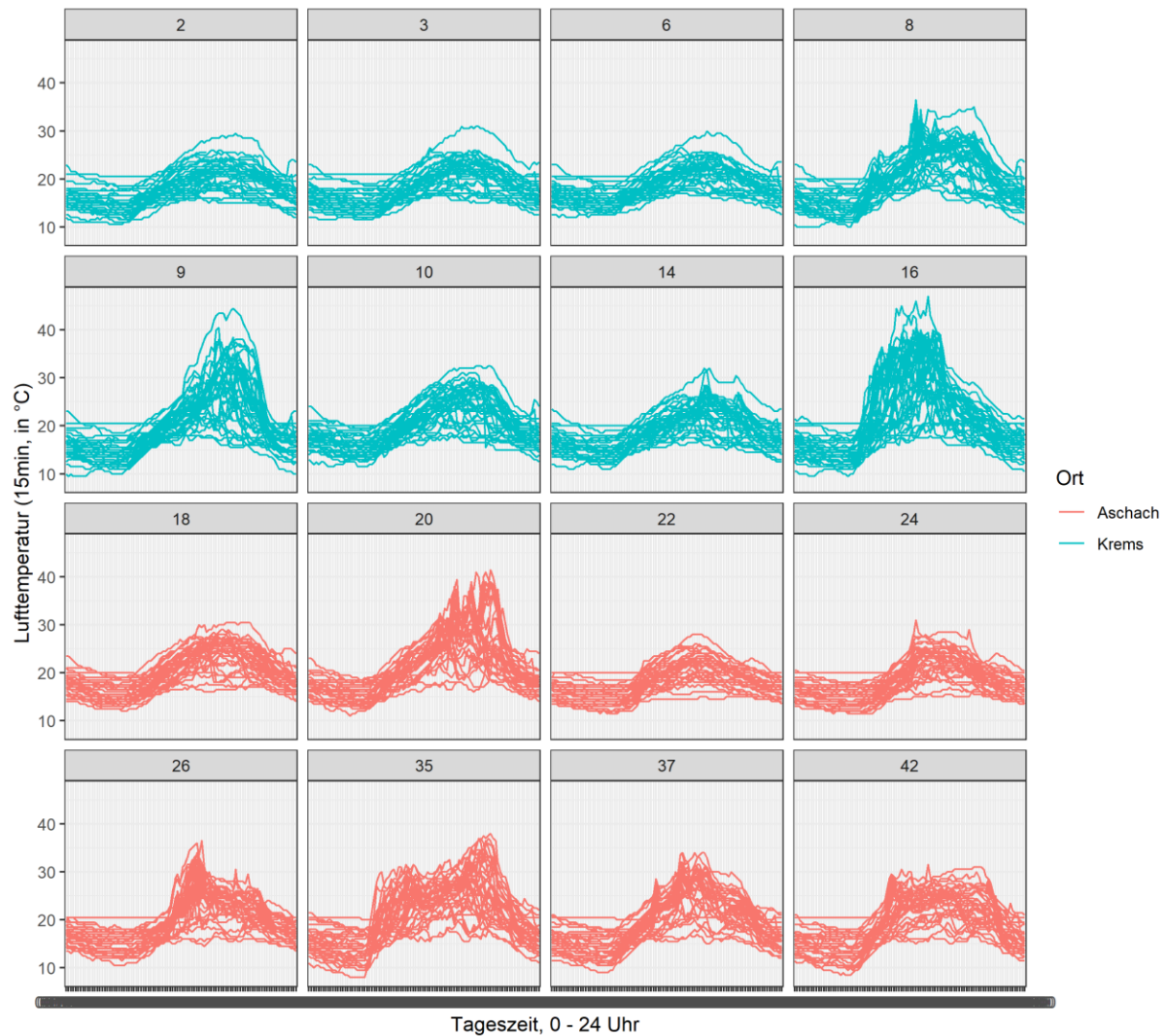


Abbildung 30: Tagesverlauf der Lufttemperaturen an jedem Messstandort an der Aschach (rot) und der Krems (blau). Jede einzelne Linie stellt einen Tagesverlauf (0-24h) an der jeweiligen Station dar.

In Abbildung 31 sind die unterschiedlichen Temperaturverläufe am Beispiel eines wolkenlosen Tages an der Krems dargestellt. Hierbei ist zu erkennen, dass die Lufttemperatur in unbeschatteten Bereichen sehr schnell ansteigt, wohingegen in überwiegend unbeschatteten, überwiegend beschatteten und beschatteten Bereichen die Lufttemperatur langsam, aber kontinuierlich über den Tag ansteigt. Die erhöhten Lufttemperaturen zu späteren Zeiten in überwiegend beschatteten Bereichen sind vermutlich auf eine direkte Sonneneinstrahlung zurückzuführen.

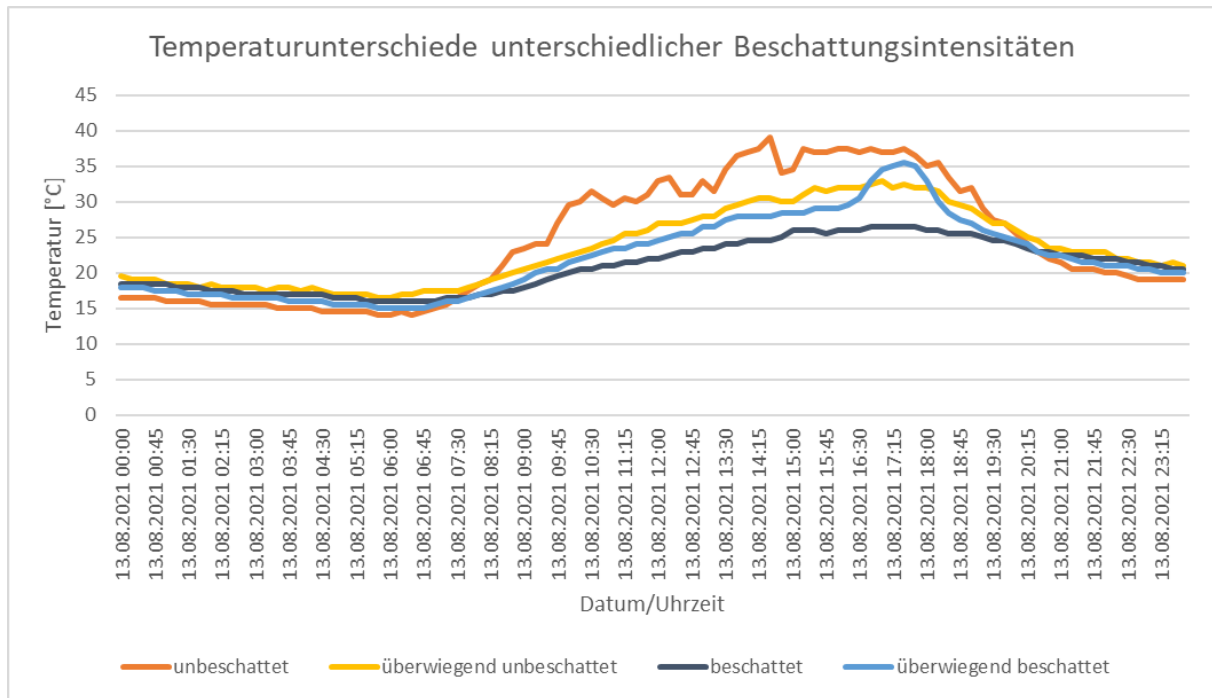


Abbildung 31: Temperaturunterschiede unterschiedlicher Beschattungsintensitäten am Beispiel eines wolkenlosen Tages an der Krems.

Im Gegenzug dazu zeigt Abbildung 32 die relative Luftfeuchte. In unbeschatteten Bereichen fällt diese mit Sonnenaufgang, in allen anderen Bereichen erst einige Stunden später. Generell weisen Bereiche mit mehr Uferbewuchs eine höhere relative Luftfeuchte über den gesamten Tagesverlauf auf.

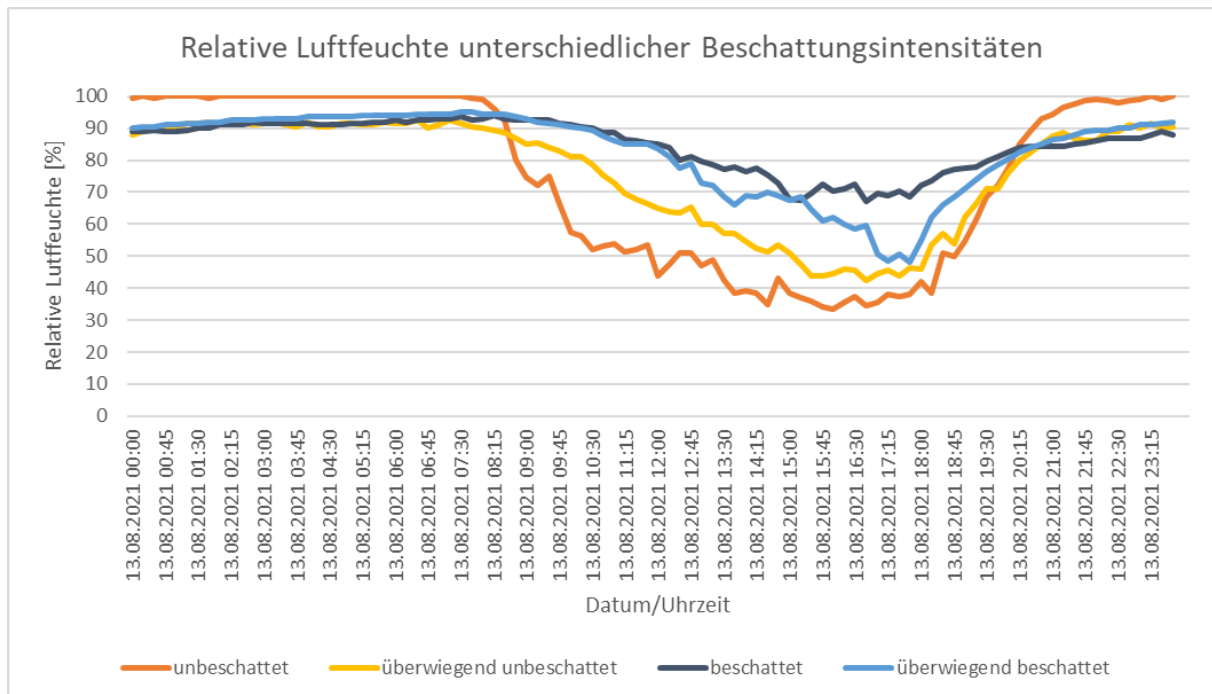


Abbildung 32: Unterschiede in der relativen Luftfeuchte unterschiedlicher Beschattungsintensitäten am Beispiel eines wolkenlosen Tages an der Krems.

3.3.1.4 Aufzeichnungen in den Referenzabschnitten positionierter Globalstrahlungsmesser

Anhand der Aufzeichnungen der in den Referenzstrecken unterschiedlicher Beschattungsintensitäten positionierten Globalstrahlungsmesser sind eindeutige Unterschiede zwischen den Beschattungsintensitäten zu erkennen. So trifft im Vergleich zu unbeschatteten Bereichen in beschatteten Bereichen nur ein Bruchteil der Strahlung auf. In Abbildung 33 ist dies exemplarisch anhand eines wolkenlosen Tages mit 100 % Sonnenscheindauer dargestellt. Weiters ist hier zu erkennen, dass z.B. überwiegend beschattete Bereiche je nach Einstrahlwinkel in den Abendstunden kurzzeitig hohe Strahlungswerte aufweisen können. Somit spielt bei überwiegend beschatteten bzw. überwiegend unbeschatteten Bereichen auch die Ausrichtung der Gewässerabschnitte eine wesentliche Rolle bei der maximal möglichen Beschattung. Dies betrifft ebenso die Gewässerbreite und somit die Entfernung des Uferbewuchses von der Gewässermitte sowie auch die Höhe der uferbegleitenden Vegetation.

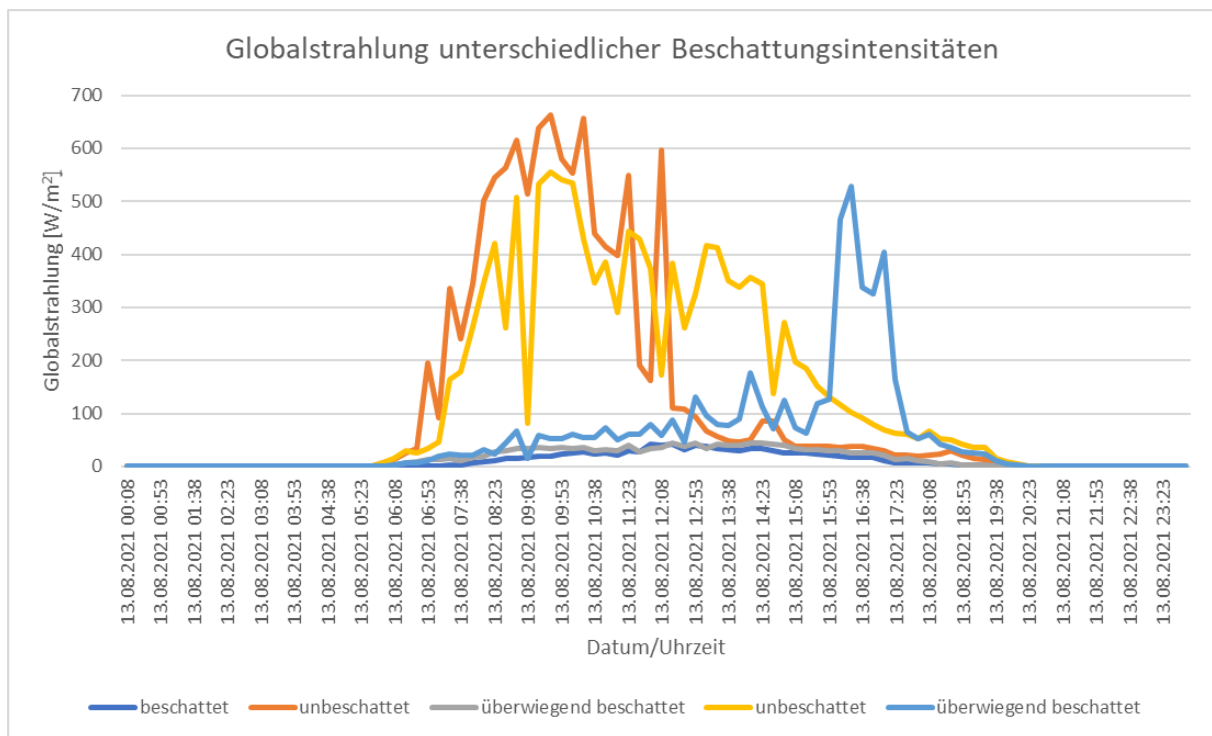


Abbildung 33: Beispiel der Globalstrahlung in Bereichen unterschiedlicher Beschattungsintensitäten an einem wolkenlosen Tag an der Krems.

3.3.2 Generelle Änderung Wassertemperatur im Tagesmittel entlang der Gewässer

In Abbildung 34 ist ersichtlich, dass beide Gewässer trotz geringen Lufttemperaturmaxima – im Vergleich zu vorherigen Sommern - im Messzeitraum beträchtliche Erwärmungen aufweisen. Auch tages- bzw. monatspezifische Unterschiede sind ersichtlich. So wurden die höchsten Erwärmungen Anfang Juli und Mitte bis Ende Juli aufgezeichnet. Die Erwärmung pro 10 Kilometer ist in beiden Gewässern ähnlich, allerdings in der Aschach etwas höher. Während der Sommermonate erwärmte sich die Aschach im Mittel um $1,1 \pm 0,3 \text{ °C}$ pro 10 km Flusslänge (signifikante Erwärmung [lineare Modelle, $p < 0.05$] an 34 von 34 Tagen). In der Krems stieg die sommerliche Tagesmitteltemperatur um $0,8 \pm 0,3 \text{ °C}$ pro 10 km Flusslänge ($p < 0.05$ an 30 von 36 Tagen).

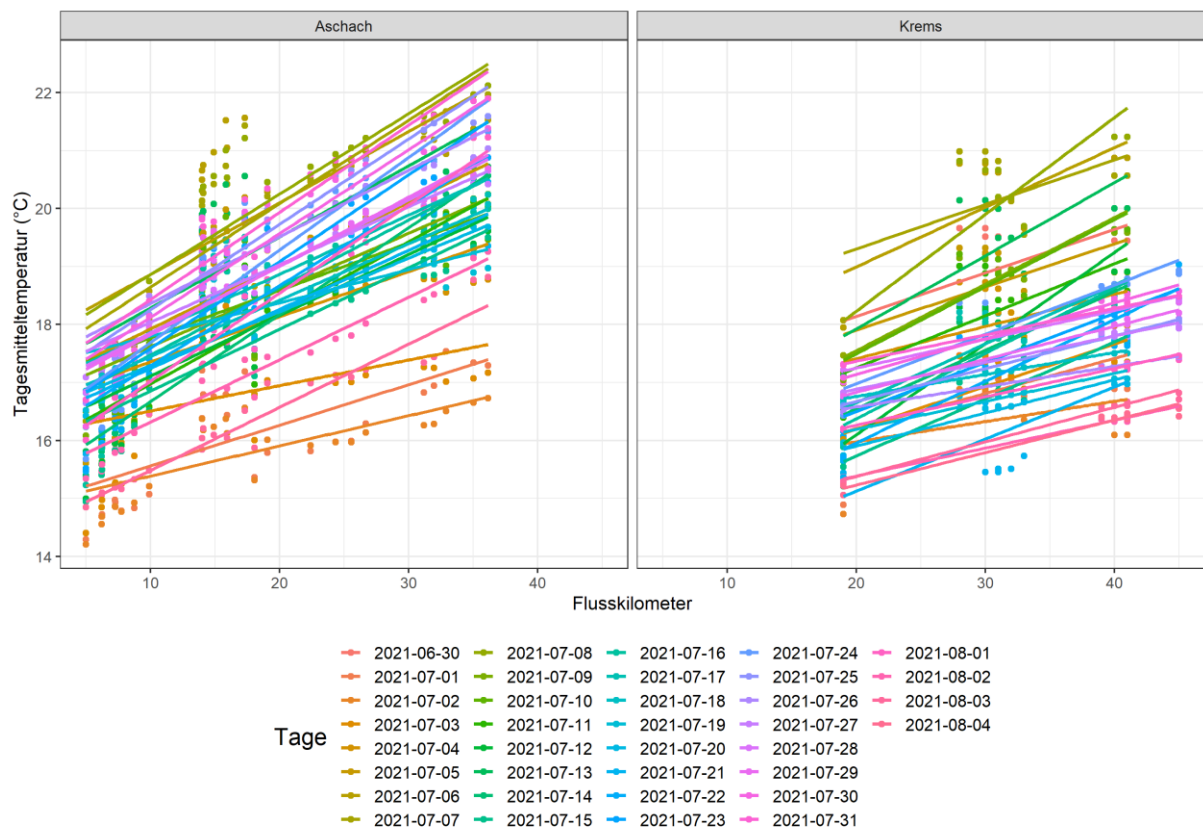


Abbildung 34: Tagesmitteltemperaturen entlang der Messstationen an der Aschach (links) und der Krems (rechts). Der Farbgradient identifiziert die Tage während der Messperiode, die Linien sind lineare Modelle, welche den tagesspezifischen Anstieg bestmöglich beschreiben. Die mittlere Steigung aller Modelle ermöglicht eine solide Schätzung des Anstiegs der sommerlichen Wassertemperatur.

3.3.3 Wirkung unterschiedlicher Beschattungsintensitäten auf die Wassertemperatur

3.3.3.1 Analyse der gesamten ersten Messreihen

Bei einer ersten Analyse der gesamten Messreihen beider Gewässer zeigt sich in Abbildung 35, dass die Erwärmung in der Aschach (+ °C pro km) mit zunehmender Flusslänge abnimmt. Dies bedeutet, dass sich der Oberlauf – also die Faule Aschach – stärker erwärmt. Bezogen auf die gesamte erste Messreihe stehen die unterschiedlichen Beschattungstypen nur in der Aschach in Zusammenhang mit dem Grad der Erwärmung. Gruppen-spezifische Vergleiche (t-Tests) zeigen geringe, aber signifikant verschiedene Erwärmungen zwischen Beschattungstypen (t-Tests, Bonferronikorreigierte p-Werte < 0.05). Abseits dieser mittleren Erwärmung zeigt sich jedoch, dass die Variabilität der Erwärmung pro Beschattungstyp in beschatteten/kaum beschatteten Abschnitten wesentlich geringer ist als in nicht- und kaum beschatteten Gewässerstrecken. So weisen beschattete Abschnitte im Vergleich zu unbeschatteten Abschnitten eine weitaus geringere Streuung auf. Dies bedeutet, dass sich - trotz der generellen Erwärmung der Gewässer entlang des Flusslaufes – Gewässerabschnitte mit Beschattung gleichbleibend erwärmen, während dies in weniger oder nicht beschatteten Abschnitten stark variiert, was sich auf eine stärkere Erwärmung der unbeschatteten Abschnitte an strahlungsintensiven Tagen zurückzuführen lässt.

An der Krems wurde die erste Messperiode von mehreren Hochwässern gestört. Dies führte auch zum Verlust einiger Sensoren, wodurch keine vollständige und aussagekräftige Messreihe generiert werden konnte. Daher wurde an der Krems im August 2021 eine zweite Messkampagne gestartet, auf welche in den folgenden Kapiteln Bezug genommen wird.

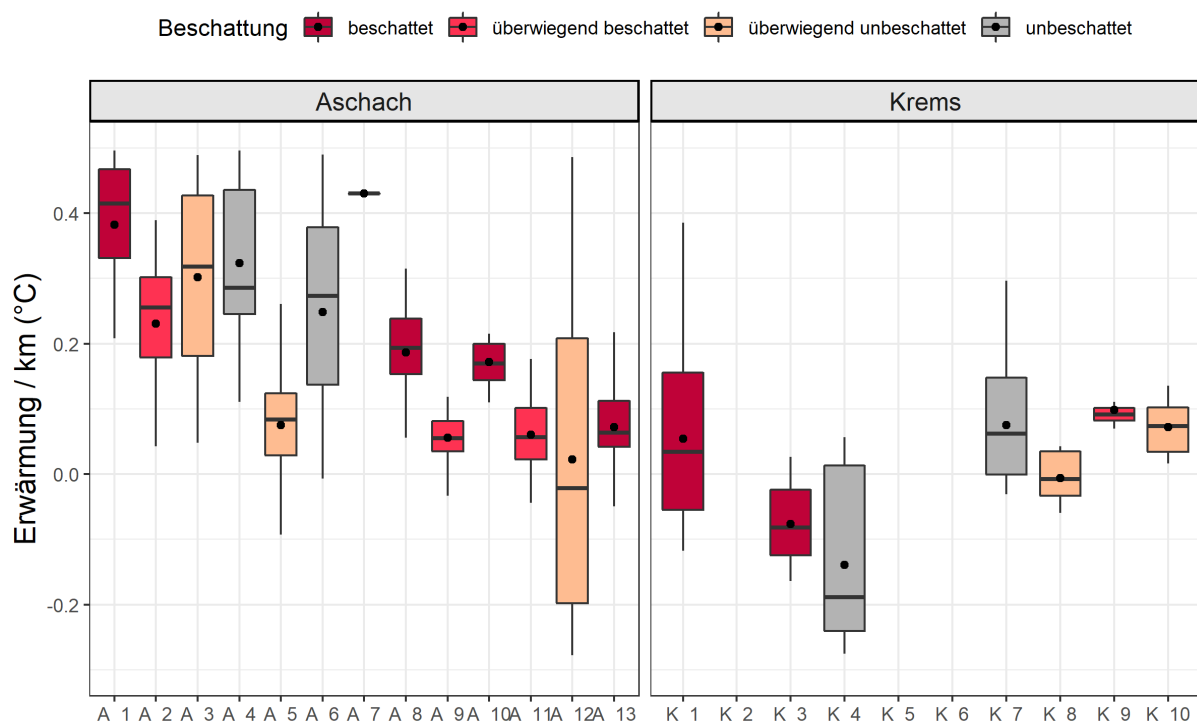


Abbildung 35: Normierte Temperaturdifferenz zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte (=Erwärmung in °C pro km). Breite der Balken verdeutlicht die Variabilität der tageszeitlichen Erwärmung über den Sommer (breite Balken = hoch variable Erwärmung zwischen Tagen oder unterschiedlichen Wettersituationen).

Abbildung 36 verdeutlicht nochmals die Variabilität der gemessenen Wassertemperaturen unterschiedlicher Referenzabschnitte. Es zeigt sich, vor allem in der Aschach, dass kaum oder nicht beschattete Abschnitte eine generell höhere Variabilität (kaum beschattet: +0.22°C, p=0.09; nicht

beschattet: $+0.89$, $p < 0.001$), aber vor allem eine höhere Streuung der Variabilität als beschattete Abschnitte aufweisen. Die täglichen Schwankungen in den beschatteten Abschnitten bleiben über den gesamten Messzeitraum relativ konstant niedrig und reißen auch an einzelnen heißen Tagen nicht aus. Hingegen ist in den unbeschatteten Abschnitten eine große Streuung ersichtlich, welche vermutlich auf sonnenreiche Tage zurückzuführen ist. Weiters, kann generell ausgesagt werden, dass die Aschach größere tageszeitliche Schwankungen aufweist als die Krems.

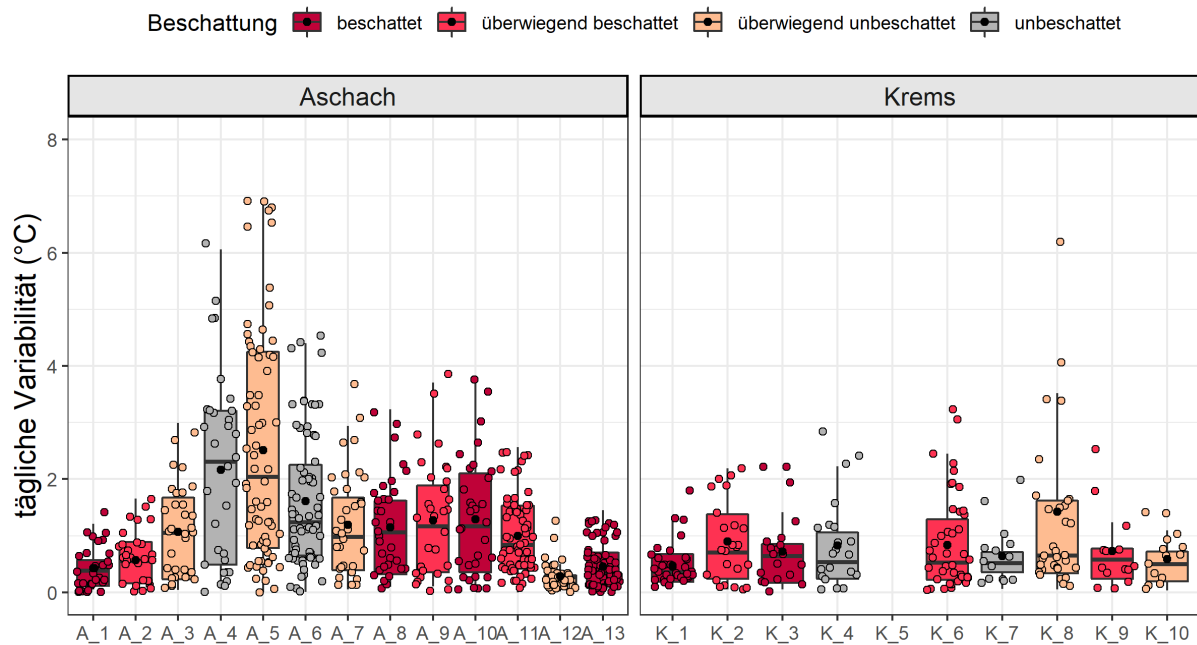


Abbildung 36: Die tägliche Varianz (Schwankungsbreite) der Wassertemperatur über die Messperiode 2021, jeder einzelne Messpunkt entspricht der Temperaturschwankungen pro Tag. Eine hohe Variabilität bedeutet, dass dieser Abschnitt hohe Temperaturschwankungen erfährt. Ein Vergleich verschiedener Abschnitte (hatten ähnliche Einwirkungen von außen) verdeutlicht hiermit die Anfälligkeit für Erwärmungen durch Strahlung oder Lufttemperatur.

Bei näherer Betrachtung vier aufeinanderfolgender Abschnitte in der Faulen Aschach an einzelnen wärmeren Tagen ($>25^{\circ}\text{C}$) zeigen sich deutliche Unterschiede bei den gemessenen Wassertemperaturen in den vier unterschiedlich beschatteten Referenzabschnitten. Zur Veranschaulichung wurden in Abbildung 37 die tägliche Mitteltemperatur, die tägliche Maximaltemperatur und die tägliche Variabilität dieser vier Abschnitte verglichen. Hier zeigte sich, dass Tagesmitteltemperatur und die maximale Tagestemperatur des Wassers statistisch signifikant anstiegen (lineare Modelle, $p < 0.05$). Ein Vergleich der Steigungen zeigte jedoch, dass dieser Anstieg an warmen Tagen nicht signifikant höher war als an kühleren Tagen (Vergleich der Steigungen, t-Test, $p > 0.05$).

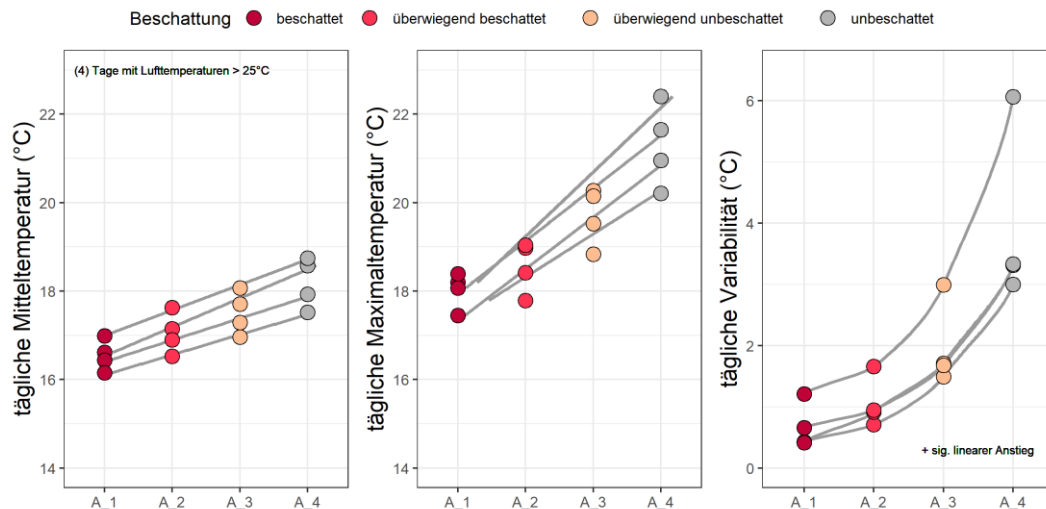


Abbildung 37: Kennwerte der Wassertemperatur (tägliches Mittel, tägliches Maximum, tägliche Variabilität, in °C) entlang der obersten Abschnitte der Aschach (Abschnitte 1-4) an den wärmsten Tagen dieser Messperiode. Alle grauen Linien verbinden die aufeinanderfolgenden Abschnitte an gleichen Tagen und zeigen Steigungen signifikant verschieden von null. Als „warme“ Tage wurden Tage mit Lufttemperaturen >25°C gewählt, Strahlungsintensität wurde nicht berücksichtigt.

3.3.3.2 Unterschiede Referenzstrecken/Beschattungsintensitäten: Gesamte Messreihe

Aufbauend auf den Erkenntnissen der ersten Analysen der gesamten Messreihen und mit den Daten einer zweiten Messkampagne im August 2021 an der Krems, wurden weitere tiefergehende Analysen durchgeführt. Dazu wurden die Datenreihen wie folgt gefiltert.

- Unplausible Messdaten und somit Ausreißer wurden gefiltert.
- Die gesamten Messreihen wurden auf die Sonnenstunden, jeweils von 06:00 Uhr bis 19:00 Uhr begrenzt.
- Da nicht nur die Lufttemperatur, sondern auch die Strahlung ausschlaggebend für die Erwärmung ist, wurden die strahlungsintensivsten und/oder heißesten Tage genauer betrachtet.

Um die beiden unterschiedlichen Gewässer vergleichen zu können, wurden die Daten standardisiert. Um auch einen Eindruck der absoluten Gewässererwärmung pro km zu erhalten, werden im Folgenden Diagramme der standardisierten Messdaten, sowie der Absolutwerte gezeigt.

Abbildung 38 zeigt die unterschiedlichen Referenzstrecken der Aschach, den Einfluss der Zubringer sowie die Temperaturdifferenzen beim Zusammenfluss der Dürren Aschach mit der Faulen Aschach. Selbst bei Betrachtung der gesamten Messreihe, also auch mit weniger heißen und strahlungsintensiven Tagen, ist eine signifikant höhere Temperaturdifferenz in den unbeschateten Abschnitten ersichtlich. Weiters ist ersichtlich, dass die zwei Zubringer (Z1 – Erleinsbach und Z2 – Michaelnbach) zu einer Abkühlung der Faulen Aschach bzw. Aschach führen. Dies führt dazu, dass die darauffolgende restliche Referenzstrecke stärker streut und auch die Erwärmungen geringer ausfallen.

Beim Zusammenfluss von Fauler Aschach mit Dürrer Aschach ist ersichtlich, dass die Faule Aschach im überwiegenden Teil der Messreihe wärmeres Wasser bringt als die Dürre Aschach. Im Aschachdurchbruch (Referenzstrecken A8 bis A10), welcher als überwiegend beschateter langer Abschnitt gilt, kommt es selbst an sehr heißen Tagen zu keinen Ausreißern und nur geringen Temperaturdifferenzen. Trotzdem kommt es selbst über die Länge des Aschachdurchbruches zu keiner Abkühlung, allerdings auch zu keiner weiteren Erwärmung des Gewässers.

Der Abschnitt A7, obwohl nur als überwiegend unbeschatteter Abschnitt eingestuft, weist die höchsten Temperaturänderungen auf. Diese hohen Temperaturänderungen sind vermutlich auf die Einflüsse von Sandbach und eventuell auch Leitenbach zurückzuführen. Auch im überwiegend unbeschatteten Abschnitt A12 sind hohe Temperaturdifferenzen ersichtlich, allerdings ist dieser durch eine Wehranlage beeinflusst. Die Abkühlung in Abschnitt A11 ist wiederum auf den Einfluss eines Zubringers zurückzuführen.

Im Vergleich dazu, zeigt sich in Abbildung 39, dass die Krems ebenso über die gesamte zweite Messreihe im August 2021 geringfügig höhere Erwärmungen in den unbeschatteten Referenzstrecken aufweist. Allerdings kann auch hier, wie bereits in der ersten Analyse, ausgesagt werden, dass die Krems weitaus geringere tageszeitliche Schwankungen aufweist als die Aschach. Dies zeigen auch die absoluten Temperaturdifferenzen in Abbildung 40 und Abbildung 41.

Betrachtet man das 1,5 fache des Interquartilsabstandes weist die Aschach maximale absolute Temperaturdifferenzen pro km von bis zu 2°C auf und die Krems hingegen nur bis zu 0,5 °C.

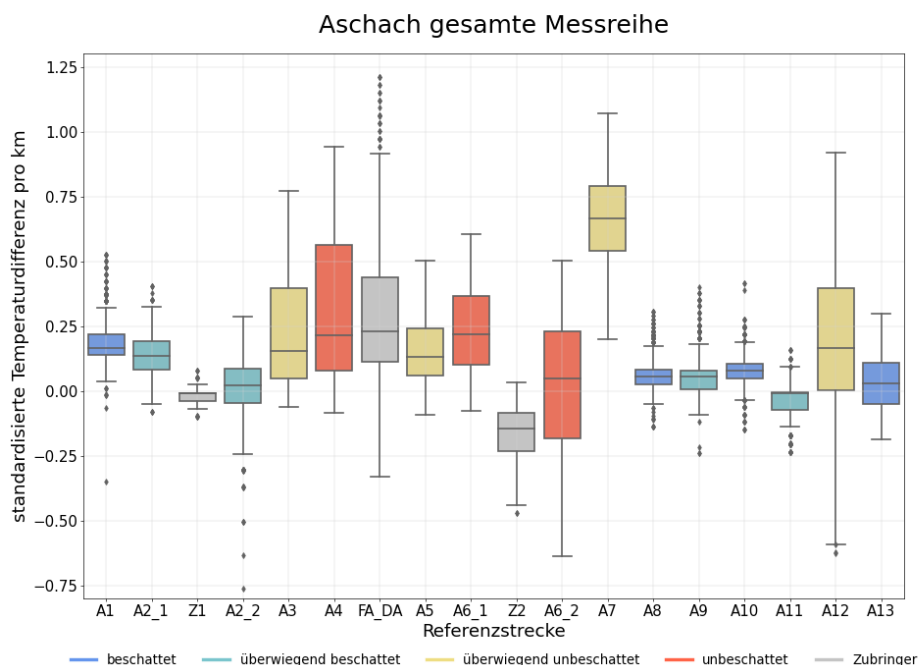


Abbildung 38: Standardisierte Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte über den gesamten Zeitraum der Messperiode an der Aschach. Die Box zeigt die Quartile (d.h. 0,25-, 0,5- und 0,75-Quantil) der gemessenen Werte. Werte größer oder kleiner des 1,5-fachen Interquartilsabstandes (d.h. $Q1 - 1,5 \cdot IQR$ bzw. $Q3 + 1,5 \cdot IQR$) werden als Ausreißer betrachtet. Die Whiskers zeigen den größten bzw. kleinsten Messwert, welcher noch kein Ausreißer ist.

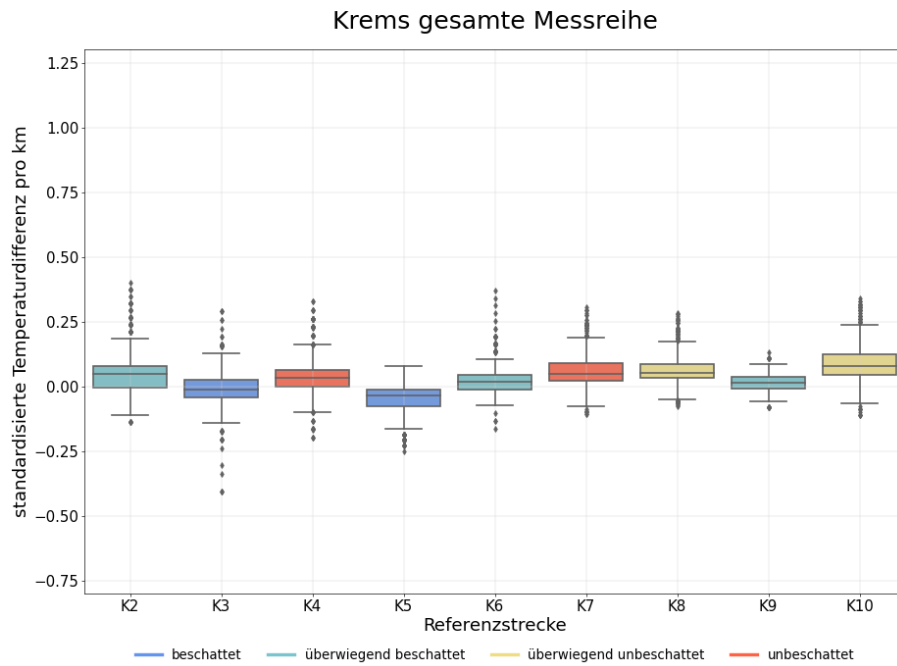


Abbildung 39: Standardisierte Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte über den gesamten Zeitraum der Messperiode an der Krems.

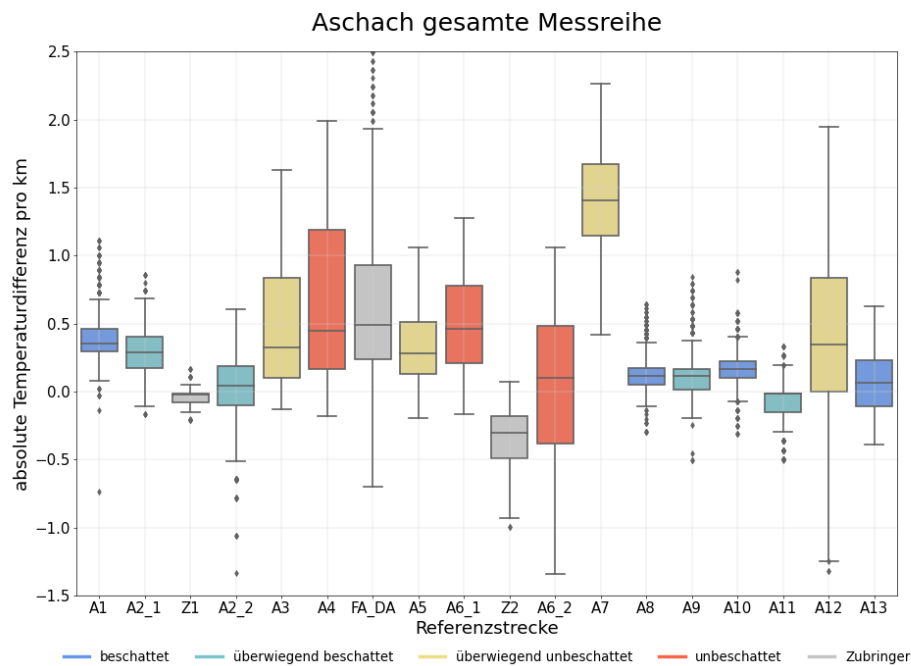


Abbildung 40: Absolute Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte über den gesamten Zeitraum der Messperiode an der Aschach.

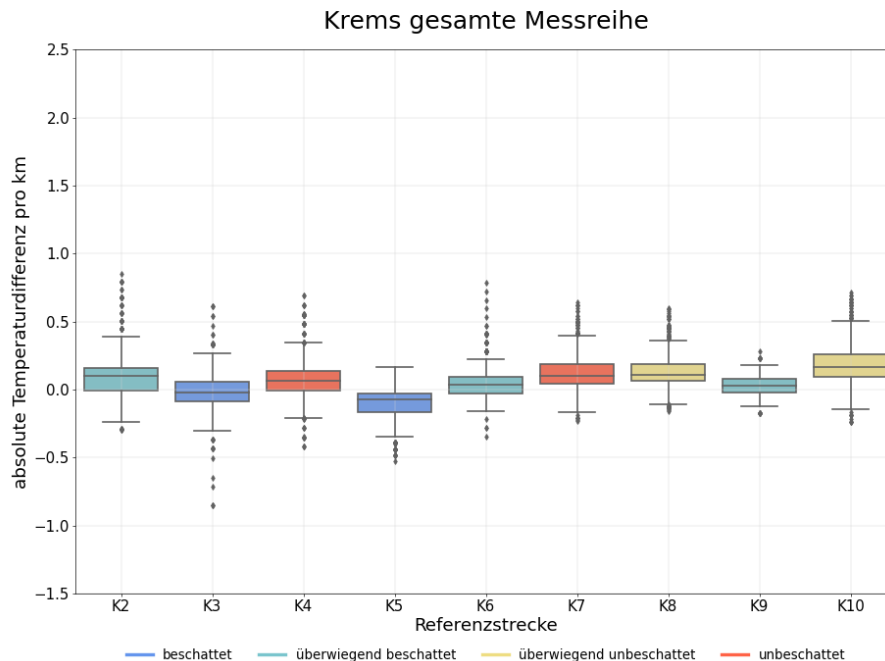


Abbildung 41: Absolute Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte über den gesamten Zeitraum der Messperiode an der Krems.

3.3.3.3 Unterschiede Referenzstrecken/Beschattungsintensitäten: Strahlungsintensive Tage

Um genauer den Einfluss der Sonnenscheindauer, sowie der auftreffenden Globalstrahlung zu analysieren, wurden die Messdaten auf die in Kapitel 3.3.3.3 genannten strahlungsintensiven und/oder heißesten Tage gefiltert. Betrachtet man weiter die Stunden von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang, in welchen über $\frac{3}{4}$ der Energie auftreffen - d.h. die ersten Stunden des Sonnenaufgangs und letzten Stunden des Sonnenuntergangs mit schwachen Strahlungswerten werden entfernt - bestätigt sich das oben erwähnte Bild und verdeutlicht den Einfluss der unterschiedlichen Beschattungsintensitäten (Abbildung 42 und Abbildung 43). Generell findet eine Abkühlung der Wassertemperatur im Tagesverlauf nur durch den Einfluss von Zubringern, oder Hangwässer bzw. Grundwassereinflüsse statt. Eine Abkühlung aufgrund niedrigerer Lufttemperatur durch Evapotranspiration in beschatteten Bereichen scheint eine untergeordnete Rolle zu spielen. Auch reagieren die weniger beschatteten Gewässerabschnitte viel stärker auf die eintreffende Strahlung und weisen dadurch wesentlich höhere Tagesspitzen auf.

Ebenso sind an der Krems diese Einflüsse an den Tagen mit hoher Einstrahlung deutlich zu erkennen. Auch bei der Analyse der strahlungsintensiven Tage bestätigt sich die in Kapitel 3.3.3.1 erwähnte geringere Sensibilität des Gewässers auf die vorherrschende Wetterlage.

An den strahlungsintensiven Tagen konnten an der Aschach absolute Temperaturunterschiede pro Kilometer von bis zu 2,25 °C und an der Krems von bis zu 0,75 °C beobachtet werden (siehe Abbildung 44 und Abbildung 45).

Im Vergleich strahlungsintensiver heißer Tage mit strahlungsintensiven kühleren Tagen (siehe Abbildung 46 bis Abbildung 49) zeigt sich, dass die höhere Lufttemperatur zwar zu einer generellen Erwärmung des Gewässers beiträgt, diese allerdings beschattete und unbeschattete Gewässerabschnitte gleichermaßen beeinflusst.

Somit führen anhaltende hohe Lufttemperaturen zwar zu höheren Wassertemperaturen, die tageszeitlichen Schwankungen sind allerdings zum größten Teil auf die auftreffende Strahlung zurückzuführen. Dadurch lässt sich darauf schließen, dass die Beschattung einen effektiven beeinflussbaren Faktor darstellt, um die Gewässererwärmung und vor allem die tageszeitlichen Temperaturspitzen einzudämmen.

Zu beachten ist weiters, wie z.B. bei der Referenzstrecke K10 an der Krems zu erkennen ist, dass breite Gewässerabschnitte mit Uferbewuchs, welcher z.B. aufgrund des hochwasserabflusswirksamen Gewässerquerschnittes nicht direkt am Ufer steht defacto wie unbeschattete Abschnitte reagieren.

Auch bei den überwiegend beschatteten Abschnitten ist eine Differenzierung zu den beschatteten Abschnitten schwierig. Dies kann einerseits daran liegen, dass die höchste Energiedichte der Einstrahlung mit dem höchsten Sonnenstand einhergehen und somit der Anteil überhängender Vegetation den größten Beschattungseffekt hat. Andererseits spielt in Bezug auf den Sonnenverlauf auch die Ausrichtung des Gewässerverlaufes eine Rolle und beeinflusst die Einstrahlungsdauer. Diese Kenngrößen fließen zwar in die Berechnung des Beschattungsindex mit ein, allerdings erfolgt die Klasseneinteilung über einen mittleren Beschattungsindex, da ausreichend lange homogene Gewässerabschnitte ohne Einflüsse von z.B. Zubringern kaum gegeben sind.

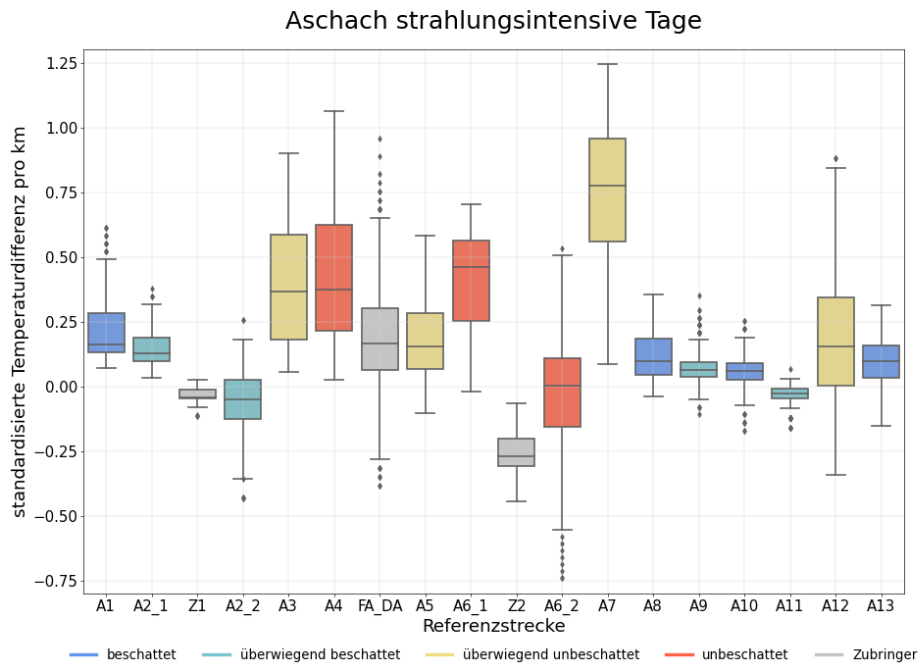


Abbildung 42: Standardisierte Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte an ausgewählten strahlungsintensiven Tagen an der Aschach.

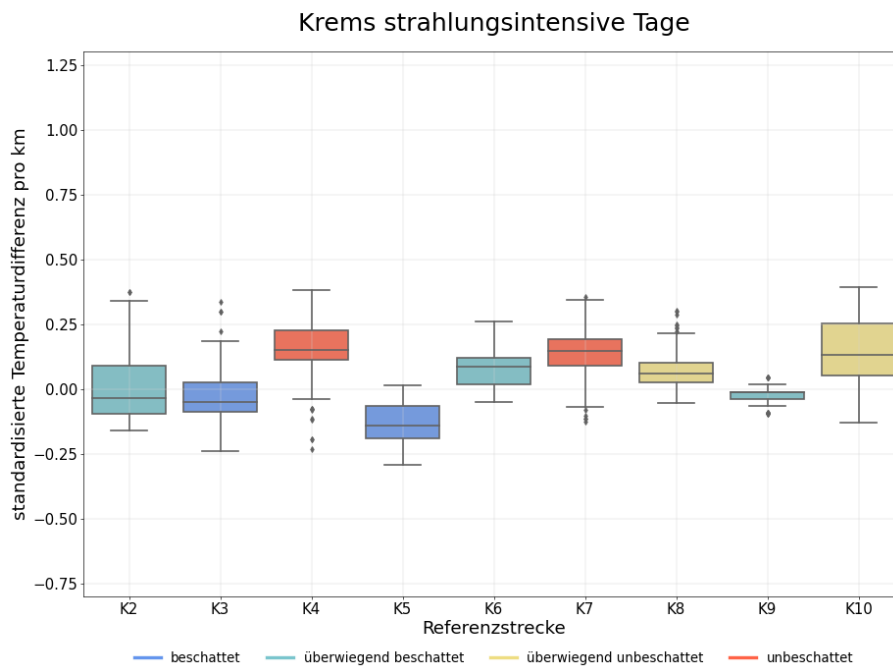


Abbildung 43: Standardisierte Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte an ausgewählten strahlungsintensiven Tagen an der Krems.

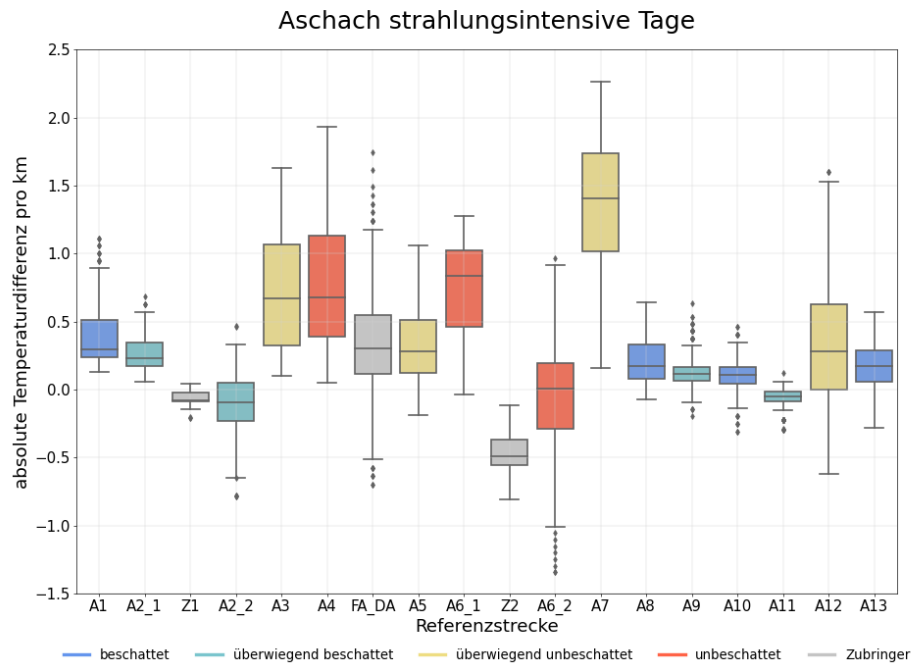


Abbildung 44: Absolute Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte an ausgewählten strahlungsintensiven Tagen an der Aschach.

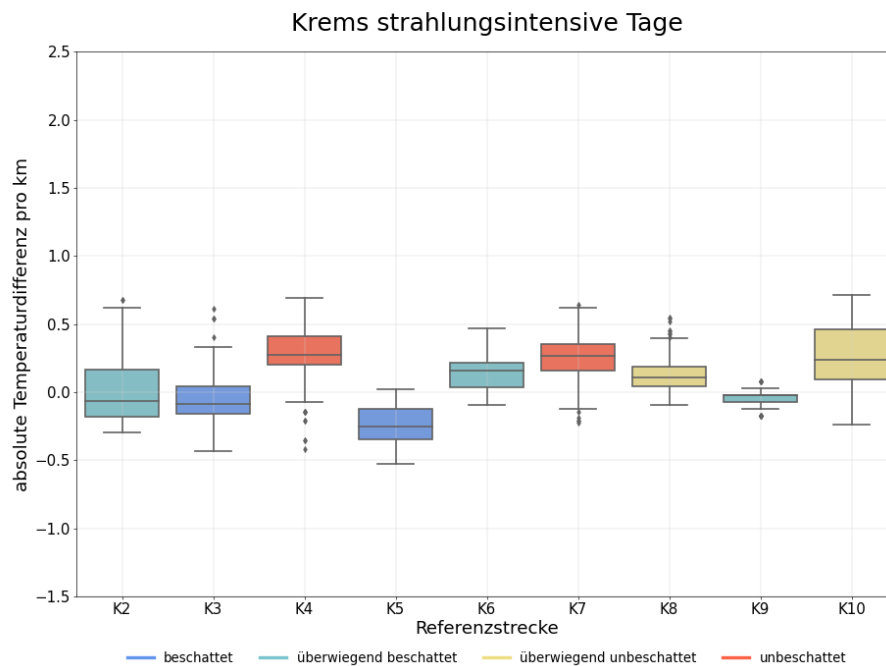


Abbildung 45: Absolute Temperaturdifferenzen in °C pro Kilometer zwischen Anfang und Ende beobachteter Gewässerabschnitte an ausgewählten strahlungsintensiven Tagen an der Krems.

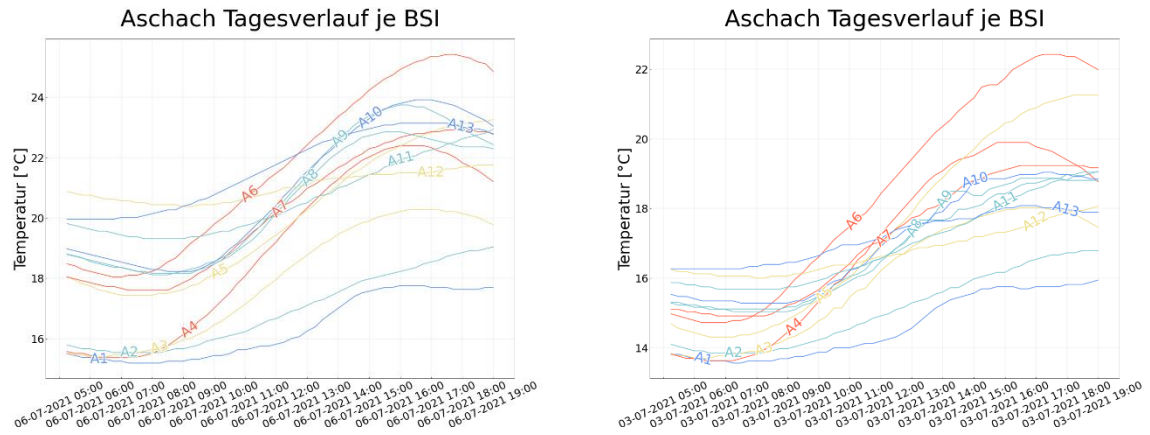


Abbildung 46: Tagesverlauf der Gewässertemperatur am Ende der jeweiligen Ende Referenzstrecke an der Aschach; links: heißester Tag (06.07.2021), rechts: kältester Tag (03.07.2021)

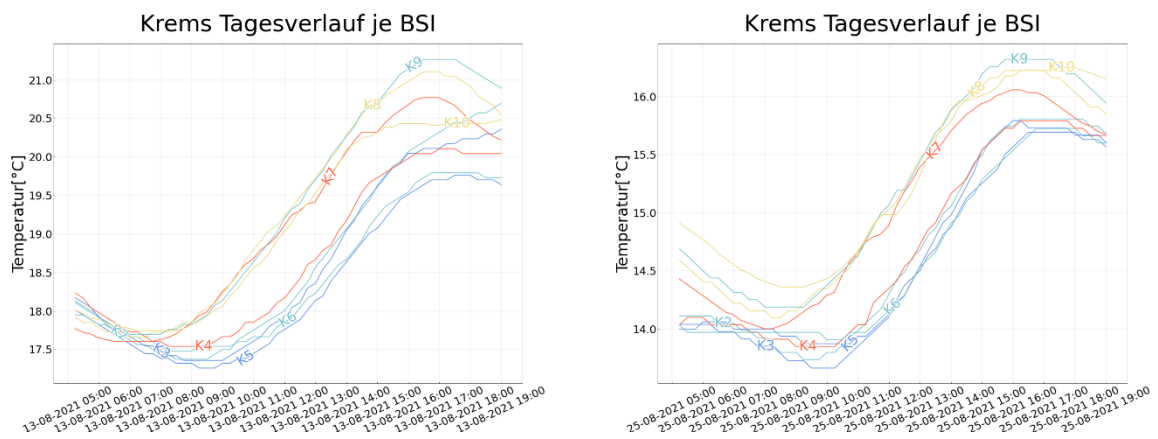


Abbildung 47: Tagesverlauf der Gewässertemperatur am Ende der jeweiligen Ende Referenzstrecke an der Krems; links: heißester Tag (13.08.2021), rechts: kältester Tag (25.08.2021).

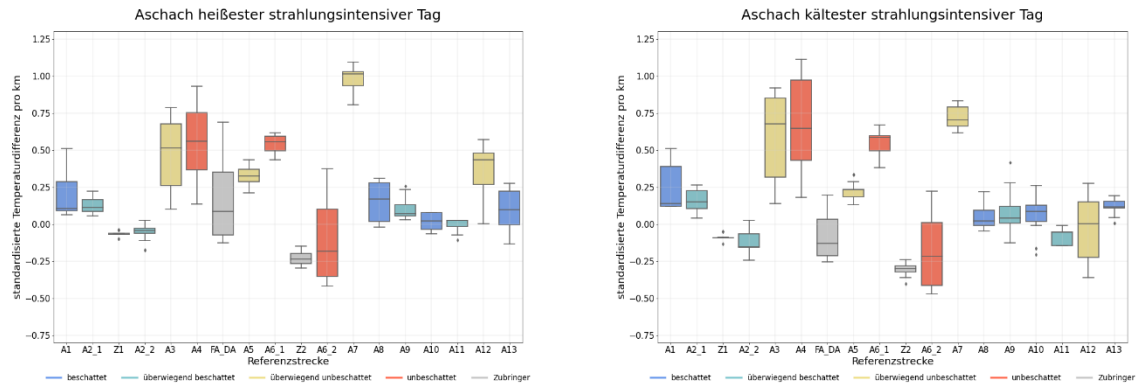


Abbildung 48: Standardisierte Temperaturdifferenzen der jeweiligen Referenzabschnitte an der Aschach; links: heißester strahlungsintensiver Tag (06.07.2021), rechts: kältester strahlungsintensiver Tag (03.07.2021).

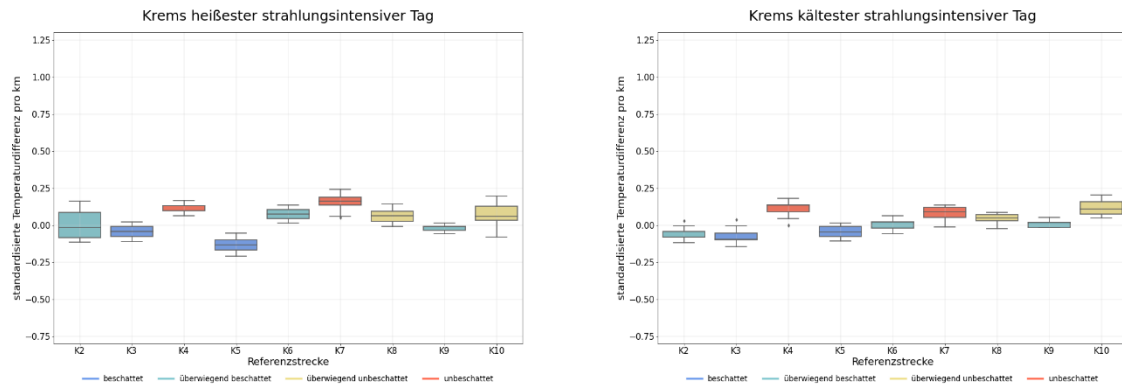


Abbildung 49. Standardisierte Temperaturdifferenzen der jeweiligen Referenzabschnitte an der Krems; links: heißester strahlungsintensiver Tag (13.08.2021), rechts: kältester strahlungsintensiver Tag (25.08.2021).

3.3.3.4 Unterschiede Aschach und Krems: Tagesgang

Um weitere Einflüsse zu evaluieren, wurden für beide Gewässer die jeweils heißesten Tage gefiltert und der Tagesgang in Abbildung 50 und Abbildung 51 dargestellt. Hierbei ist zu erwähnen, dass an der Aschach die maximalen Temperaturdifferenzen am heißesten und strahlungsintensivsten Tag (laut Aufzeichnungen der Wetterstation Weizenkirchen der 06.07.2021) auftraten.

Bei der Krems hingegen weist ein Tag mit geringeren Lufttemperatur, aber höherer Einstrahlung (laut Aufzeichnungen der Wetterstation Kremsmünster der 21.08.2021) höhere Temperaturunterschiede, als der heißeste Tag (13.08.2021) mit etwas geringerer Einstrahlung auf (Vergleich Abbildung 51 und Abbildung 52).

Weiters ist in Abbildung 50 vom Tagesverlauf der Aschach auffällig, dass die Referenzstrecke A7 zu jeder Uhrzeit große Temperaturdifferenzen aufweist. Dies ist vermutlich auf den direkt vor der Referenzstrecke einmündenden Zubringer Sandbach und einer noch nicht vollständigen Durchmischung zurückzuführen. Einen weiteren Einfluss auf die generell höhere Wassertemperatur hat eventuell auch noch der einige hundert Meter vor Beginn der Messstrecke einmündende Leitenbach. Auch die Referenzstrecke A12 weist einen atypischen Temperaturverlauf auf. Bei dieser spielt vermutlich die Ausleitung und anschließende Wiedereinleitung des im Referenzabschnitt befindlichen Betriebes, sowie die Einmündung eines Zubringers direkt vor Beginn der Referenzstrecke eine Rolle.

Auch im Tagesverlauf der Krems (Abbildung 51) weist ein Referenzabschnitt einen atypischen Verlauf auf. Dies ist der Referenzabschnitt K2, welcher wiederum durch die Aus- bzw. Einleitung eines Betriebes beeinflusst ist. So weist dieser speziell in den Nachtstunden eine sukzessive Erwärmung auf, welche bis etwa 13:00 Uhr des Folgetages wieder abklingt und anschließend in eine Abkühlung bis zu einer neuerlichen Erwärmung in den Abendstunden übergeht. Auch der Abschnitt K5 sticht mit einer besonders großen Abkühlung von bis zu 0,45 °C hervor. In diesem Abschnitt führt vermutlich das in den nordseitigen Hängen austretende Grundwasser zu der verhältnismäßig großen Abkühlung. Der gegenläufige Verlauf der Messstrecken K3 und K4 ab ca. 13:00 Uhr am 21.08.2021 (Abbildung 52) weist auf eine Einleitung kurz vor bzw. bei Sensor Nr. 4 (Ende K3, Anfang K4) hin, welche sich nicht näher begründen lässt.

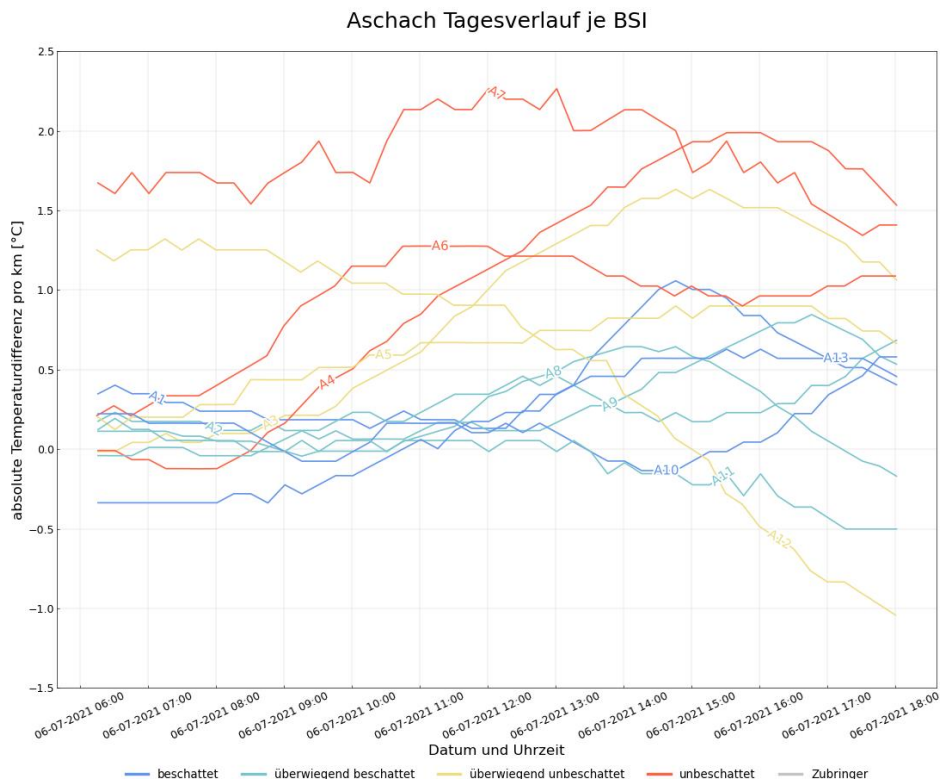


Abbildung 50: Tagesverlauf der absoluten Temperaturdifferenzen pro Kilometer am 06.07.2021 an der Aschach

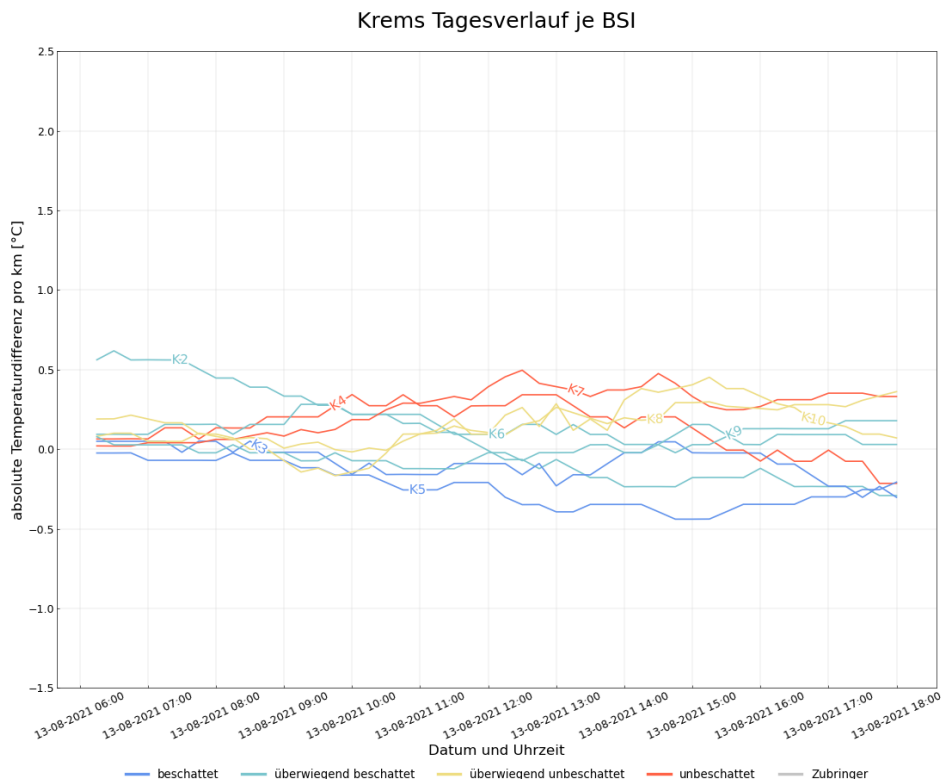


Abbildung 51: Tagesverlauf der absoluten Temperaturdifferenzen pro Kilometer am 13.08.2021 an der Krems

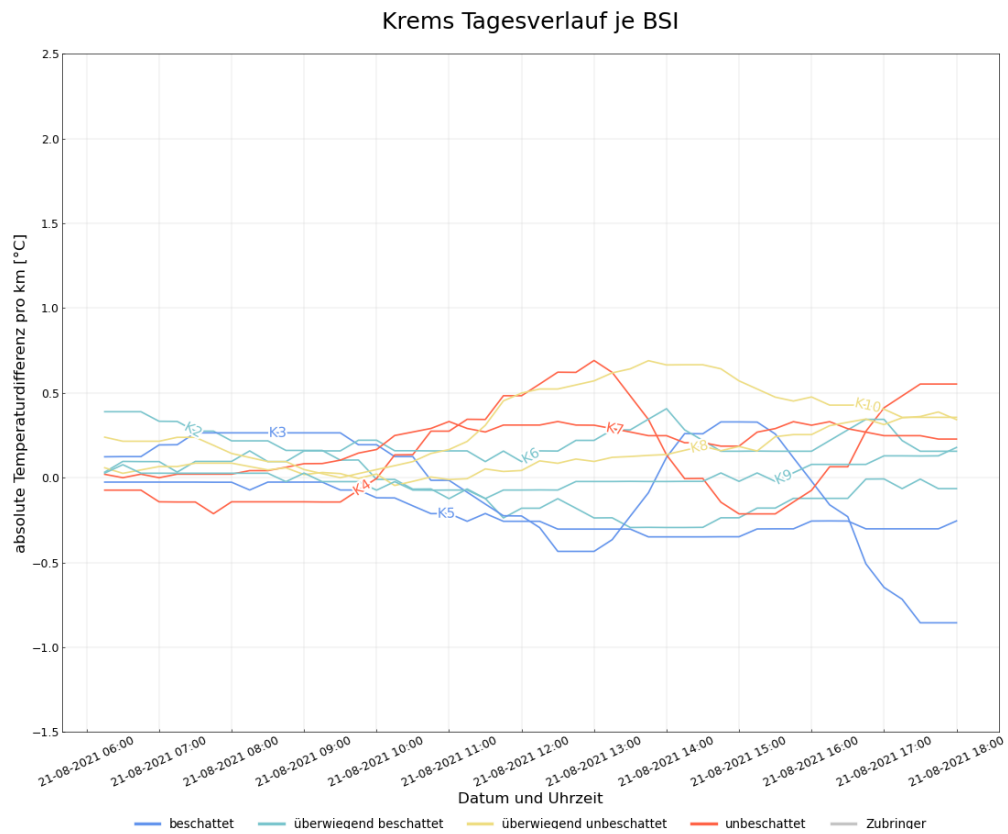


Abbildung 52: Tagesverlauf der absoluten Temperaturdifferenzen pro Kilometer am 21.08.2021 an der Krems

3.3.4 Vergleich unterschiedlicher Wassertiefen an ausgewählten Standorten

An 10 Standorten, an denen es die Wassertiefe erlaubte, wurden Sensoren 15 cm über Gewässersohle und 15 cm unter Gewässeroberfläche installiert. Wie in Abbildung 53 ersichtlich, weisen nur 2 (Standort 19 und Standort 29) von 10 Standorten signifikante Temperaturunterschiede (t-test, $p < 0.001$) zwischen Oberfläche und Sohle auf. Hierbei betrug der mittlere Temperaturunterschied $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$ und der maximale Temperaturunterschied $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

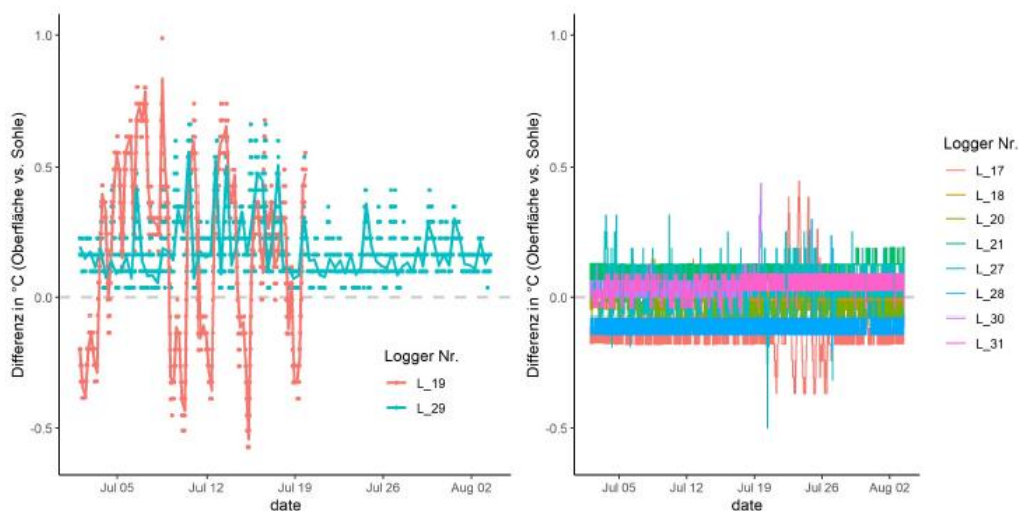


Abbildung 53: Unterschiede der Wassertemperaturen (15-min Auflösung) zwischen Oberfläche und Gewässersohle (Differenz zwischen Oberfläche und Gewässersohle). Die linke Abbildung zeigt die zeitweise höhere Differenz ($>0,5^{\circ}\text{C}$) an zwei Stationen, die rechte Abbildung zeigt die geringe Temperaturdifferenz an den übrigen Messstellen.

Betrachtet man diese zwei Standorte mit signifikanten Temperaturunterschieden zwischen Sohle und Oberfläche genauer, weisen beide folgende - sehr ähnliche - Charakteristika auf:

Tabelle 3-5: Charakteristika der zwei Messstandorte mit Temperaturdifferenzen an der Gewässersohle und Oberfläche.

Standort 19	Standort 29
	
Staustrecke mit geringer Strömungsgeschwindigkeit ($v < 0,11\text{ m/s}$)	Staustrecke mit geringer Strömungsgeschwindigkeit ($v < 0,05\text{ m/s}$)
Große Wassertiefe ($> 2\text{ m}$)	Große Wassertiefe ($> 1,3\text{ m}$)
Beeinflusst durch Wehranlage und Einleitung	Beeinflusst durch Zubringer

Somit repräsentieren diese zwei Abschnitte nicht die Charakteristika bezüglich Wassertiefe und Fließgeschwindigkeiten des restlichen Gewässers. In den restlichen unbeeinflussten Gewässerabschnitten findet aufgrund von geringen Wassertiefen, höheren Fließgeschwindigkeiten und somit größeren Turbulenzen eine Durchmischung statt. Dadurch kommt es zu keinen relevanten Temperaturunterschieden zwischen Oberfläche und Sohle.

3.4 Wirkung wasserbaulicher Maßnahmen

Um die Wirkung wasserbaulicher Maßnahmen wie Tiefstellen und Kolke zu evaluieren, wurden mehrere Handmessungen zu unterschiedlichen Uhrzeiten entlang der Gewässer durchgeführt. Die durchschnittlichen Kolkiefen betrugen zwischen 0,7 und 1,4 m. Gemessen wurde zwischen 08:00 Uhr und 18:00 Uhr Ende Juni und Anfang Juli. Wie in Abbildung 54 ersichtlich, konnten keine Temperaturunterschiede zwischen Sohle und Oberfläche festgestellt werden. Beim überwiegenden Teil der Messungen wurde an Sohle und Oberfläche die gleiche Temperatur gemessen und in vier Fällen betrug der Temperaturunterschied nur 0,1 °C.

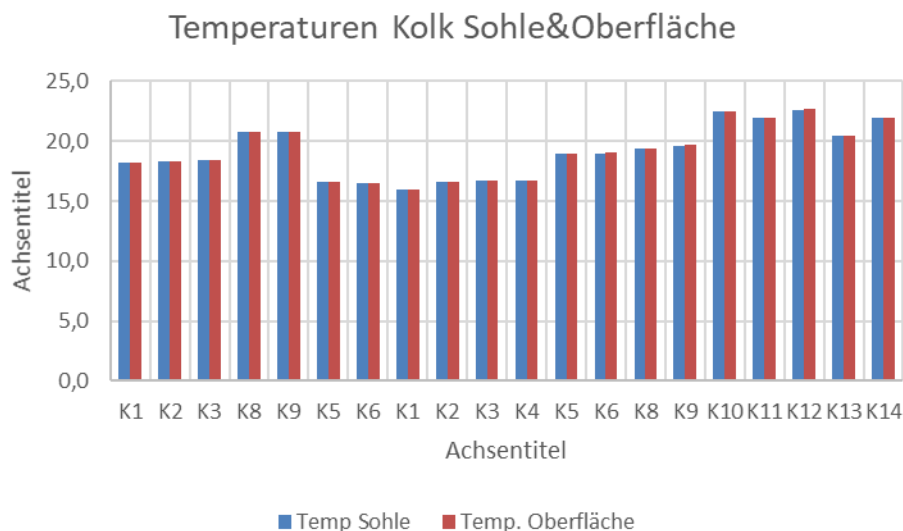


Abbildung 54: Temperaturen an der Gewässersohle und Oberfläche in Tiefstellen (Kolken).

4 Messkampagne 2022

Auf Grund des sehr feuchten und ereignisintensiven Sommers 2021 an der Krems, wurde entschieden im darauffolgenden Sommer 2022 eine zusätzliche Messkampagne an der Krems durchzuführen.

4.1 Anpassungen zu Messungen 2021

4.1.1 Fixierung der Sensoren 2022

Die Sensoren, wurden mithilfe einer Boje und einem Gegengewicht an der Gewässersohle, 15 cm unterhalb der Wasseroberfläche positioniert, um einen eventuellen Einfluss zuströmenden Grundwassers auszuschließen. Des Weiteren wurde der gesamte Messaufbau am Flussufer verankert, um Ausfälle durch Hochwasserereignisse zu verhindern (Abbildung 55).

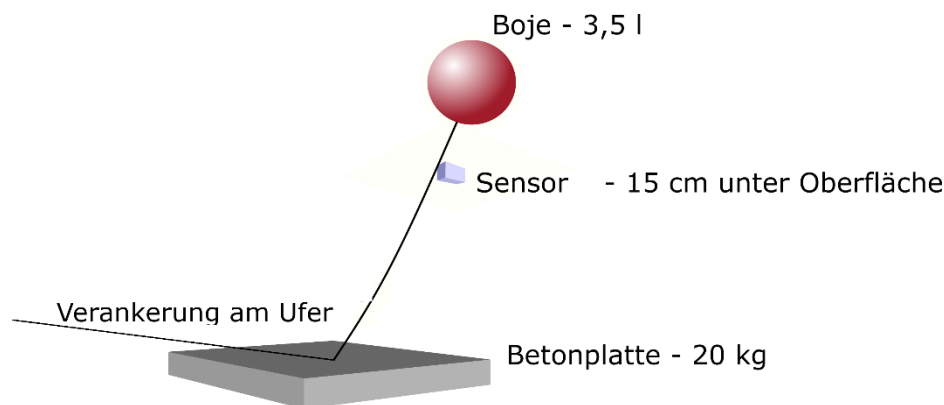


Abbildung 55: Messaufbau.

4.1.2 Messzeitraum & Wartung 2022

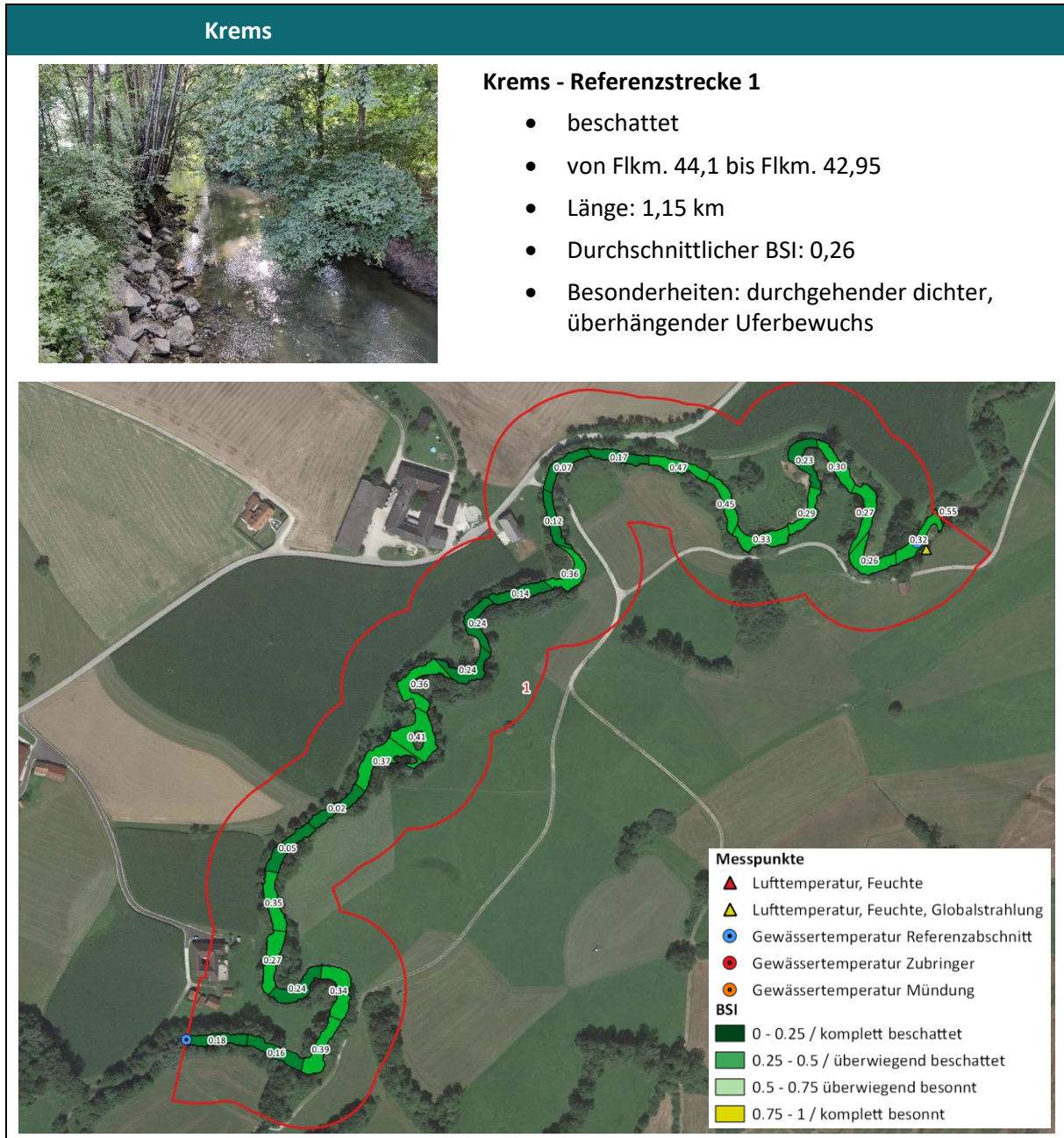
Um die gewünschten Hitzeperioden erfassen zu können, wurde der Messzeitraum auf zwei Monate ausgedehnt. Somit wurden die Sensoren am 26.05.2022 in der Krems montiert und am 08.08.2022 demontiert. Um valide Messdaten zu erhalten, erfolgte eine regelmäßige Wartung mit Sicherung der bereits aufgezeichneten Daten und Kontrolle der Funktionstüchtigkeit der Sensoren.

4.1.3 Referenzstrecken 2022

Zu den Messungen aus dem Jahr 2021 wurden zwei weitere Referenzstrecken hinzugefügt. Eine überwiegend unbeschattete Referenzstrecke im Oberlauf durch das Siedlungsgebiet von Wartberg und eine unbeschattete Referenzstrecke im Unterlauf bei Kremsdorf.

Zusätzlich wurden drei Zubringer mit Sensoren bestückt. Beim Piberbach und Sulzbach wurden Sensoren vor dem Zubringer, im Zubringer sowie nach dem Zubringer positioniert, um deren Einfluss beurteilen zu können. Der Sprinzenbach wurde im Laufe der Messperiode aufgrund der auffällig hohen Wassertemperaturen mit einem zusätzlichen Sensor bestückt.

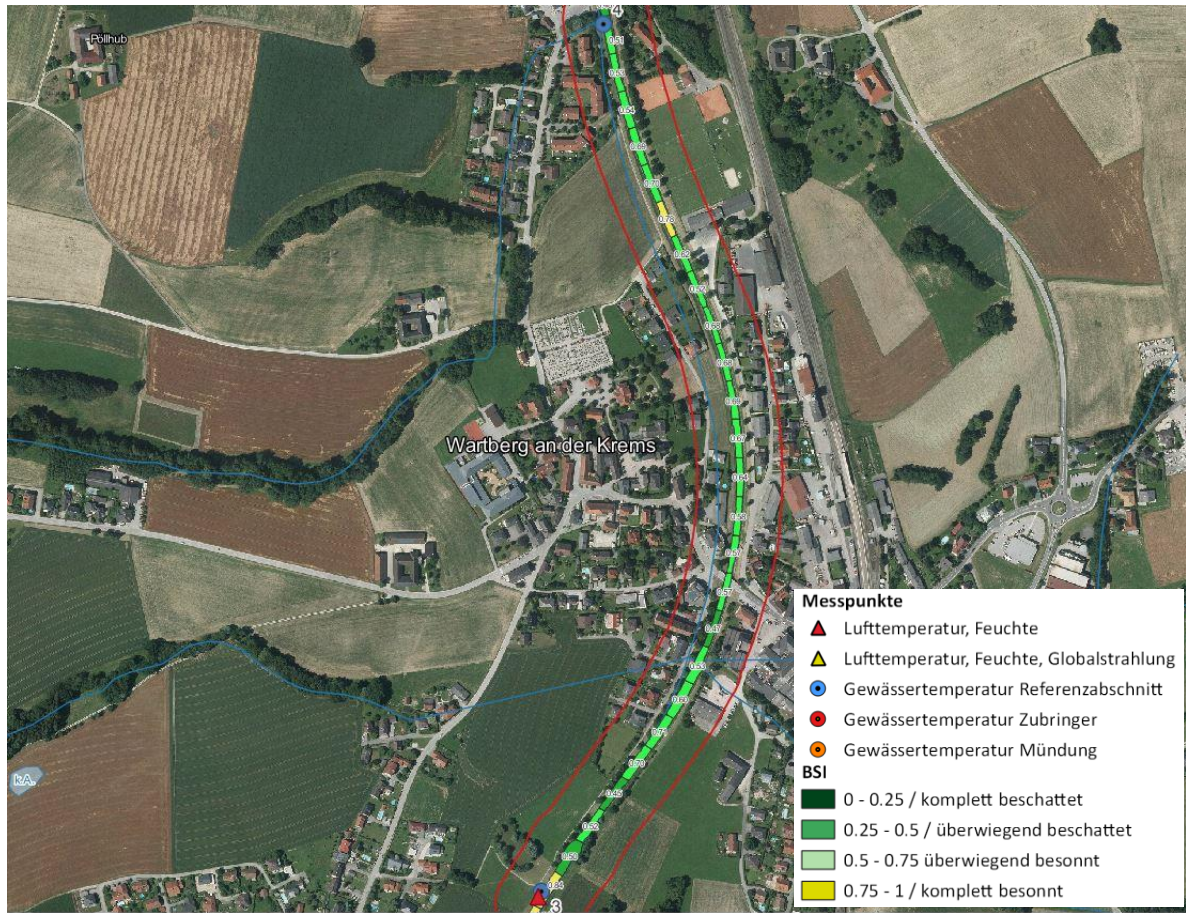
Tabelle 4-1: Kurzbeschreibung Referenzstrecken Krems





Krems - Referenzstrecke 2

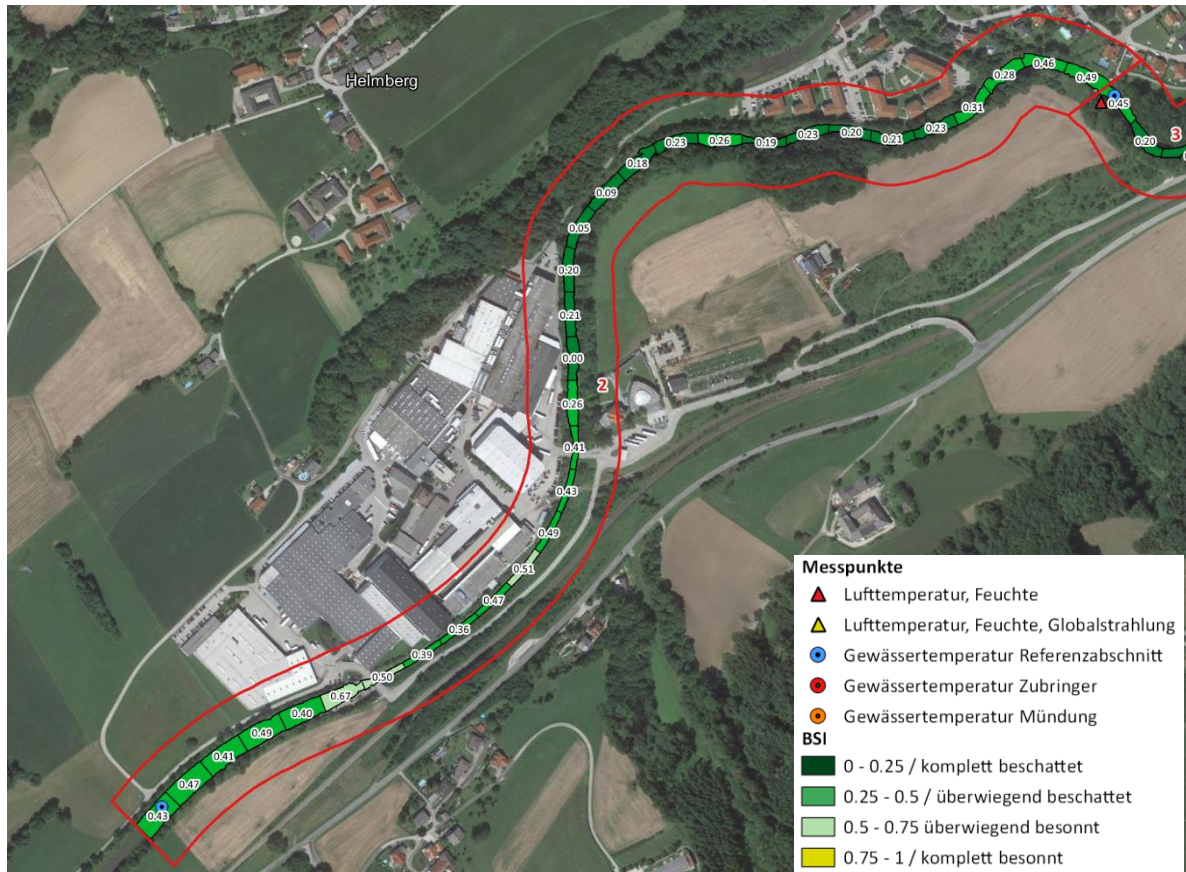
- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 40,45 bis Flkm. 39,25
- Länge: 1,2 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,61
- Besonderheiten: durch Siedlungsgebiet mit lichtem Uferbewuchs, beeinflusst durch sehr kleine, aber kalte Zubringer





Krems - Referenzstrecke 3

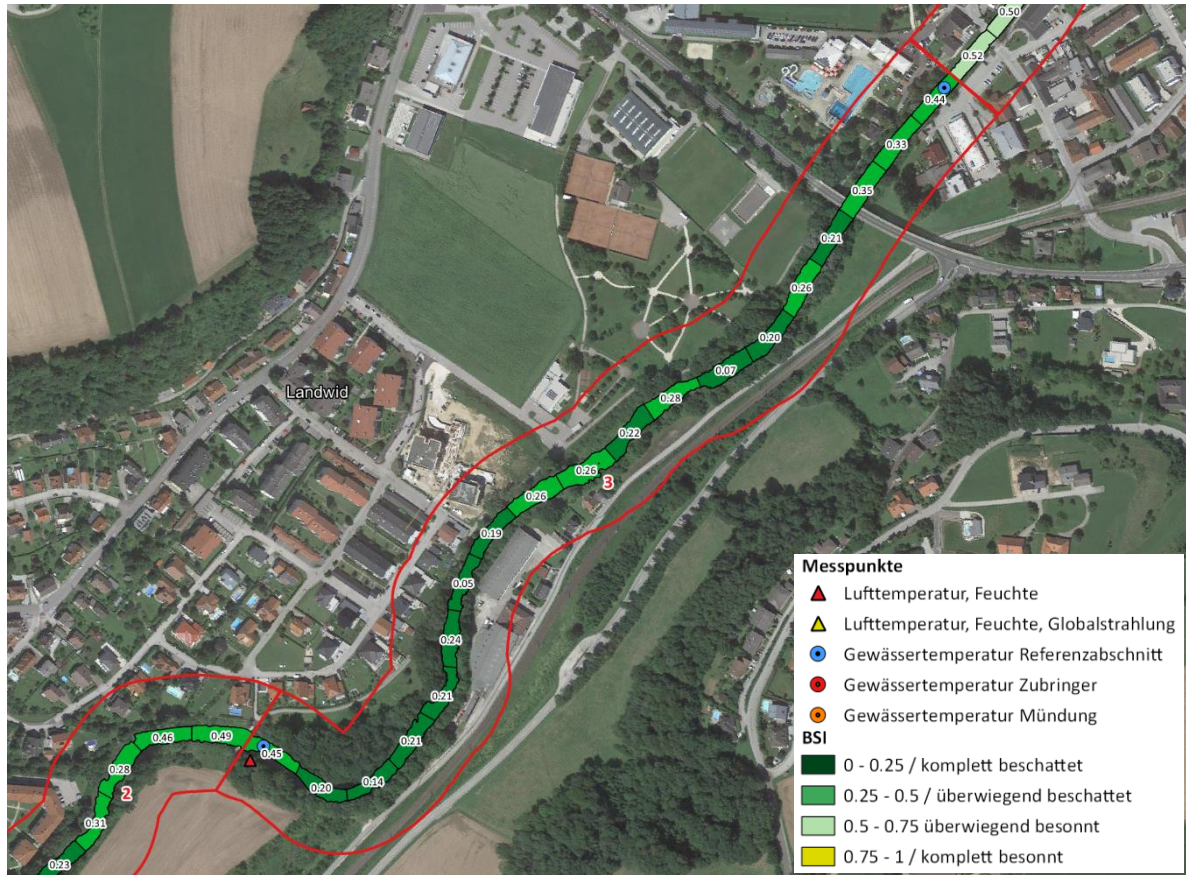
- überwiegend beschattet
- von Flkm. 34,05 bis Flkm. 32,4
- Länge: 1,65 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,32
- Besonderheiten: Anfang in Staustrecke (Greinerwehr), beeinflusst durch Ausleitungen, Wechsel zwischen üppigen und lichterem Uferbewuchs





Krems - Referenzstrecke 4

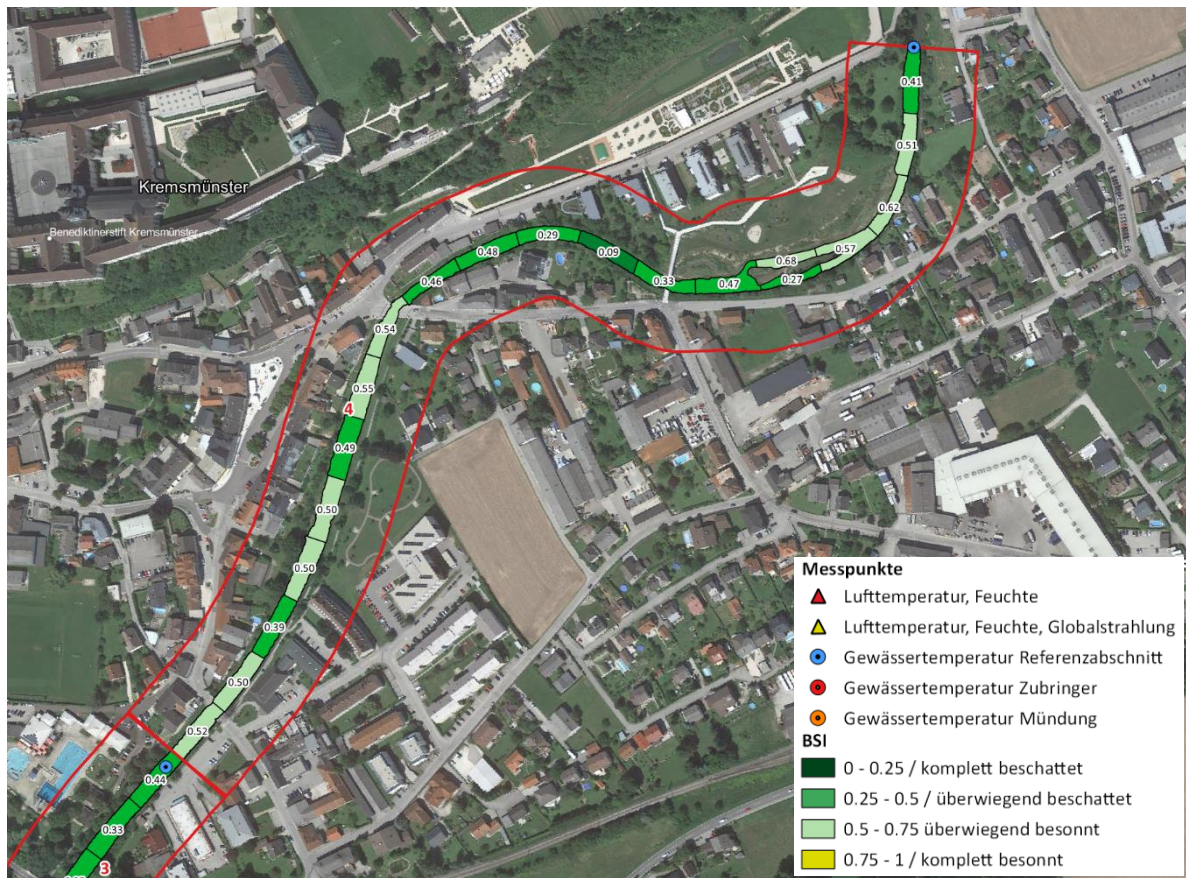
- beschattet
- von Flkm. 32,4 bis Flkm. 31,6
- Länge: 0,8 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,24
- Besonderheiten: durchgehend üppiger teils überhängender Uferbewuchs





Krems - Referenzstrecke 5

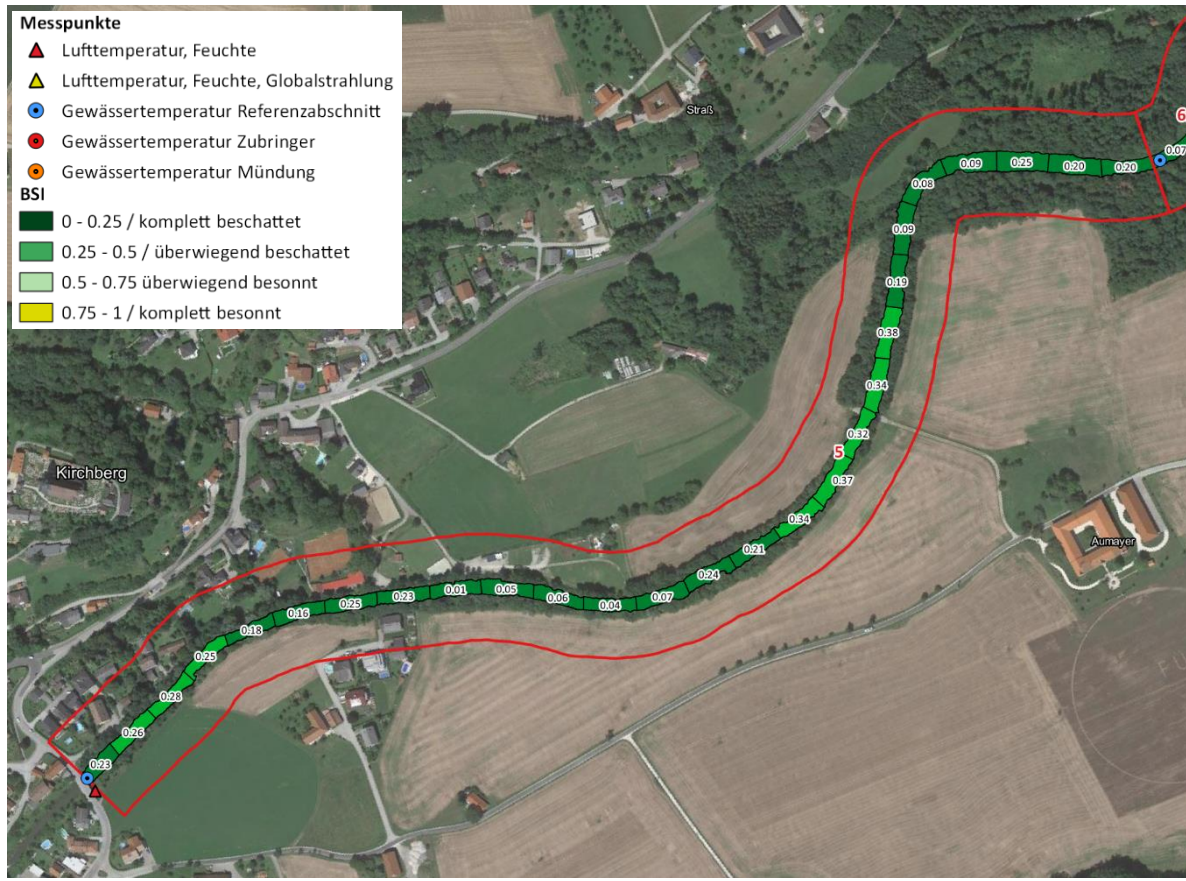
- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 31,6 bis Flkm. 30,6
- Länge: 1,0 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,50
- Besonderheiten: Stadtstrecke, hohe Ufermauern, kein bis geringer Uferbewuchs, an der Grenze zu überwiegend beschattet durch die in weiten Bereichen hohen Ufermauern





Krems - Referenzstrecke 6

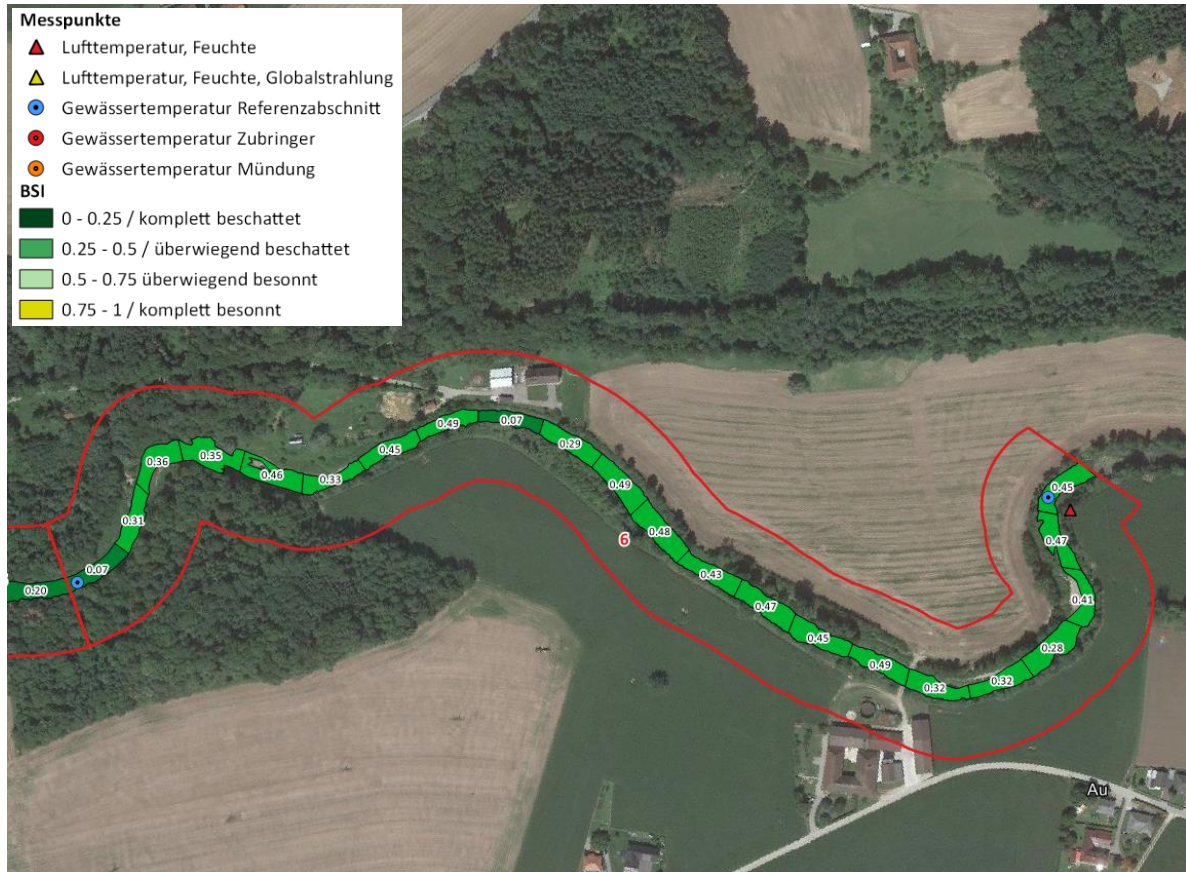
- beschattet
- von Flkm. 30,35 bis Flkm. 29,05
- Länge: 1,3 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,19
- Besonderheiten: dichter teils überhängender Uferbewuchs, nordseitig steil ansteigende Hänge mit Wasseraustritt





Krems - Referenzstrecke 7

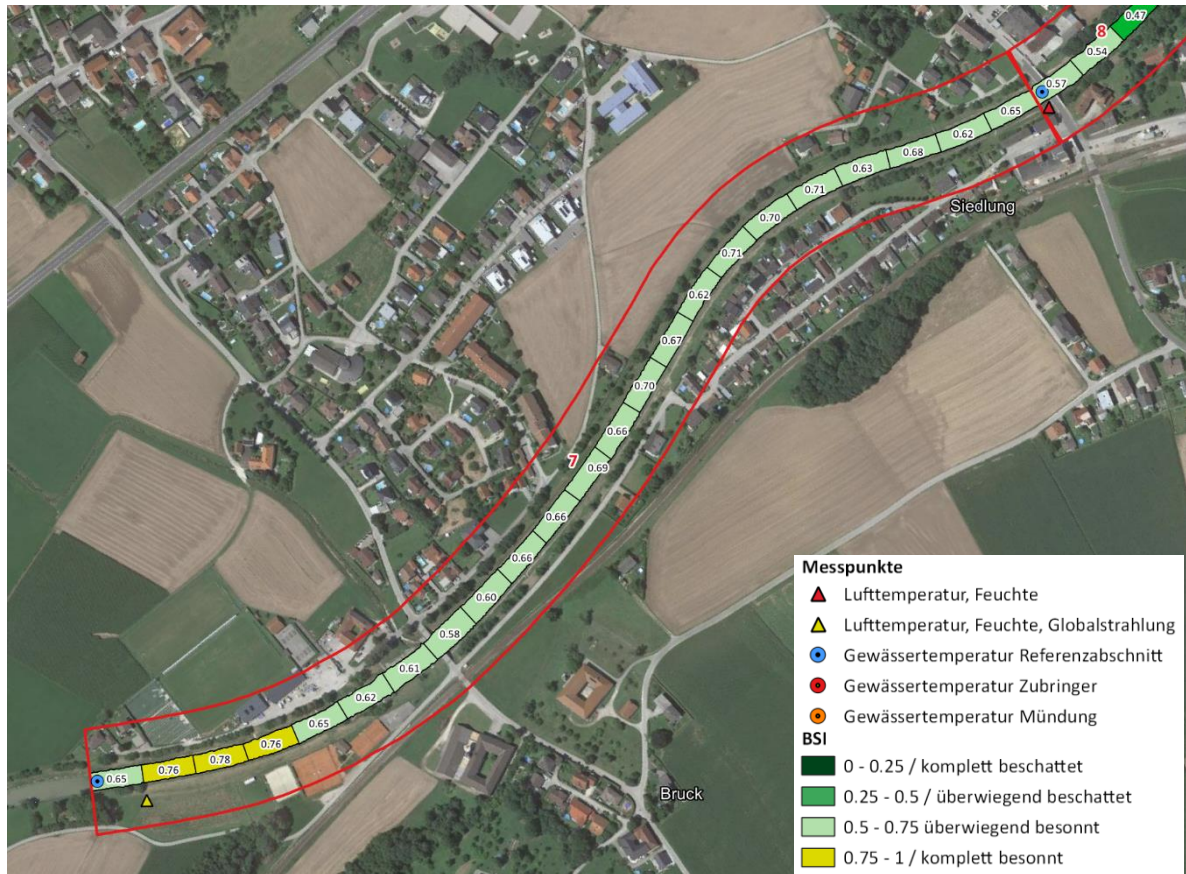
- überwiegend beschattet
- von Flkm. 29,05 bis Flkm. 28,05
- Länge: 1,1 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,4
- Besonderheiten: Anfangs dichter beschattet, später hohe, aber lichte Ufervegetation





Krems - Referenzstrecke 8

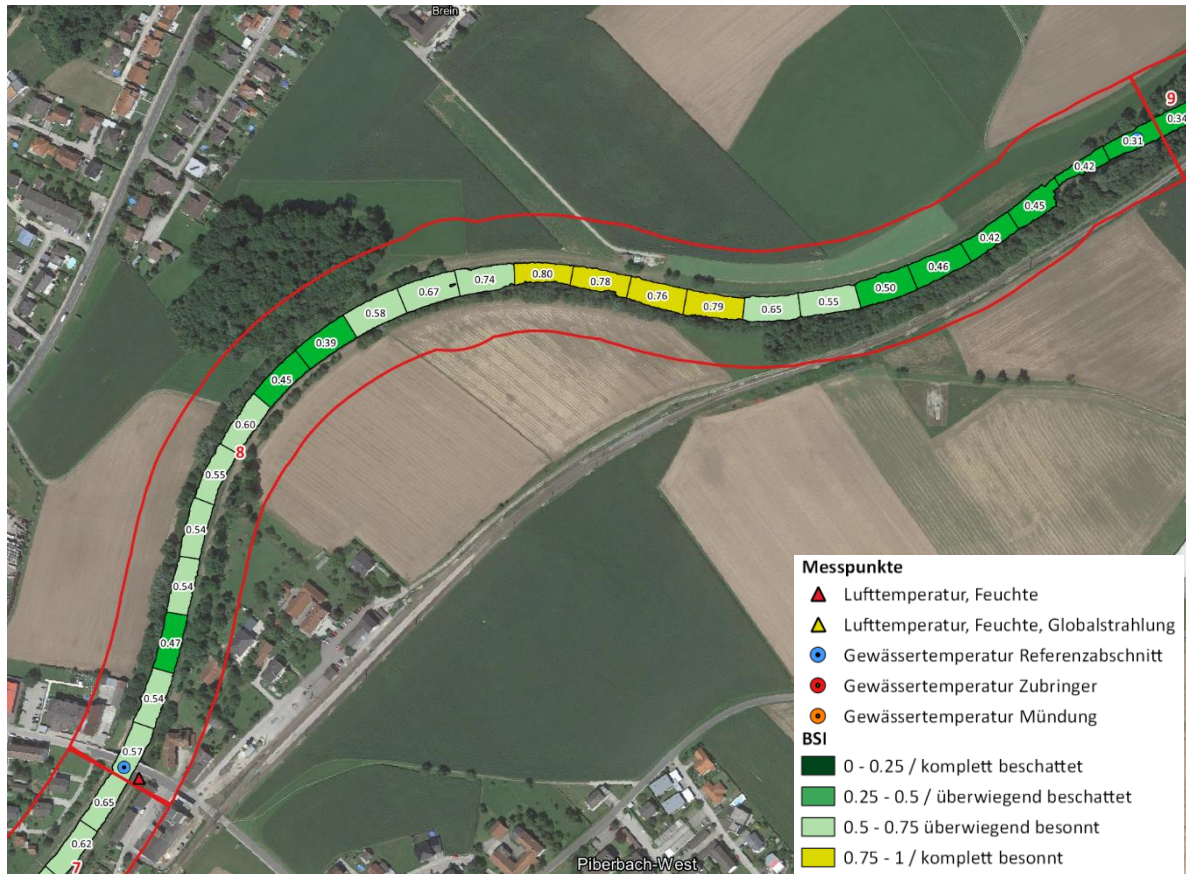
- unbeschattet
- von Flkm. 21,95 bis Flkm. 20,8
- Länge: 1,15 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,67
- Besonderheiten: durchgehend keine, oder aufgrund des Hochwasserabflussquerschnittes nur niedrige, strauchige Ufervegetation





Krems - Referenzstrecke 9

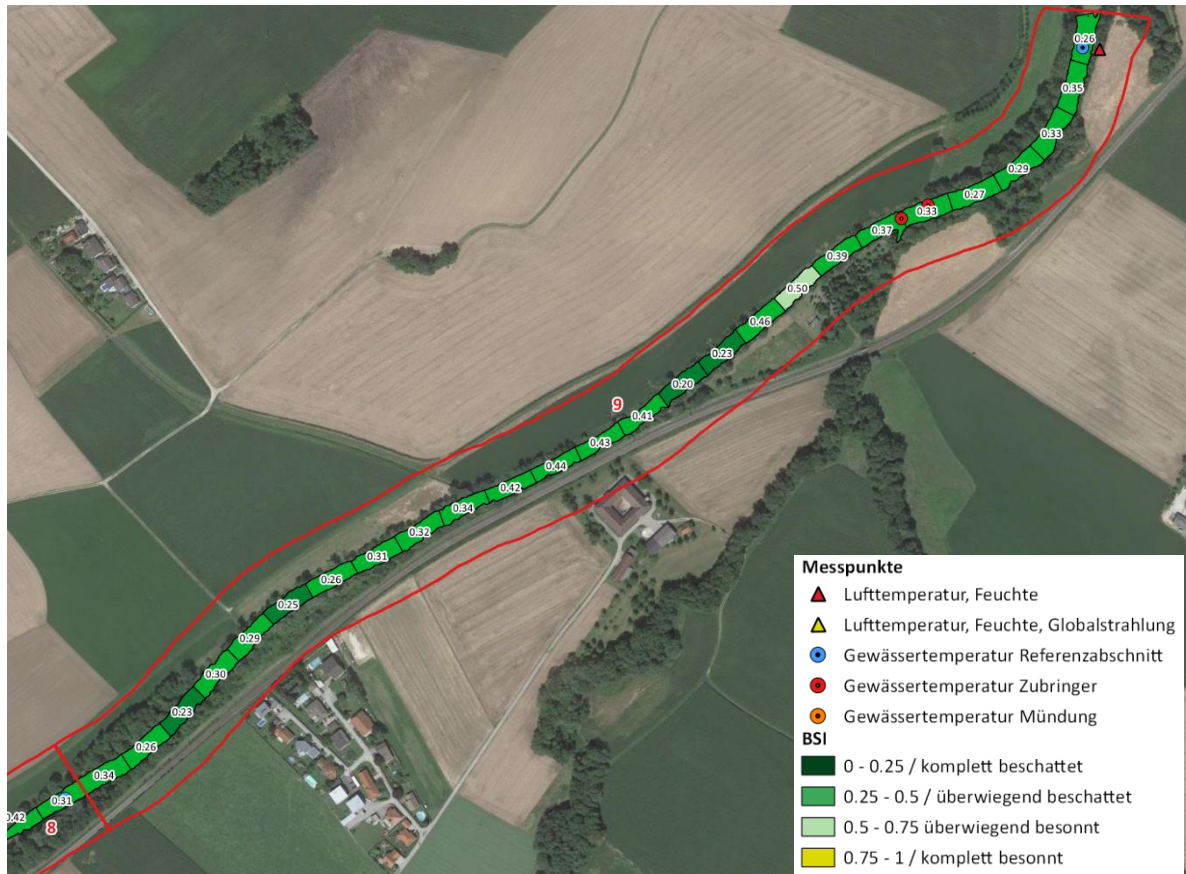
- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 20,8 bis Flkm. 19,6
- Länge: 1,2 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,55
- Besonderheiten: teils hohe und dichte Ufervegetation, allerdings große Gewässerbreite und Vegetation nicht bis ans Ufer reichend





Krems - Referenzstrecke 10

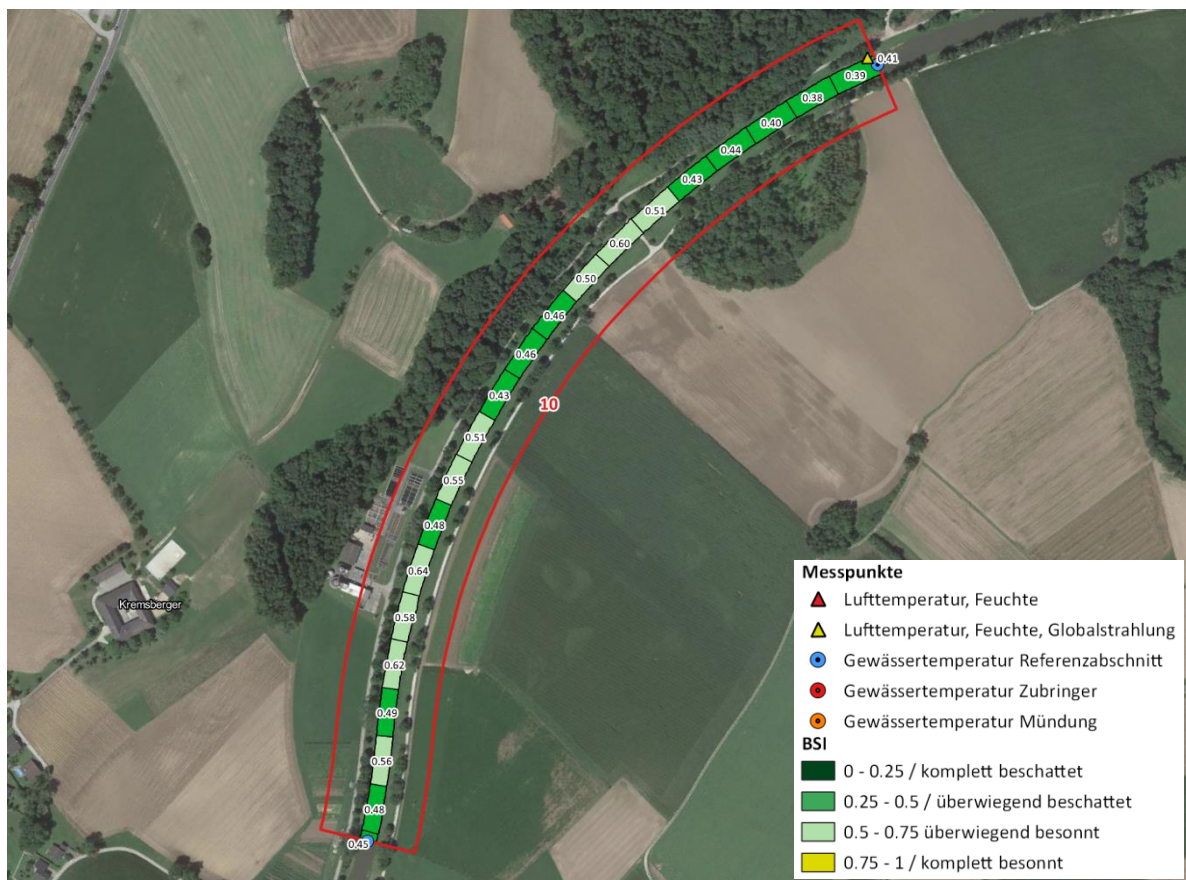
- überwiegend beschattet
- von Flkm. 19,6 bis Flkm. 18,6
- Länge: 1,0 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,33
- Besonderheiten: meist hohe abwechselnd dichte bis weniger dichte Ufervegetation, große Gewässerbreite





Krems - Referenzstrecke 11

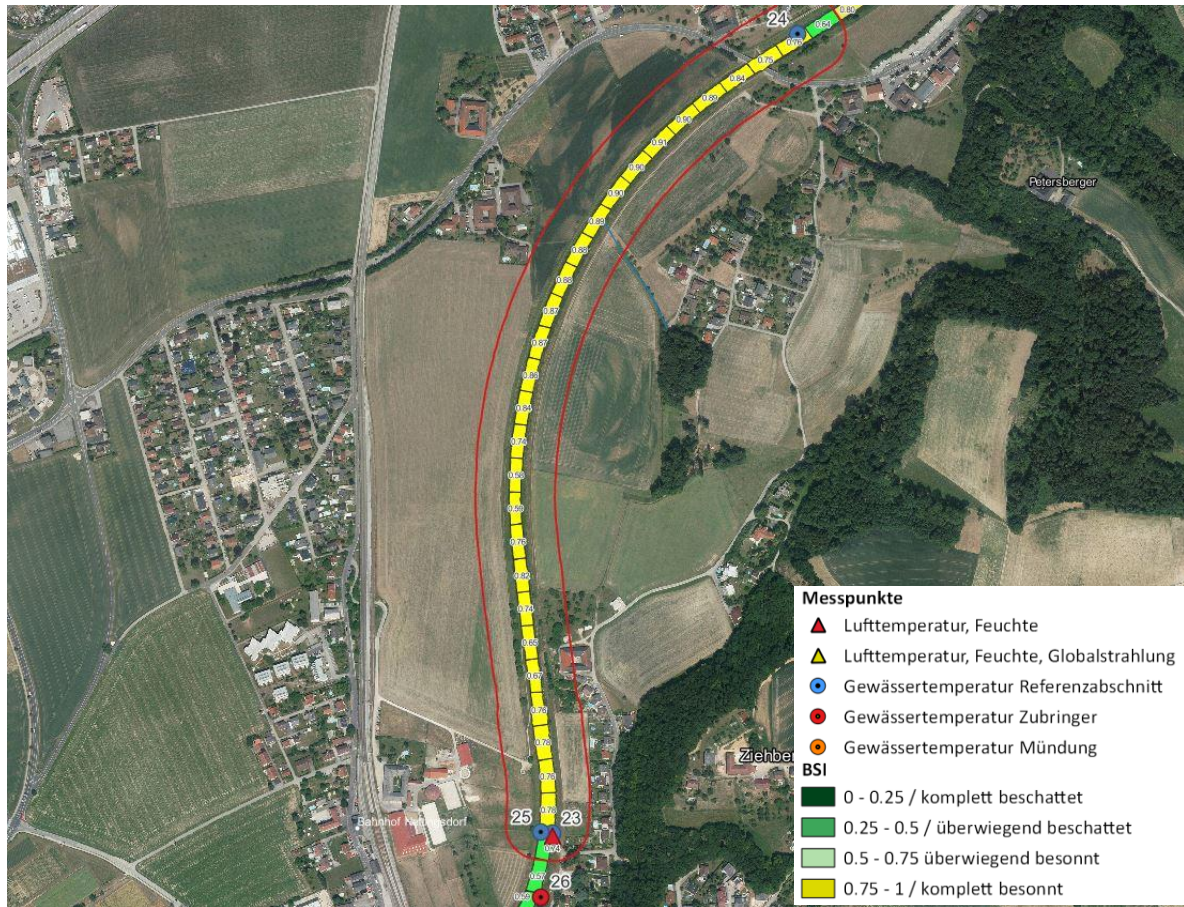
- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 15,1 bis Flkm. 14,05
- Länge: 1,05 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,54
- Besonderheiten: hohe und dichte Ufervegetation, allerdings reicht die Vegetation durch Freihaltung des Hochwasserabflussquerschnittes nicht bis an die Ufer, aufgrund von Ausrichtung und Breite des Abflussquerschnittes defacto unbeschattet





Krems - Referenzstrecke 12

- überwiegend unbeschattet
- von Flkm. 9,6 bis Flkm. 8,25
- Länge: 1,35 km
- Durchschnittlicher BSI: 0,80
- Besonderheiten: keine Ufervegetation, oberliegender Zubringer führt sehr warmes Wasser aufgrund von Kühlwassereinleitungen zu



4.1.4 Piberbach

Aufgrund der durchgehend kühlen Wassertemperaturen wurde diese im Piberbach gemessen, um so die mögliche kühlende Wirkung beurteilen zu können. Der Piberbach entwässert ein Einzugsgebiet von 27,7 km² und führt dementsprechend eine Wassermenge, welche durchaus Einfluss auf die Wassertemperaturen der Krems hat.



4.1.5 Sulzbach

Mit einem Einzugsgebiet von 74,8 km² ist der Sulzbach bei Rohr im Kremstal der bedeutendste Zubringer im Hinblick auf die zugeführte Wassermenge. Auch dieser wurde mit Sensoren vor, nach und im Zubringer selbst bestückt, um dessen Auswirkung auf die Gewässertemperatur beurteilen zu können.



4.1.6 Sprinzenbach

Der Sprinzenbach weist eine durchwegs gute Beschattung auf. Dennoch wurden ungewöhnlich hohen Wassertemperaturen gemessen. Daher wurde der Sprinzenbach ebenso mit einem Sensor bestückt um mögliche Ursachen der hohen Wassertemperaturen eruieren zu können.



4.1.7 Statistik 2022

Im Zuge der Datenaufbereitung wurde mithilfe eines Medianfilters mögliche Ausreißer gefiltert. Mittels der ZAMG Wetterdaten wurden alle Tage mit einer Lufttemperatur über 28 °C und einer Sonnenscheindauer von 12 Stunden (gleichbedeutend mit keinen Niederschlägen während der Strahlungszeit) identifiziert. Die bewölkten Tage mit einer Sonnenscheindauer unter 2,5 Stunden wurden als Kontrollgruppe identifiziert, um so die Auswirkungen der Sonneneinstrahlung und damit der Beschattung besser beurteilen zu können. Des Weiteren wurden die Daten auf den Zeitraum von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang gefiltert, um damit die Nachtstunden bei den Auswertungen bezüglich der Beschattung ausschließen zu können. Anschließend erfolgte eine Plausibilisierung der Messdaten mithilfe zusätzlicher Sensoren und Einzelmessungen, sowie eine Auswertung der Temperaturdifferenzen in den Referenzabschnitten und der Tagesgänge der einzelnen Sensoren.

4.2 Ergebnisse Krems 2022

4.2.1 Wetterdaten 2022

In repräsentativen Gewässerabschnitten wurden Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und auftretende Globalstrahlung gemessen, um Daten zu den mikroklimatischen Verhältnissen in unterschiedlich beschatteten Bereichen zu erhalten. Darüber hinaus sind die Wetterdaten der ZAMG Wetterstation Kremsmünster zur Auswertung herangezogen worden.

4.2.2 Globalstrahlung & Sonnenscheindauer - ZAMG

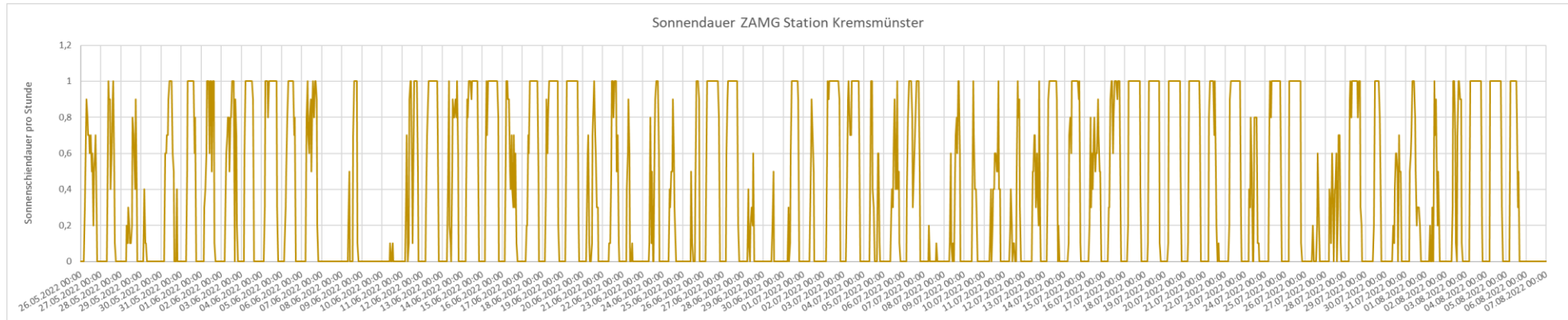


Abbildung 56: Sonnenscheindauer pro Stunde aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster über die gesamte Messperiode an der Krems.

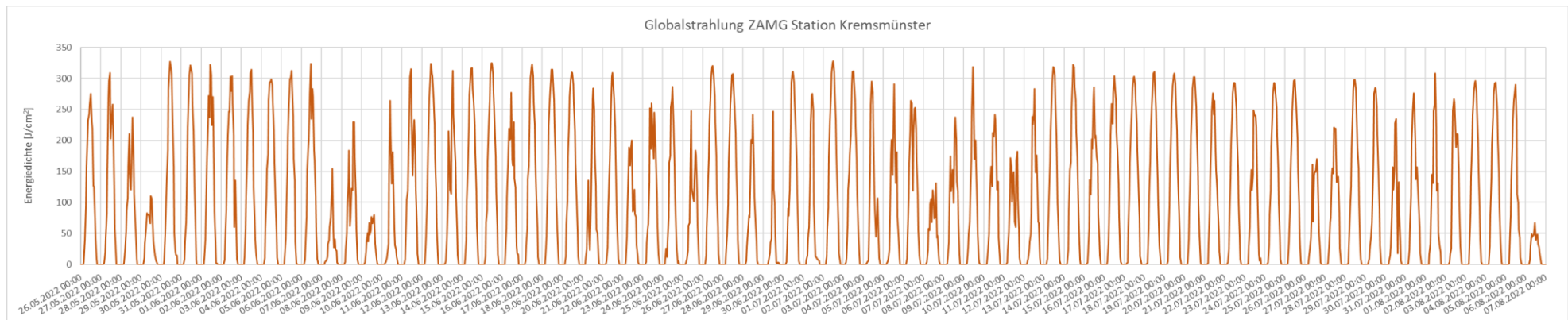


Abbildung 57: Energiedichte aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster über die gesamte Messperiode an der Krems.

4.2.3 Globalstrahlungsmessungen in den Referenzabschnitten – eigene Messungen

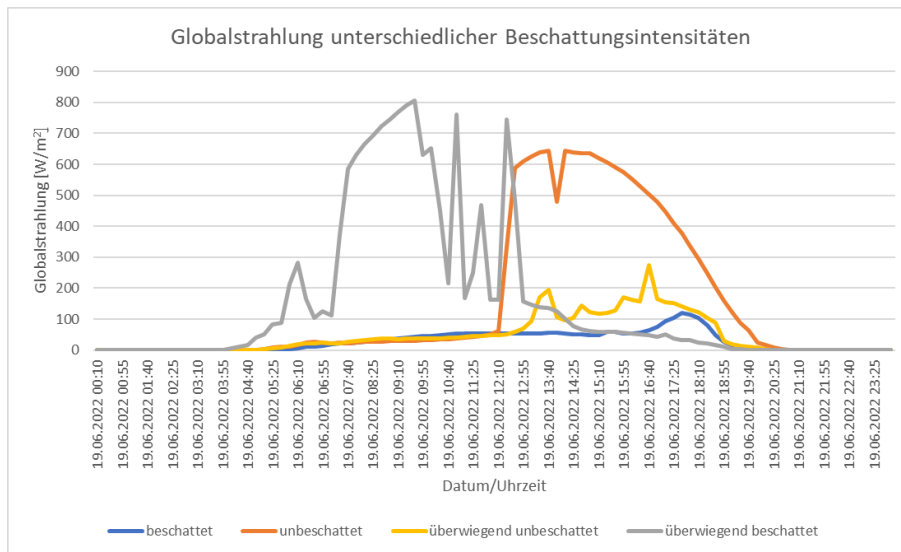


Abbildung 58: Tagesgang der auftretenden Globalstrahlung an einem sonnigen Tag in den jeweiligen Kategorien der Referenzstrecken.

Bei den gemessenen Globalstrahlungen wird die Relevanz der Position der Sensoren deutlich. Die Kategorien überwiegend beschattete/unbeschattete Abschnitte zeichnen sich durch, abhängig von Sonnenstand und Ausrichtung der Ufervegetation, tageszeitlich variierenden Einstrahlungen mit durchaus auch hohen Spitzenwerten aus. Deutlich wird der Unterschied in den unbeschatteten und beschatteten Referenzabschnitten, in welchen die Sensorposition keine Rolle mehr spielt. So weisen beschattete Abschnitte Strahlungswerte von nur einem Sechstel der auftretenden Strahlung in unbeschatteten Abschnitten auf.

4.2.4 Lufttemperatur und Niederschlag - ZAMG

Abbildung 59 zeigt die gemessenen Lufttemperaturen der ZAMG Wetterstation Kremsmünster. Die orange Linie stellt den für die Analysen ausgewählten Schwellenwert von 28 °C dar. Des Weiteren werden in Abbildung 60 die über die Messperiode auftretenden Niederschläge und deren Dauer dargestellt.

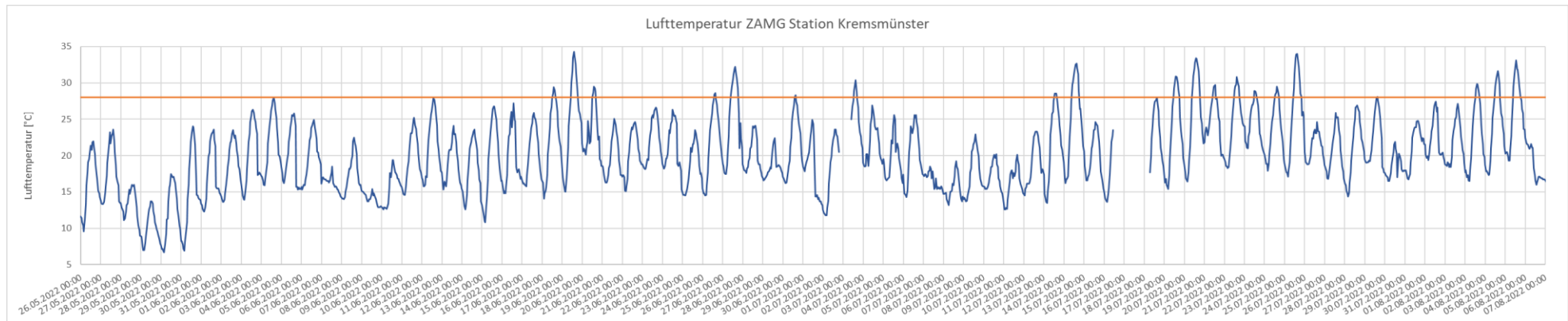


Abbildung 59: Lufttemperatur aufgenommen an der ZAMG Messstation Kremsmünster über die gesamte Messperiode mit dem Schwellenwert von 28°C (rote Linie).

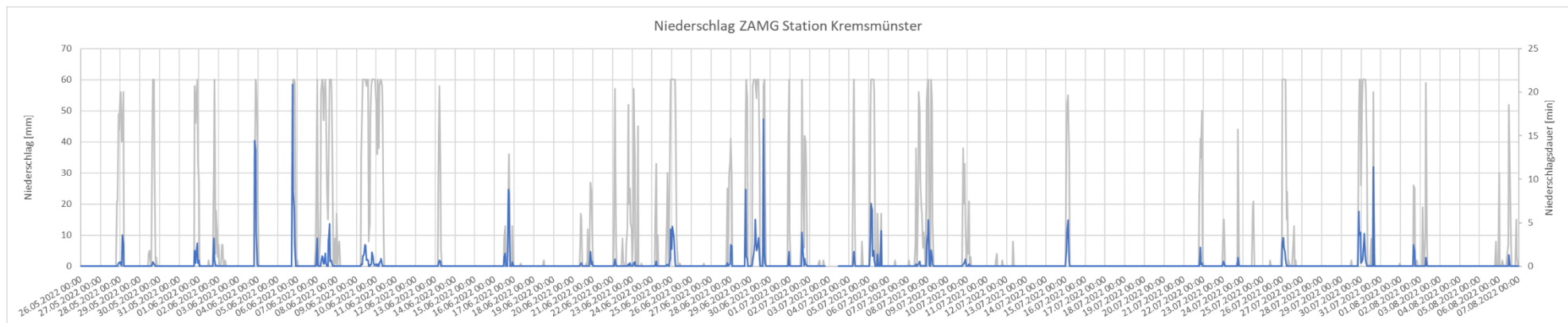


Abbildung 60: Niederschlag (blau) im Messzeitraum mit Niederschlagsdauer (grau) aufgezeichnet von ZAMG Messstation Kremsmünster.

4.2.5 Lufttemperatur - eigene Messungen

Anhand der gemessenen Lufttemperaturen (Abbildung 61) entlang der Messabschnitte ist zu erkennen, dass sich die auftretenden Lufttemperaturen über den gesamten mit Sensoren bestückten Gewässerverlauf ähnlich der ZAMG Aufzeichnungen verhält. Somit bilden die Wetterdaten der ZAMG Wetterstation Kremsmünster eine valide Datengrundlage für die folgenden Auswertungen. Zu erkennen sind deutliche Unterschiede in den auftretenden maximalen Lufttemperaturen, abhängig von der umgebenden Vegetation bzw. Beschattung.

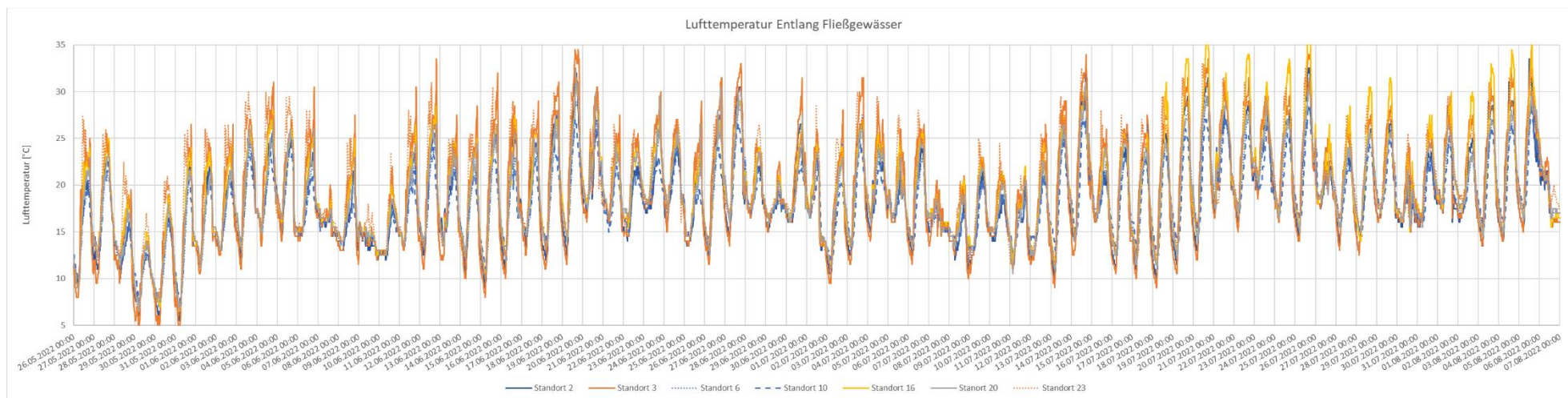


Abbildung 61: Aufgezeichnete Lufttemperaturen in unterschiedlichen Referenzstrecken über die gesamte Messperiode.

Wie in Abbildung 62 erkennbar sind die oben erwähnten Temperaturunterschiede in unterschiedlich beschatteten Abschnitten an sonnigen Tagen stärker ausgeprägt wie an bewölkten Tagen, womit deutlich wird, dass die Ufervegetation bei auftretender Sonneneinstrahlung einen wesentlichen Einfluss auf die lokal vorherrschenden Lufttemperaturen hat.

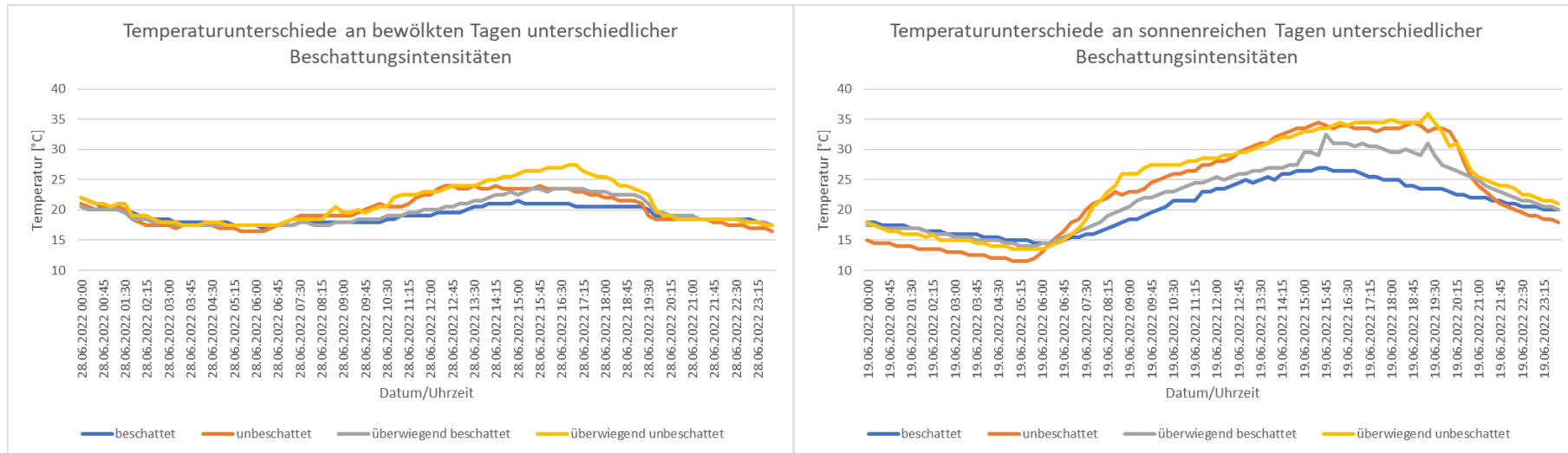


Abbildung 62: Aufgezeichnete Temperaturunterschiede im Tagesverlauf unterschiedlich beschatteter Referenzabschnitte, an einem sonnigen und bewölkten Tag.

4.2.6 Wassertemperatur – Plausibilisierung der Messdaten

4.2.6.1 Zubringer Sprinzenbach

Der Sprinzenbach weist einen üppigen Uferbewuchs auf und hat dennoch erstaunlich hohe Wassertemperaturen im Vergleich zur Krems.



Abbildung 63: Sprinzenbach.

Handmessungen am 01.07.2022 um 10:45 Uhr ergaben Wassertemperaturen des Sprinzenbaches von ca. 20,48 °C. Die Krems hingegen weist Wassertemperaturen zum selben Zeitpunkt von ca. 19,25 °C auf. Da der rechtfertig positionierte Sensor in der Krems noch einen starken Einfluss des Sprinzenbaches ausgesetzt ist, wurde zusätzlich ein weiterer Sensor linksufrig in der Krems sowie ein Sensor im Sprinzenbach positioniert. In Abbildung 64 und Abbildung 65 sind die deutlich höheren Wassertemperaturen im Sprinzenbach zu erkennen.

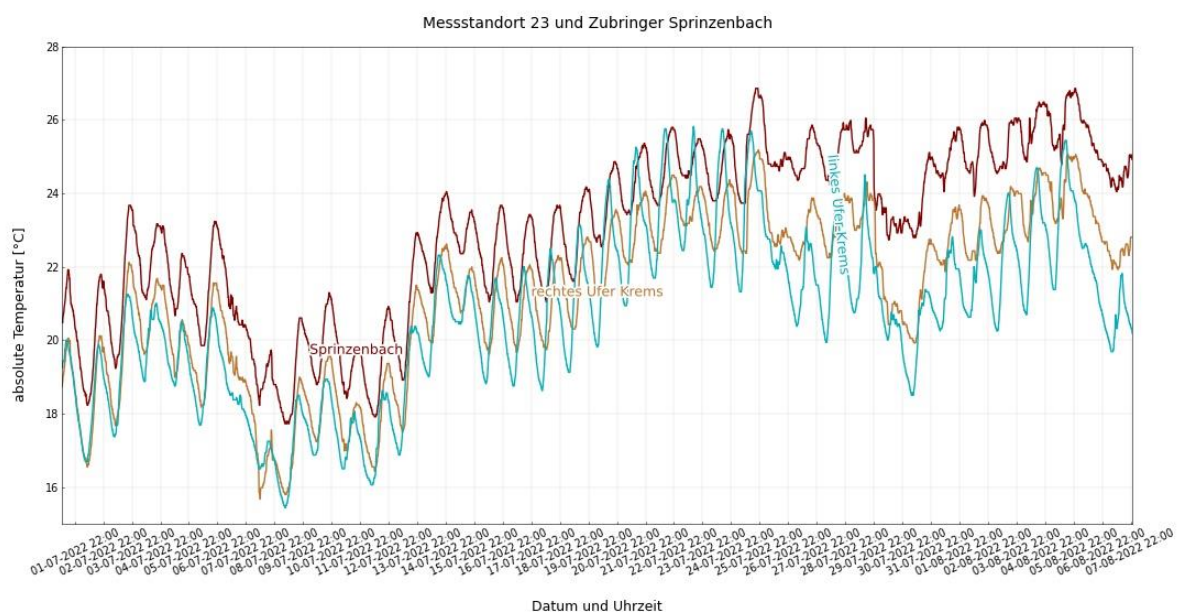


Abbildung 64: Gemessene Wassertemperaturen im Sprinzenbach, sowie nach der Einmündung am linken und rechten Ufer der Krems.

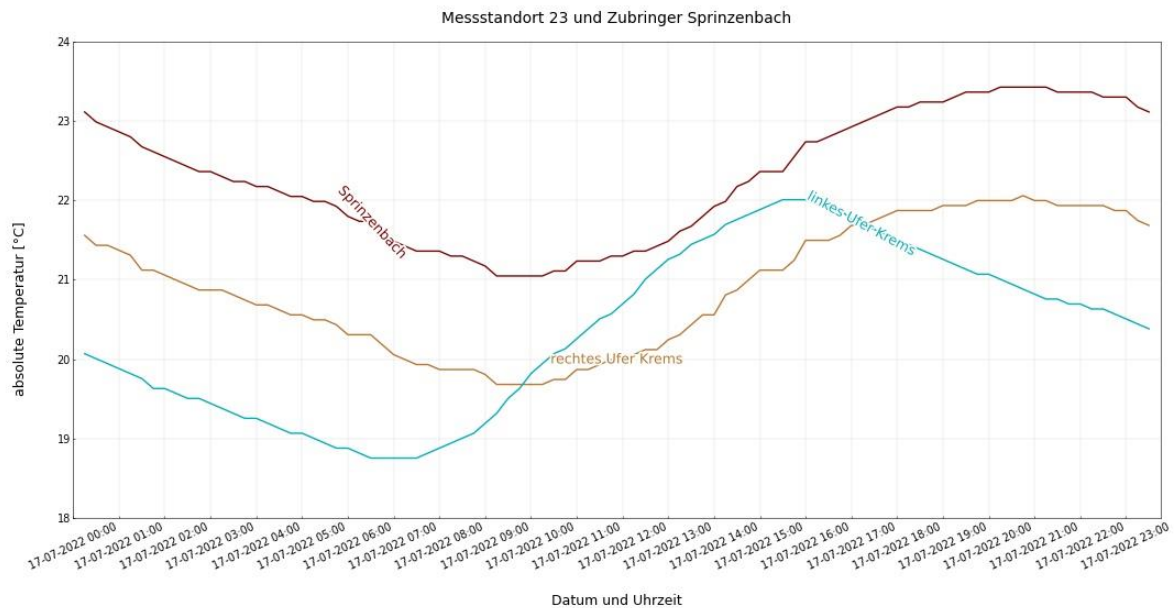


Abbildung 65: Tagesverlauf des Sprinzenbach sowie der Krems am linken und rechten Ufer unterhalb der Einmündung.

4.2.6.2 Große Temperaturänderungen zwischen Sensor 21 und 22

Aufgrund der relativ großen Temperaturerhöhung zwischen Sensor 21 und Sensor 22 wurden Handmessungen durchgeführt um den Einfluss des flussauf einmündenden Dambaches sowie der Einleitung durch die Kläranlage beurteilen zu können.

Handmessung am 18.07.2022 um 12:00 Uhr am Standort 21 ergaben links- und rechtsufrig eine Temperaturdifferenz von 0,1 °C. Da dies nur ein punktueller Messwert ist, wurde rechtsufrig ein weiterer Sensor positioniert, um eine Dauerhafte Aufzeichnung zu erhalten. Im Vergleich der links- und rechtsufrigen Wassertemperaturen zeigten sich doch deutliche Unterschiede, vor allem bei den auftretenden Spitzenwerten. Daher wurde an der Sensorposition 21 der neu positionierte rechte Sensor zur weiteren Auswertung herangezogen.

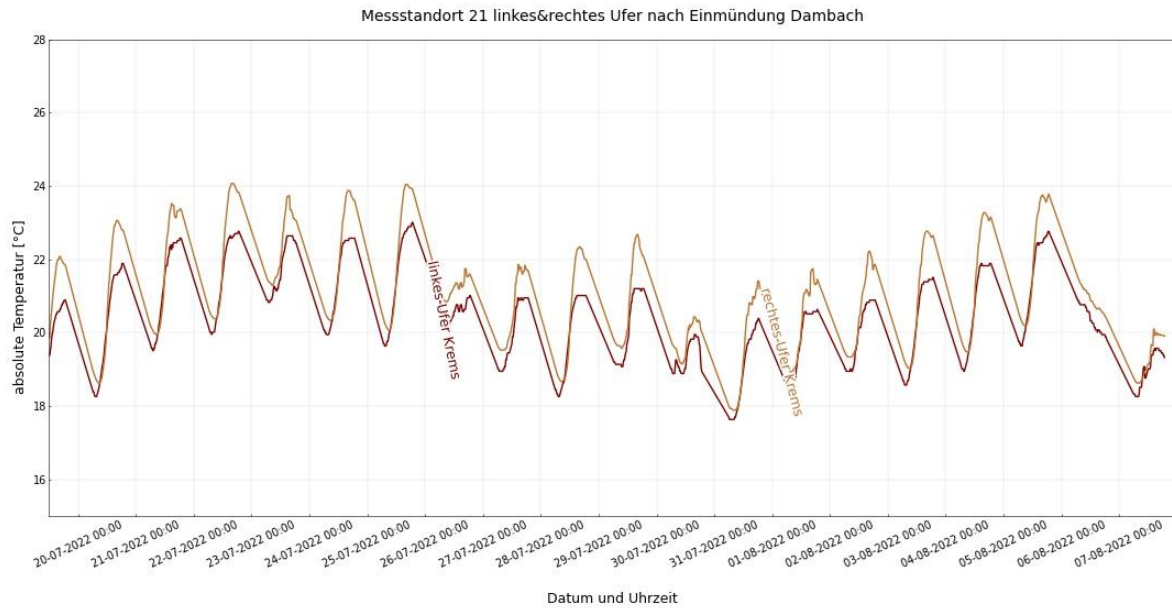


Abbildung 66: Temperaturunterschiede am linken und rechten Ufer der Krens unterhalb der Einmündung des Dambaches.

Der Dambach führt weiters auch zu einer generellen Abkühlung der Krens vor Beginn der Referenzstrecke 11, da die Wassertemperatur der Krens bei durchgeführten Einzelmessungen von 18,6 °C vor der Einmündung des Dambaches auf 18,0 °C nach der Einmündung abfiel. Der Dambach selbst weist am 18.07.2022 um 12:30 Uhr eine Wassertemperatur von 16,3 °C auf.



Abbildung 67: Dambach.



Abbildung 68: Linksufrige Einmündung des Dambach bei Flkm 15,35.

Weiters wurde die Temperatur der Einleitung durch das Klärwerk überprüft, um eine Temperaturänderung durch diese abschätzen zu können. Die erwarteten größeren Temperaturen der Einleitung konnten anhand von Handmessungen am 18.07.2022 um 12:42 Uhr nicht bestätigt werden. Die Ausleitung aus der Kläranlage weist eine niedrigere Temperatur als die Krems von 17,5 °C auf. Auch bei einer zweiten Kontrollmessung am 08.08.2022 um 17:00 Uhr wurde in der Ausleitung der Kläranlage eine Wassertemperatur von 18,4 °C gemessen. Somit kann die Einleitung aus der Kläranlage bei hohen Wassertemperaturen auch eine kühlende Wirkung haben. (Pedersen & Sand-Jensen 2007)



Abbildung 69: Einleitung durch Kläranlage bei Fließkilometer 14,7.



Abbildung 70: Ausleitungskanal Kläranlage bei Flkm 15,2.

Ebenso wurde der Mühlbach, welcher bei Flkm 17,4 aus der Krems ausgeleitet wird gemessen, um den hohen Temperaturabfall zwischen Flkm 18,3 und Flkm 15,1 zu überprüfen. Auch dieser weist bei einer Einzelmessung am 18.07.2022 um 12:50 Uhr eine Temperatur von 18,4 °C auf, obwohl dieser zwei weitere Zubringer (einen Namenlosen und das Jagerbachl) ausschließt. Somit sind die gemessenen Gewässertemperaturen und auch die Abkühlung in diesem Bereich plausibel und vermutlich vorrangig auf den Einfluss des Piberbaches und des Dambaches, sowie einer weiteren Abkühlung im beschatteten Gewässerabschnitt und den weiteren zwei Zubringern (Namenlos Flkm 16,9 & Jagerbachl Flkm 16,6) zurückzuführen.

4.2.6.3 Zubringer Piberbach

Einzelmessungen am Piberbach ergaben am 18.07.2022 um 13:10 Uhr eine Wassertemperatur von 16,1 °C. Die kontinuierliche Aufzeichnung durch die Temperaturlogger hat eine höhere Auflösung und misst 16,1365 °C. Einzelmessungen vor der Einmündung des Piberbaches um 13:18 Uhr ergab eine Wassertemperatur der Krems von 19,8 °C, welche im Vergleich zum Temperaturlogger am Standort 18 (13:15 Uhr – 19,8951 °C) plausibel erscheint. Nach Einmündung des Piberbach weist die Krems um 13:15 Uhr eine Wassertemperatur von 19,1 °C auf. Somit trägt der Piberbach durch seine wesentlich geringere Wassertemperatur zur Abkühlung der Krems bei.

4.2.6.4 Zubringer Sulzbach

Einzelmessungen am linken und rechten Ufer an der Position von Sensor 14, welcher flussab der Einmündung des Sulzbaches verankert ist, ergaben am 18.07.2022 zwischen 15:15 Uhr und 15:30 Uhr die gleiche Temperatur von 19,7 °C. Diese ist etwas unterhalb der gemessenen Temperatur des Temperaturloggers am Standort 14 von 19,8902 °C um 15:15 Uhr, aber ebenso plausibel. Daher kann von einer vollständigen Durchmischung und einer korrekten Temperaturmessung aufgrund der Sensorposition ausgegangen werden. Einzelmessungen im Sulzbach selbst und Oberhalb der Einmündung zur selben Uhrzeit ergaben im Sulzbach 19,5 °C und oberhalb 19,8 °C. Somit trägt auch dieser – wenn auch in geringerem Ausmaß – zu einer Abkühlung der Krems bei.

4.2.6.5 Große Temperaturerhöhungen im beschatteten Referenzabschnitt 1

Da im beschatteten Referenzabschnitt 1 im Oberlauf der Krems verhältnismäßig große Temperaturerhöhungen auftreten, wurde dieser an mehreren Stellen mit Einzelmessungen überprüft.

Tabelle 2: Einzelmessungen Temperaturänderungen in Referenzabschnitt 1.

Standort	Datum/Uhrzeit	Temperatur [°C]
Sensor 1 Flkm 44,10	18.07.2022 19:50	16,2
Flkm 43,95	18.07.2022 19:55	16,2
Flkm 43,65	18.07.2022 20:00	16,2
Flkm 43,55	18.07.2022 20:05	16,2
Flkm 43,45	18.07.2022 20:09	16,2
Flkm 43,35	18.07.2022 20:13	16,3
Sensor 2 Flkm 42,95	18.07.2022 19:19	16,6

Auffällig ist, dass auf den ersten 770 m keine Temperaturänderungen stattfinden und erst auf den letzten 660 m sich die Wassertemperatur um 0,4 °C erhöht. In diesem Bereich mündet ein verrohrter Zubringer in die Krems, bei welchem allerdings zum Messzeitpunkt keine Nennenswerte Wassermenge abgeführt wurde. Weiters konnte in diesem Bereich auch ein Sammelschacht einer weiteren Entwässerung lokalisiert werden. Bei Einzelmessungen am 08.08.2022 um 09:31 Uhr wurde allerdings bei der zweiten Einleitung eine Temperatur von 17,0 °C gemessen, welche trotz der geringen Abflussmenge eher zu einer Abkühlung führen müsste. Da die großen Temperaturänderungen in diesem Referenzabschnitt vorrangig in der zweiten Hälfte des Abschnittes stattfinden, wird von korrekten Temperatureaufzeichnungen am Sensor 2 sowie einem lokalen Einfluss in diesem Abschnitt, welcher von den Messungen nicht erfasst werden konnte, ausgegangen.



Abbildung 71: Einleitungen bei Flkm 43,35 im Referenzabschnitt 1.

Vergleicht man einen sonnigen Tag mit einem bewölkten Tag (Abbildung 72) ist ersichtlich, dass am sonnigen und am bewölkten Tag eine zunehmende Spreizung der Temperaturen gegen Nachmittag bzw. zum Zeitpunkt der Temperaturspitze auftritt. Am sonnigen Tag schneiden sich die Temperaturaufzeichnungen der beiden Sensoren zu den Zeitpunkten von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, was allerdings auf eine weitere Erwärmung beim Sensor 1 (Beginn der Messtrecke) in den Abendstunden zwischen 21:00 Uhr und 05:00 zurückzuführen ist. Auch an bewölkten Tagen findet eine kontinuierliche Erwärmung innerhalb der Referenzstrecke 1 statt, allerdings ohne die nächtliche Erwärmung an Sensor 1.

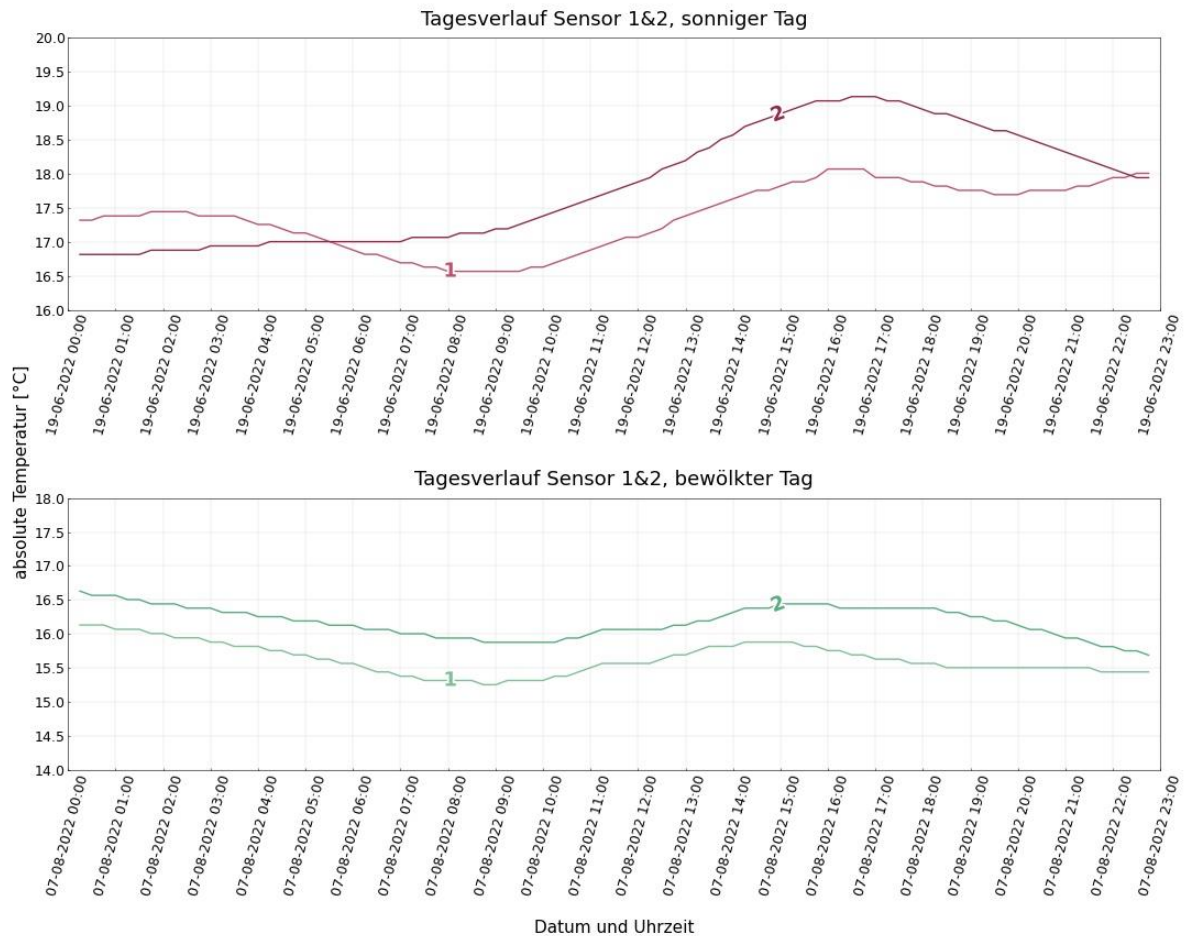


Abbildung 72: Tagesverlauf von Sensor 1 und Sensor 2 an einem sonnigen und an einem bewölkten Tag.

In Abbildung 73 werden mehrere sonnige Tage in Folge gezeigt, welche alle den gleichen Temperaturverlauf aufweisen, sowie in der zweiten Abbildung ein sonniger Tag mit ebenso gleichen Temperaturverlauf, gefolgt von bewölkten Tagen mit konstanten Temperaturunterschieden zwischen den beiden Sensoren. Die gemessene Erwärmung der Gewässertemperatur in den Nachtstunden tritt nur an Sensor 1 auf, weshalb von lokalen Einflüssen an Sensor 1, welche mit den Messungen nicht erfasst werden konnten ausgegangen wird.

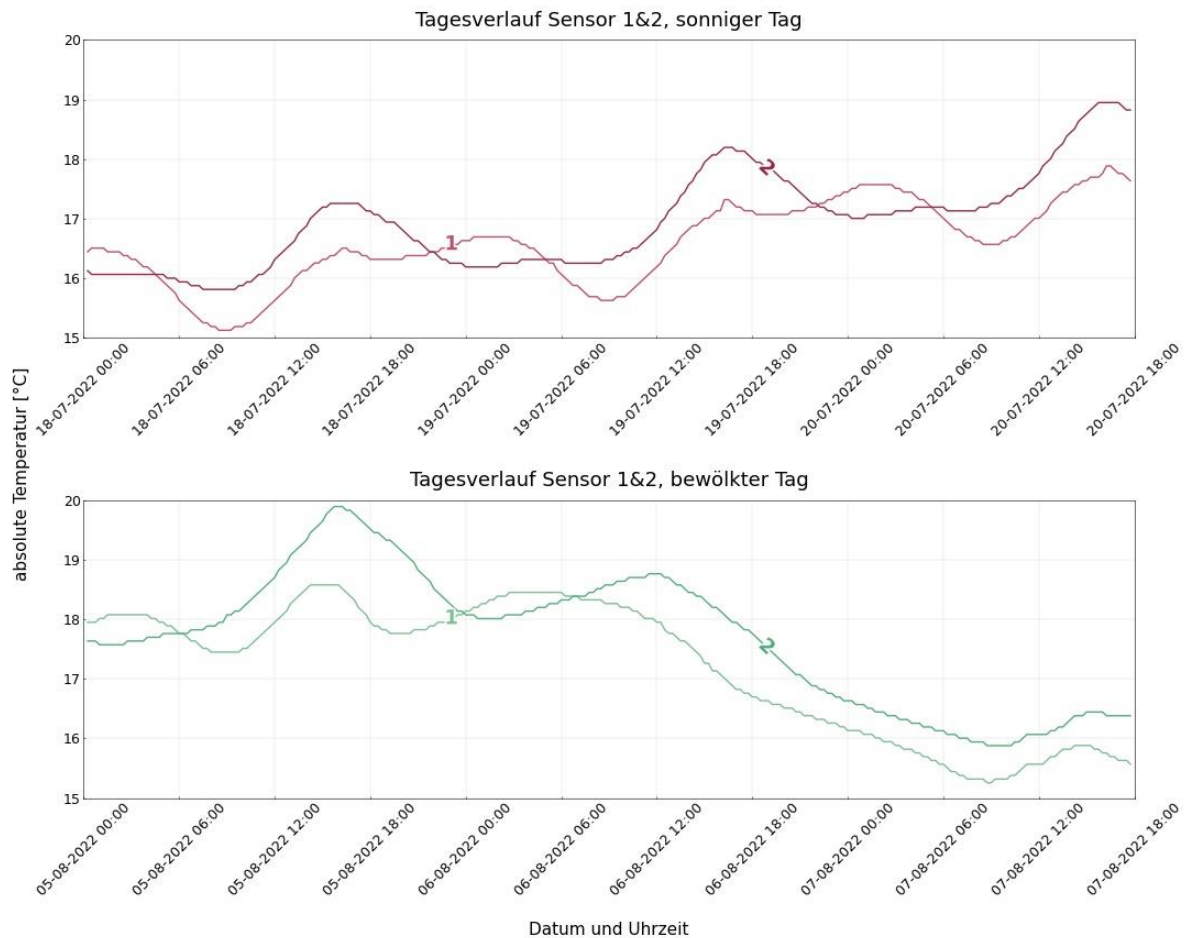


Abbildung 73: Tagesverlauf Sensor 1 und Sensor 2 an mehreren aufeinanderfolgenden sonnigen Tagen (oben) und einem sonnigen mit darauffolgenden bewölkten Tagen (unten).

4.2.6.6 Zubringer bei Referenzstrecke 2

Einzelmessungen an den Sensorstandorten 3 und 4 ergaben auch abends am 18.06.2022 noch bedeutende Temperaturunterschiede. So wurde um 20:34 Uhr bei Sensor 3 18,9 °C und um 20:50 Uhr bei Sensor 4 19,2 °C Wassertemperatur gemessen. Am Zubringer Ofenschüsselbach (Flkm 40,1) wurde eine Wassertemperatur von 17,0 °C gemessen. Auch wenn dieser, wie in Abbildung 74 ersichtlich, eine relativ geringe Wassermenge abführt, trägt dieser mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Dämpfung der Erwärmung in diesem Referenzabschnitt bei, da vor und nach Einmündung des Zubringers bei Flkm 40,8 ein Temperaturunterschied von ca. 0,1 °C gemessen werden konnte.



Abbildung 74: Zubringer Ofenschüsselbach (Flkm 40,1) in Referenzstrecke 2.

4.2.7 Änderung der Wassertemperaturen im Gewässerverlauf

In Abbildung 75 wird deutlich, dass vor allem im Oberlauf zwischen Flkm 44 und Flkm 39 zu einer deutlichen Temperaturerhöhung auch an bewölkten Tagen kommt. In diesem Bereich befindet sich eine Stau- und Restwasserstrecke gefolgt von sehr geringer Beschattung in Kombination mit vielen kleinen Zubringern. Des Weiteren kommt es bereits im ersten beschatteten Referenzabschnitt zu konstanten Erwärmungen, welche mit den Messungen nicht erfasst werden konnten. Im weiteren Gewässerverlauf steigen die Temperaturen wesentlich langsamer an und das Gewässer wird regelmäßig durch Zubringer wieder abgekühlt. Ein deutlicherer Anstieg ist wieder ab Flkm 34 zu erkennen, mit nachfolgender Stau- und Restwasserstrecke und wasserwirtschaftlicher Nutzung. Weiters steigen die Gewässertemperaturen stärker zwischen Flkm 23,5 und Flkm 19 an. Dieser Gewässerabschnitt ist durch eine geringe Beschattung gekennzeichnet. Die darauffolgende Abkühlung, ist auf mehrere Zubringer zurückzuführen. Im Unterlauf ab Flkm 15 kommt es wieder zu einer starken Erwärmung. Auch dieser Bereich zeichnet sich durch aufeinanderfolgenden Stau, und Restwasserstrecken mit wasserwirtschaftlicher Nutzung und geringer Beschattung aus.

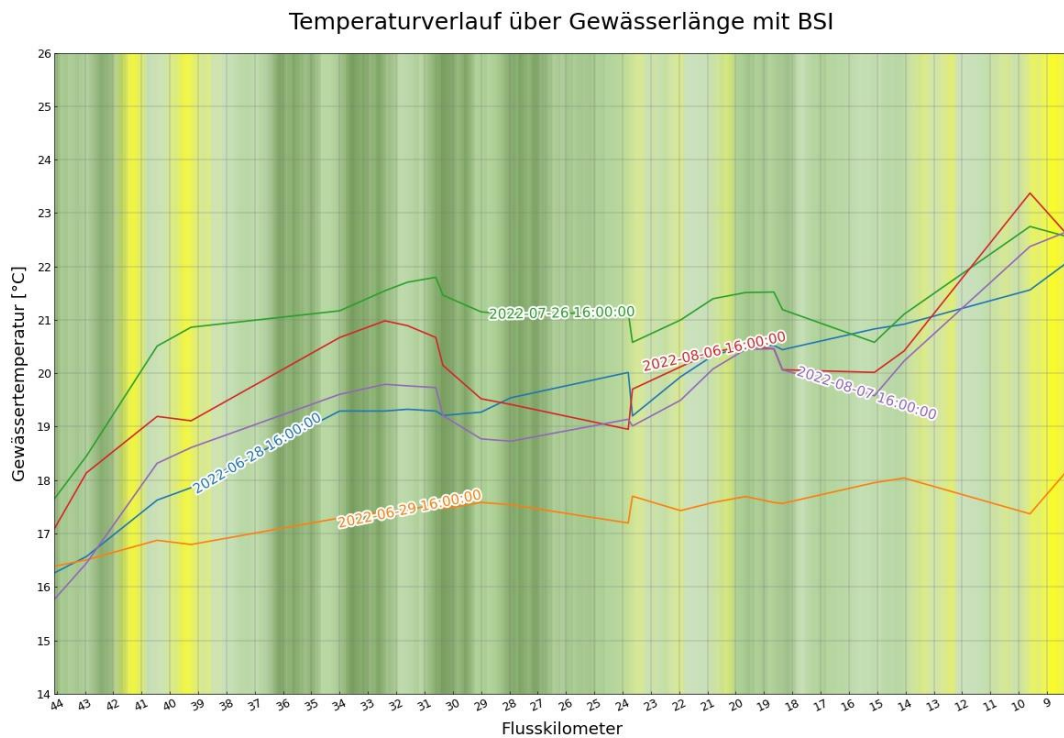


Abbildung 75: Temperaturverlauf über den gesamten Messabschnitt aller bewölkten Tage ohne Niederschlag, hinterlegt mit dem Beschattungsindex.

Abbildung 76 zeigt die Gewässertemperaturen über den gesamten Messabschnitt an allen sonnigen Tagen mit Lufttemperaturen größer 28°C aus. Auffällig sind die wesentlich stärkeren Temperaturanstiege in den oben erwähnten Abschnitten mit Wasserwirtschaftlichen Nutzungen bzw. Stau- und Restwasserstrecken sowie geringer Beschattung. Weiters ist im Vergleich zu Abbildung 75 ein wesentlich deutlicherer Temperaturanstieg in den gering beschatteten Gewässerabschnitten zu erkennen. Dies führt bereits ab Flkm 39 zu Wassertemperaturen von über 23°C gegen Ende Juli. Trotz regelmäßiger Abkühlungen kommt es in Gebieten mit ausgeprägter wasserwirtschaftlicher Nutzung, großer Siedlungsdichte und geringem Uferbewuchs zu hohen Temperaturspitzen von über 24 °C zwischen Flkm 30 und 32 (Kremsmünster), bis zu 25 °C zwischen Flkm 18,5 und 19,5 (Kematen an der Krems) und bis zu 26 °C ab Flkm 9,5 (Kremsdorf). Auch die stetige Erwärmung im Laufe der Sommermonate, sowie die Bedeutung mehrerer aufeinanderfolgender heißer Tage, welche die extremen Temperaturspitzen verursachen, wird deutlich.

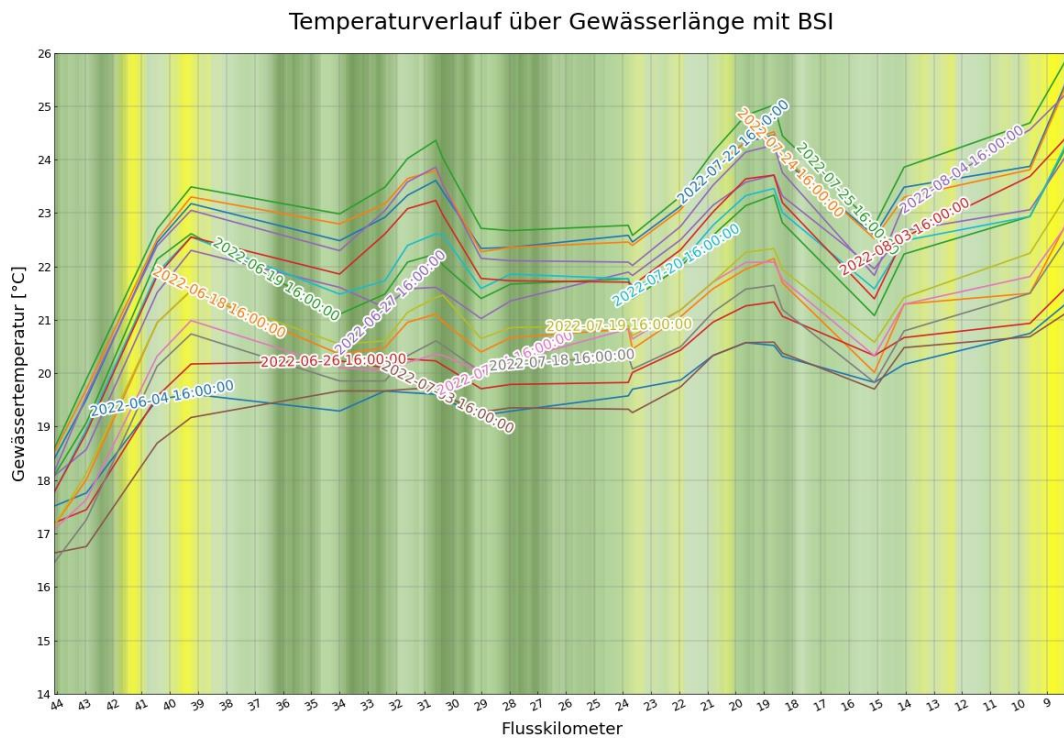


Abbildung 76: Temperaturverlauf über den gesamten Messabschnitt aller sonnigen Tage mit Lufttemperaturen größer 28°C, hinterlegt mit dem Beschattungsindex.

In Abbildung 77 werden nochmals die maximalen, minimalen und mittleren Temperaturen gemittelt über den gesamten Messzeitraum sonniger Tage und bewölkter Tage gegenübergestellt. Es sind jeweils Tage im Juni, Juli und August in die Auswertung eingeflossen und dennoch sind die minimalen Gewässertemperaturen an sonnigen Tagen geringer, wie an bewölkten Tagen. Hierbei ist der Einfluss der langwelligen Strahlung auf die Gewässertemperatur zu erkennen, welcher in bedeckten Nächten aufgrund der Rückstrahlung bedeutender als in klaren Nächten ist. Die mittleren und maximalen Gewässertemperaturen sind an sonnigen Tagen deutlich höher. Auch die größere Spannweite an sonnigen Tagen ist deutlich zu erkennen.

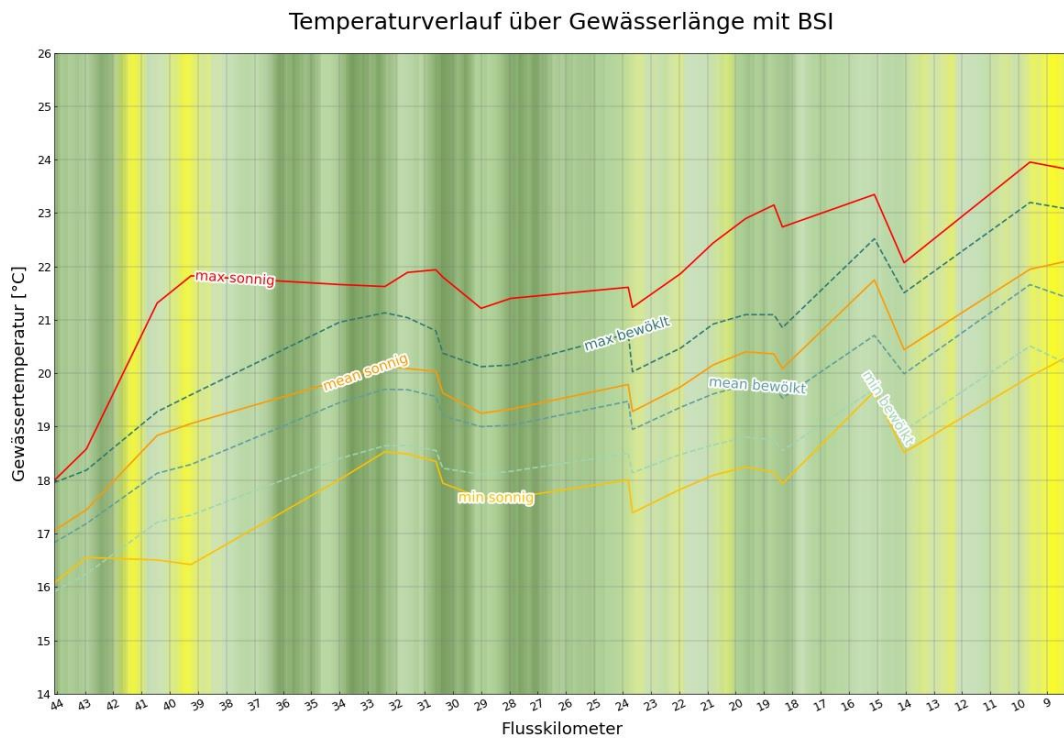


Abbildung 77: Maximale, minimale und mittlere Temperatur über den gesamten Messabschnitt gemittelt aller sonnigen Tage über 28°C und aller bewölkten Tage, hinterlegt mit dem Beschattungsindex.

In Abbildung 78 ist der Temperaturverlauf an einem bewölkten Tag (grün) und einem sonnigen Tag (orange) in Bezug zur Einzugsgebietsvergrößerung (blau) und den Zubringer (grau) sowie den Stau- (gelb) bzw. Restwasserstrecken (rot) dargestellt. Zur Übersicht wird in Abbildung 79 nochmals der Beschattungsindex in diesem Bereich (Messbereich) dargestellt. Auffällig ist die hohe Dynamik in beeinflussten Bereichen (viele Zubringer, wasserwirtschaftliche Nutzungen) in Kombination mit geringer Beschattung.

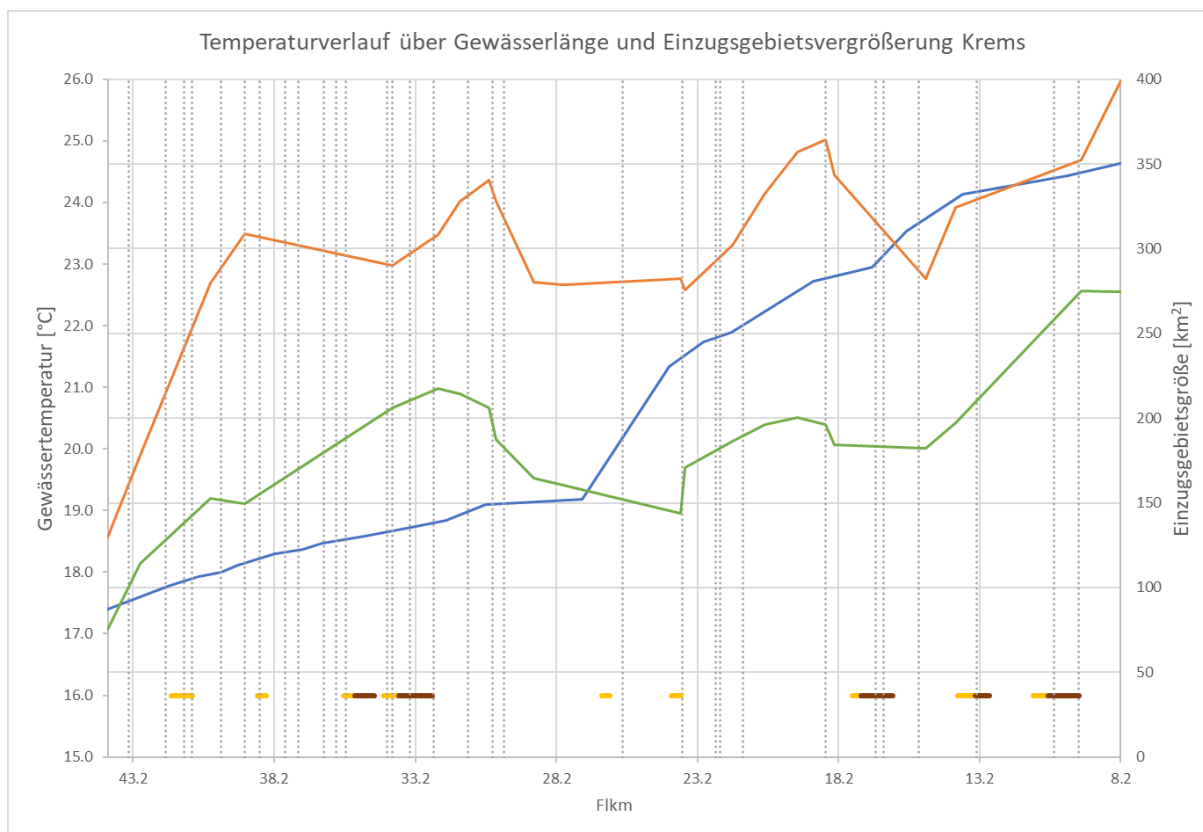


Abbildung 78: Temperaturverlauf an einem sonnigen Tag (orange) und einem bewölkten Tag (grün) mit Änderung der Einzugsgebietsgröße (blau), Zubringern (grau) und Stau- (gelb) bzw. Restwasserstrecken (rot).

Beschattungsindex im Messabschnitt - Krems

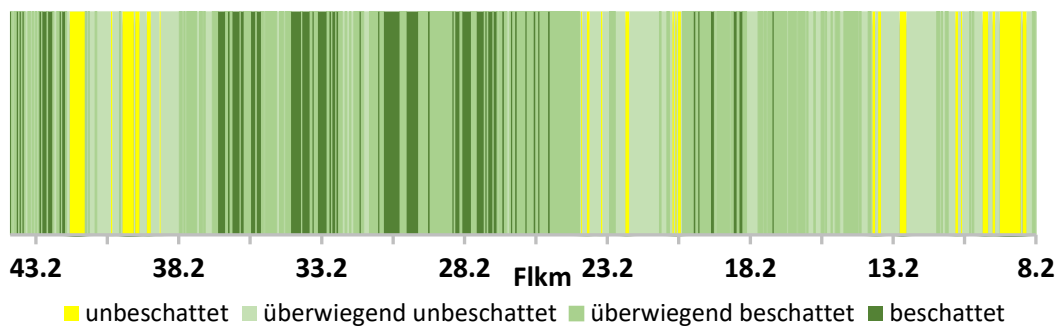


Abbildung 79: Beschattungsindex Krems im Messabschnitt.

Tabelle 3: Liste der Zubringer im Messabschnitt.

Zubringer	Flkm	Zubringer	Flkm
Sprinzenbach	9,70	Schäffelbach	33,40
Gemsenbach	10,55	Kriftgraben	34,00
Vallabach	13,30	Tiefenbach	34,20
Dambach	15,35	Mosergraben	35,65
Jagerbachl	16,60	Waglhüberbach	36,00
k.A.	16,90	Exenberggraben	36,45
Piberbach	18,65	Greimelbach	37,35
k.A.	21,60	Panholzergraben	37,8
Gruberbach	22,40	Bogenmüllerbach/Trogederbach	38,7

Reiflbach	22,55	Hamelbach	39,25
Sulzbach	23,75	Höllgraben/Moserbach/Ofenschüsselbach	40,1
k.A.	25,85	Steinwendtnergraben/Nußbach	41,1
Kremsegger Bach	26,70	Holzingerbach	41,4
Wohlmutgraben	30,05	k.A.	42,05
k.A.	30,45	k.A.	43,35
Schönauerbach	31,35	Damgrabenbach	44,2
Schedlbergbach	32,55		

Tabelle 4: Liste der Stau- und Restwasserstrecken im Messabschnitt.

Staustrrecken von Flkm bis Flkm		Restwasserstrecken von Flkm bis Flkm	
Scharmühle Huber		WKA Lell GFL Buntpapierfabrik	
6,63	6,93	0	4,42506549
WKA Nettingsdorfer Papierfabrik AG		WKA Marktmühle Strobl	
10,76	11,3	0	0,95
Rampe bei Sulzbachmündung		WKA Nettingsdorfer Papierfabrik AG	
23,79	24,13	9,69	10,76
WKA Schafferlmühle- Greiner		WKA Ecker Hofmühle	
33,75	34,31	12,86	13,36
WKA Wischenbart Madlmühle		WKA Schallauer Niedermühle	
35,34	35,73	16,26	17,40
WKA Obermühle WG Neuhofen Piberbach		WKA Schafferlmühle- Greiner	
17,3974865	17,72	32,59	33,80
Buglmühle Strasser		WKA Wischenbart Madlmühle	
38,49	38,8	34,65	35,34
Hofmühle Leitner		WKA Karlmayrmühle Eder	
26,29	26,6	41,08	41,56
WKA Plankenmühle		WKA Plankenmühle; Obermayr	
45,55	45,75	45,24	45,54
WKA Karlmayrmühle		WKA Kastenmühle Mitheis	
41,58	41,85	46,69	47,32
Hofühle Ecker		Felbermayr Fischermühle	
13,36	13,96	47,60	47,79
WKA Lell GFL Buntpapierfabrik		Gewässeraufteilung Nebenarm	
4,42	4,722	50,45	50,72

4.2.8 Temperaturdifferenzen in Referenzabschnitten

In Abbildung 80 und Abbildung 81 werden die absoluten Temperaturdifferenzen an bewölkten und an sonnigen Tagen gegenübergestellt. In beiden Abbildungen zeigt sich die Erwärmung im ersten Abschnitt, welche allerdings unabhängig der Beschattung durch äußere Einflüsse verursacht wird. Der Unterschied der Temperaturdifferenzen zwischen einer überwiegend unbeschatteten Strecke (K2) und einer überwiegend beschatteten Strecke (K3, K7) scheint marginal. Allerdings ist die überwiegend beschattete Strecke K3 wiederum durch Ein- bzw. Ausleitungen beeinflusst und auch die Referenzstrecke K7 durch Einflüsse aus Rodungen des Ufergehölzes weniger beschattet als zum Zeitpunkt der Berechnungen des Beschattungsindex. Die beschatteten Referenzstrecken K4 und K6

erfahren, vor allem an sonnigen Tagen, eine weniger starke Erwärmung pro Kilometer bzw. im Mittel sogar eine Abkühlung. In der überwiegend unbeschatteten Referenzstrecke K5, durch das Stadtgebiet von Kremsmünster, kommt es an bewölkten Tagen im Mittel zu einer Abkühlung und an sonnigen Tagen zu einer Erwärmung. Die Abkühlung ist vermutlich auf den Einfluss des Schönauerbaches, welcher innerhalb der Referenzstrecke bei Flkm 31,35 in die Krems einmündet, zurückzuführen.

Beide Zubringer, Piberbach (Z1) und Sulzbach(Z2), führen zu einer Abkühlung der Krems.

Im Unterlauf sind die Referenzstrecken K11 und K12 ebenso stark beeinflusste Abschnitte. Der Abschnitt K11 befindet sich kurz vor einer Staustrecke, sowie der Abfluss einer Kläranlage mündet ein und der darüberliegende Zufluss des Dambaches führt zu einer Abkühlung vor Beginn der Referenzstrecke. K12 ist durch den vor dem Referenzabschnitt einmündenden sehr warmen Sprinzenbach beeinflusst. Dies zeigt sich in der großen Streuung der Temperaturdifferenzen.

Die Referenzabschnitte K8 bis K10 sind weitgehend unbeeinflusst. In diesen Abschnitten wird deutlich, dass die Erwärmung pro Kilometer mit zunehmender Beschattung deutlich abnimmt.

Weiters zeigen die Grafiken, dass sich stärker beschattete Abschnitte auch an bewölkten Tagen weniger stark erwärmen und somit die Ufervegetation in Bezug auf die langwellige Wärmestrahlung einen dämpfenden Effekt hat. An sonnigen Tagen ist die Erwärmung, im Gegensatz zu bewölkten Tagen, in etwa doppelt so stark. Dies deckt sich auch mit der Literatur in welcher der Einfluss der langwelligen Strahlung und kurzwelligen Strahlung als maßgebliche Faktoren für Temperaturveränderungen in Gewässern beschrieben werden. (WEBB & ZHANG (1997), CAISSIE (2006), BROWN (1969)). Weiters fällt die deutlich geringere Streuung an bewölkten Tagen auf, welche auf die geringeren Tagesamplituden an bewölkten Tagen zurückzuführen ist.

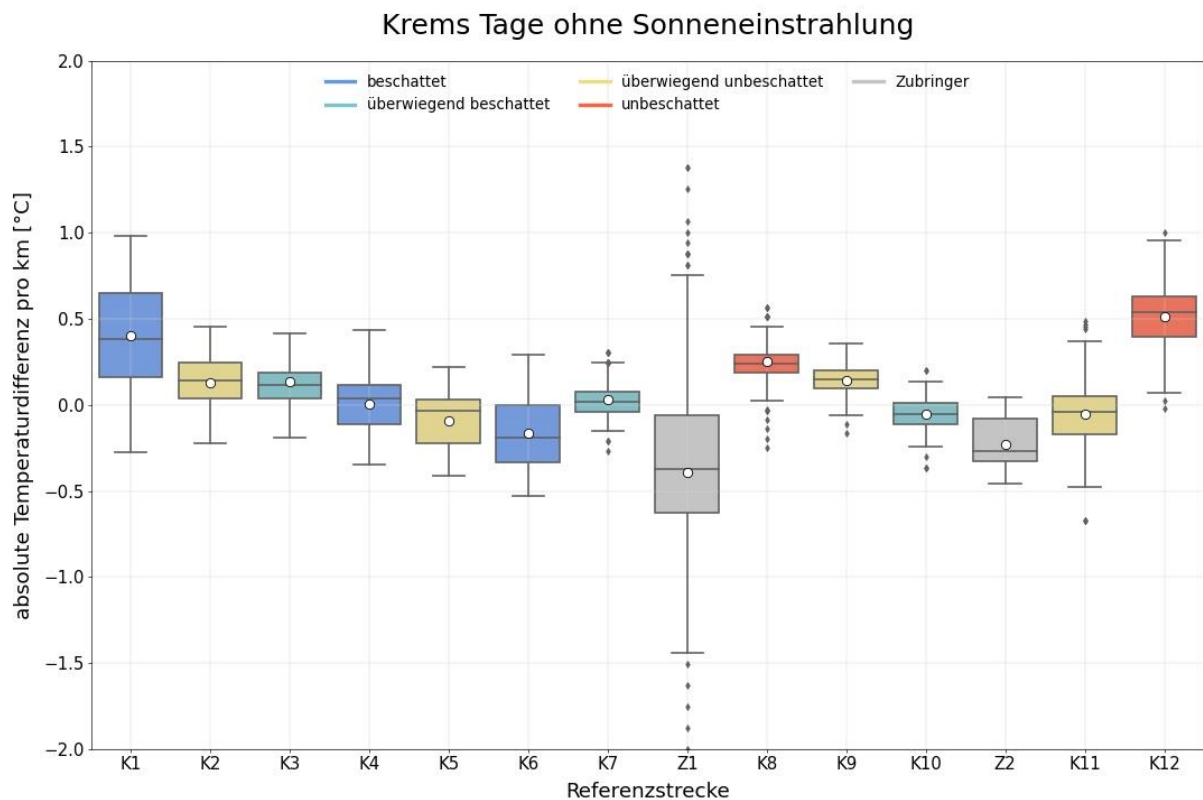


Abbildung 80: Absolute Temperaturdifferenzen pro km in den jeweiligen Referenzstrecken an bewölkten Tagen. (Box – 25 % bzw. 75 % Quantil (Whiskers mal 1,5), Strich schwarz – Median, Punkt weiß – Mittelwert)

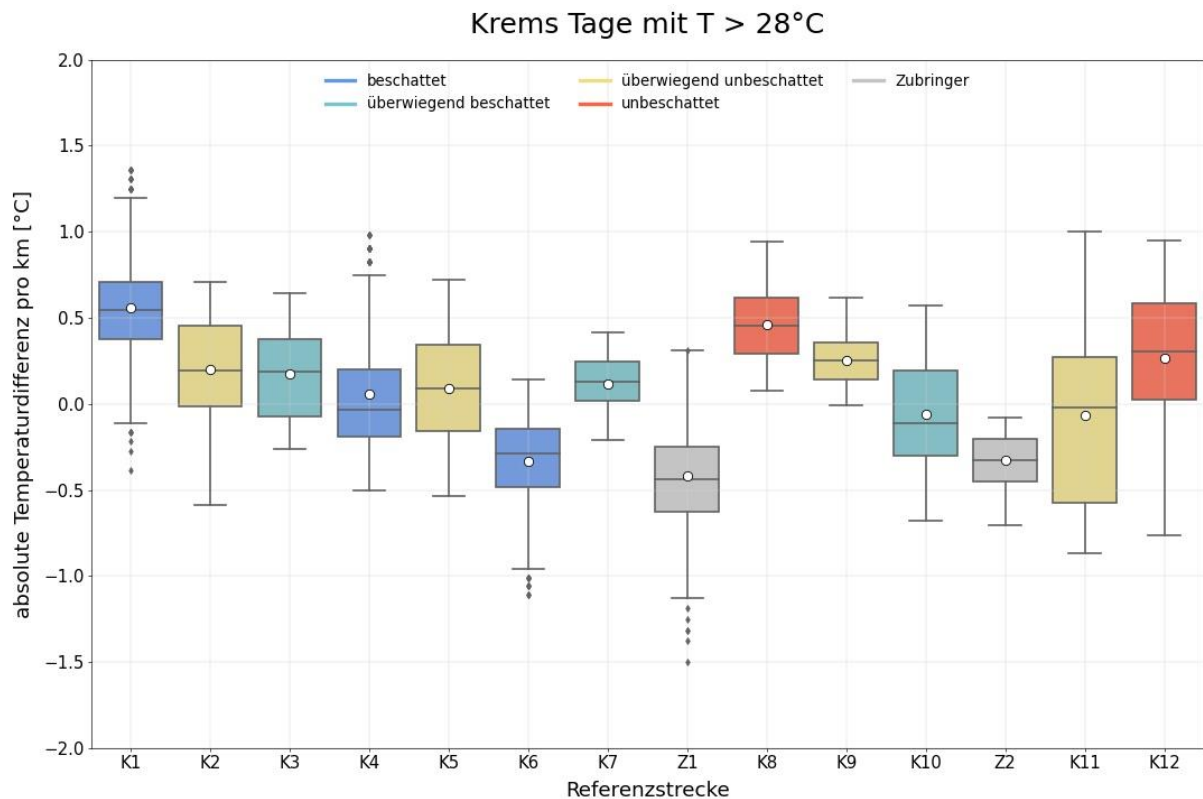


Abbildung 81: Absolute Temperaturdifferenzen pro km in den jeweiligen Referenzstrecken an sonnigen Tagen.

Werden alle Referenzstrecken in ihre jeweiligen Gruppen (beschattet, überwiegend beschattet, überwiegend unbeschattet und unbeschattet) zusammengefasst, werden die Differenzen in den Erwärmungsraten pro Kilometer ersichtlich (siehe Abbildung 82 und Abbildung 83). Da die hohen Erwärmungen im Referenzabschnitt 1 nicht zuordenbar sind, wurde dieser in den folgenden Abbildungen ausgenommen. An bewölkten Tagen sind Abkühlungen im Mittel von $-0,08^{\circ}\text{C}/\text{km}$ in den beschatteten Referenzstrecken und Erwärmungen von im Mittel $+0,34^{\circ}\text{C}/\text{km}$ in den unbeschatteten Referenzabschnitten zu verzeichnen. Überwiegend beschattete ($+0,035^{\circ}\text{C}/\text{km}$) und überwiegend unbeschattete ($+0,042^{\circ}\text{C}/\text{km}$) Referenzstrecken unterscheiden sich an bewölkten Tagen nur wenig. An sonnigen Tagen hingegen unterscheiden sich auch die zwei mittleren Klassen mit Erwärmungen von im Mittel $0,076^{\circ}\text{C}/\text{km}$ in überwiegend beschatteten Referenzabschnitten zu $0,150^{\circ}\text{C}/\text{km}$ in überwiegend unbeschatteten Referenzabschnitten. Auch die Differenz der beschatteten zu den unbeschatteten Referenzabschnitten wird deutlicher. So weisen beschattete Referenzabschnitte im Mittel eine Abkühlung von $-0,14^{\circ}\text{C}/\text{km}$ auf und unbeschattete eine Erwärmung von $+0,38^{\circ}\text{C}/\text{km}$.

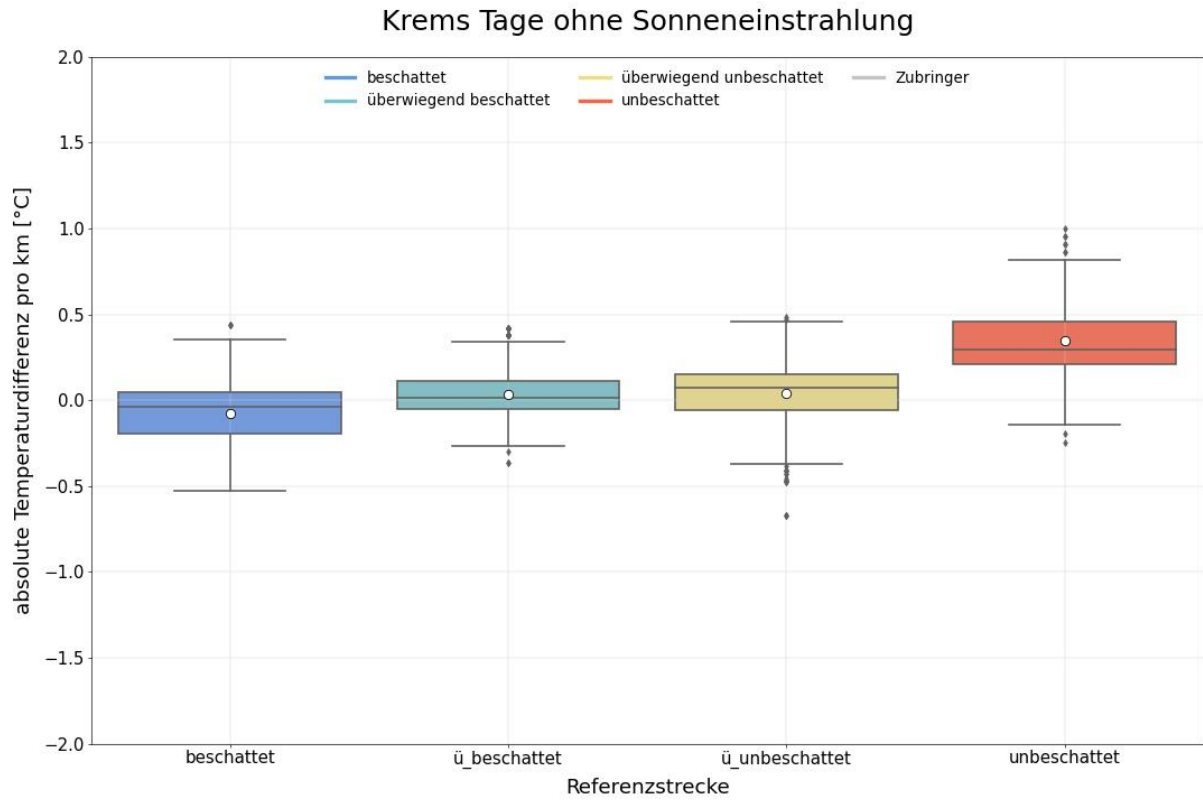


Abbildung 82: Absolute Temperaturdifferenzen pro km zusammengefasst in die Gruppen der Beschattungsintensität an bewölkten Tagen.

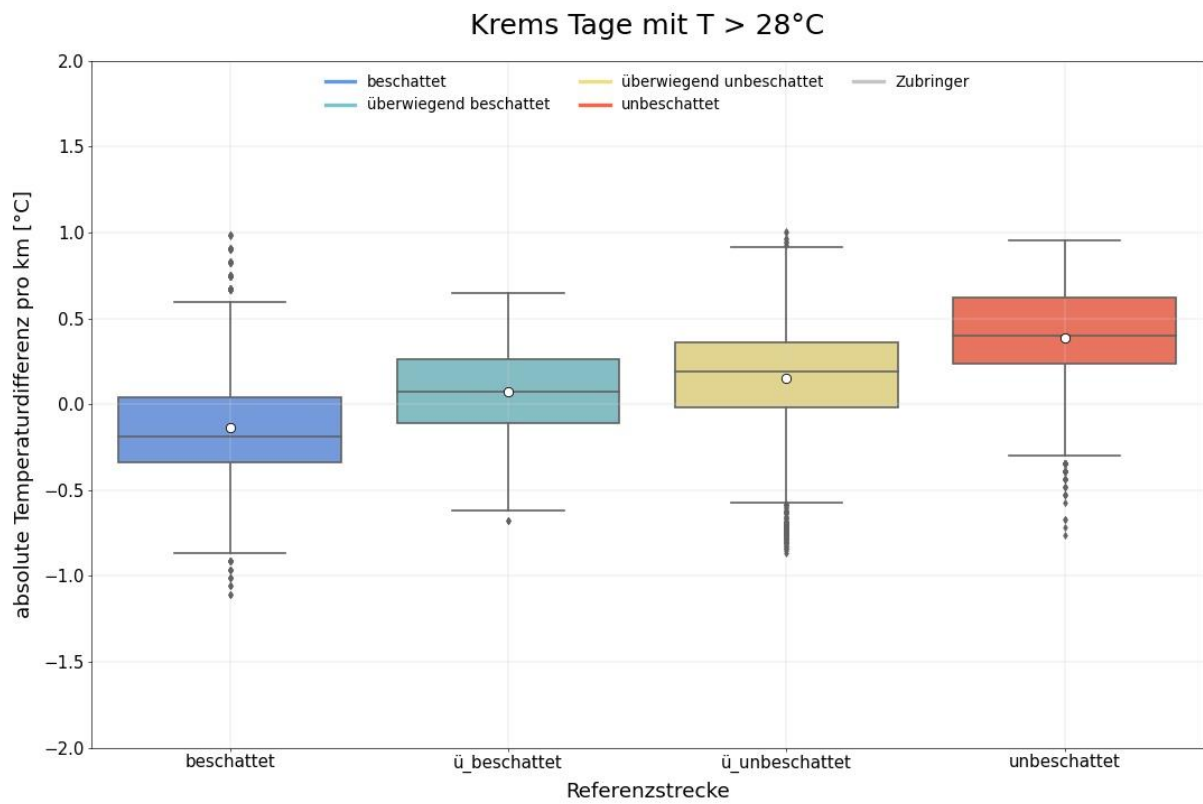


Abbildung 83: Absolute Temperaturdifferenzen pro km zusammengefasst in die Gruppen der Beschattungsintensität an sonnigen Tagen.

4.2.9 Tagesgänge

4.2.9.1 Referenzstrecken

In den folgenden drei Abbildungen werden die Tagesgänge der Temperaturdifferenzen in den einzelnen Referenzabschnitten, wiederum an einem bewölkten und einem sonnigen Tag, dargestellt.

In Abbildung 84 ist am bewölkten Tag nur im ersten Referenzabschnitt ein deutlicher Tagesgang erkennbar. An einem sonnigen Tag sind in dem überwiegend unbeschatteten Abschnitt K2 und dem überwiegend beschatteten Abschnitt K3 deutliche Tagesgänge erkennbar. Dennoch scheinen auch die beschatteten Abschnitte eine Erwärmung zu erfahren, welche auf die langwellige Strahlung zurückzuführen ist. Der Abschnitt K1 erst ab 14:00 Uhr und der Abschnitt K4 ab 12:00 Uhr mit einer Spitze um 14:00 Uhr. Auffällig im beschatteten Abschnitt K4 ist die starke Erwärmung zwischen 13:00 Uhr und 15:00 Uhr mit einer Amplitude um 14:00 Uhr welche allerdings rasch wieder abfällt.

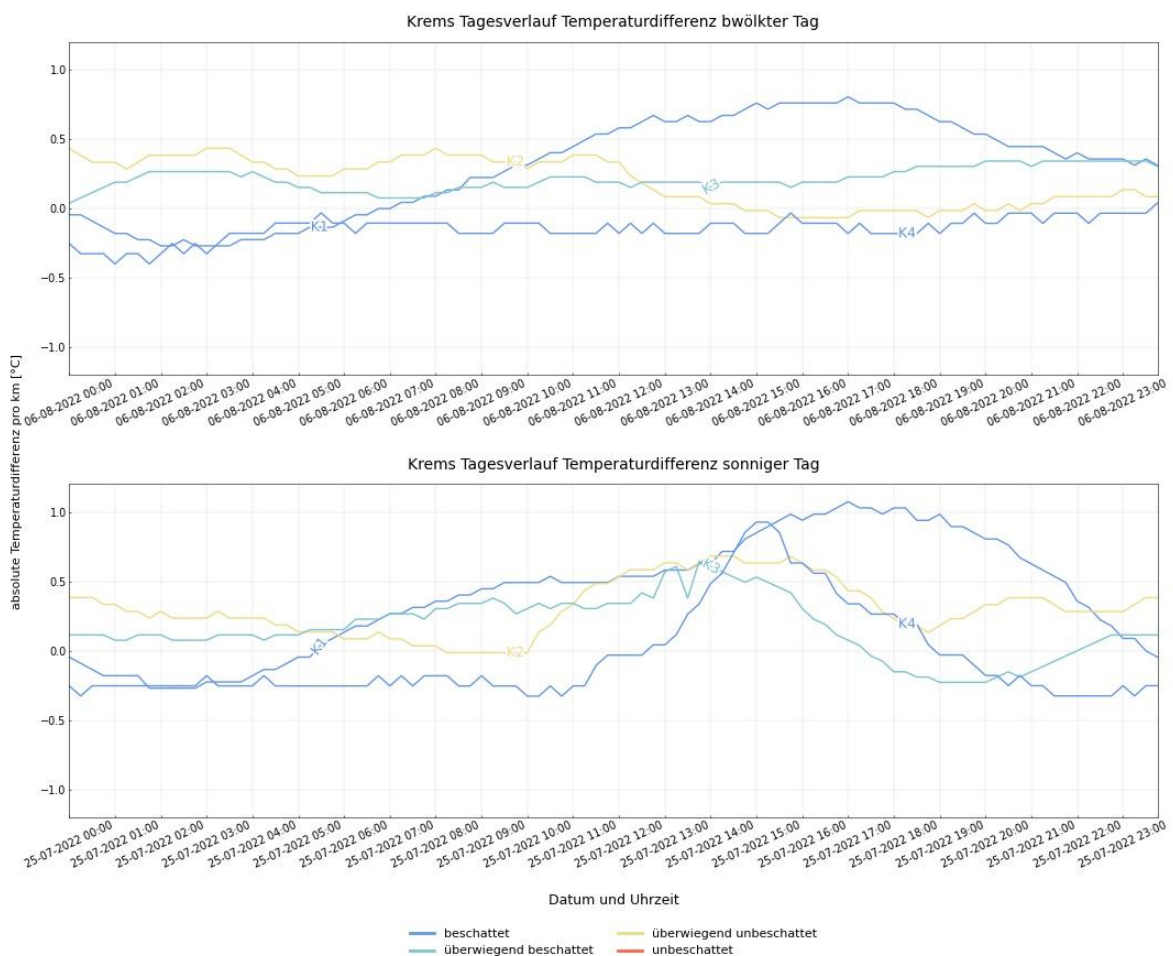


Abbildung 84: Tagesgänge der Temperaturdifferenzen in den Referenzabschnitten K1-K4 an einem bewölkten Tag (oben) und einem sonnigen Tag (unten).

In Abbildung 85 sind die Referenzabschnitte K5 bis K8 dargestellt. Auch hier sind über den Tag konstante Temperaturverläufe an bewölkten Tagen zu sehen. An sonnigen Tagen weisen diese Abschnitte abhängig von der Beschattung deutliche Tagesgänge auf. Im Referenzabschnitt K6 kommt es sogar zu einer deutlichen Abkühlung.

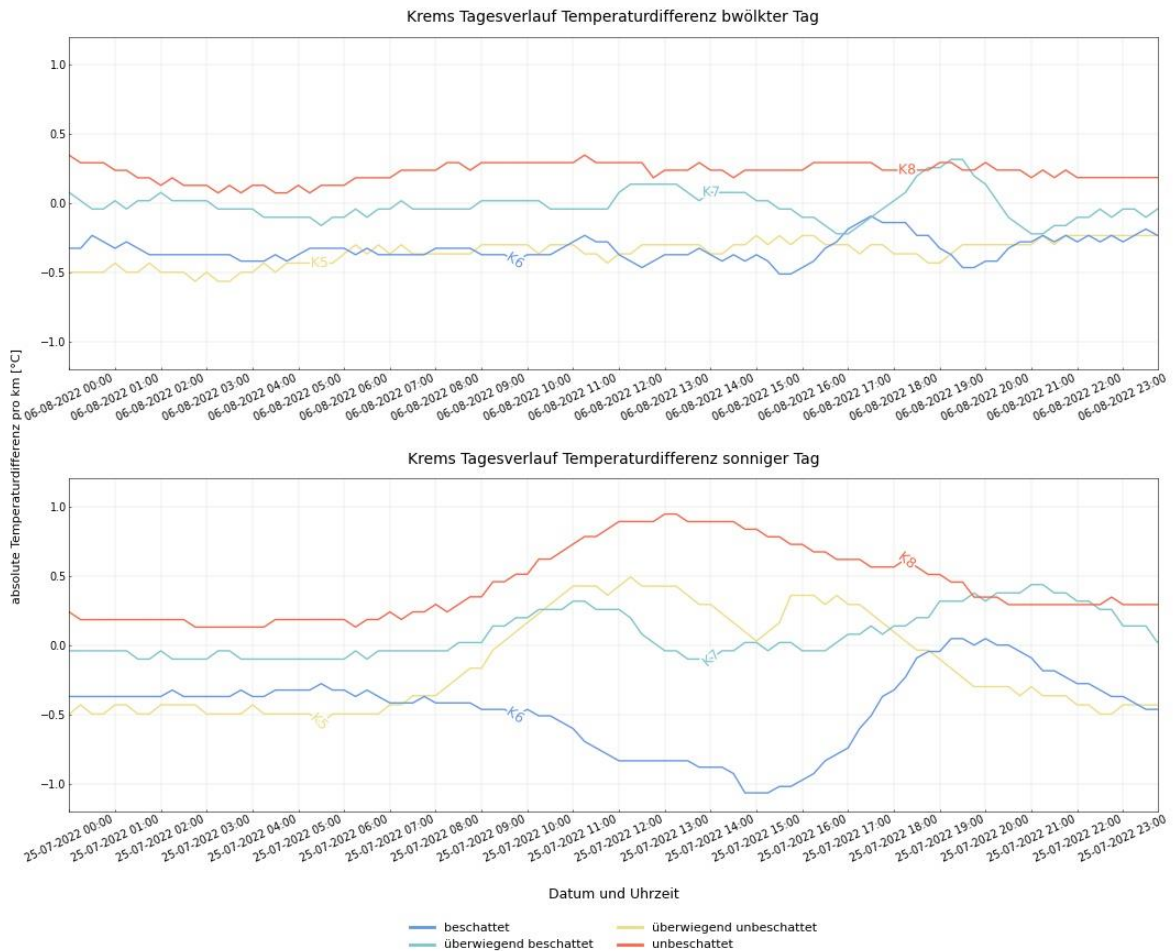


Abbildung 85: Tagesgänge der Temperaturdifferenzen in den Referenzabschnitten K5-K8 an einem bewölkten Tag (oben) und einem sonnigen Tag (unten).

In Abbildung 86 sind die Tagesverläufe der Referenzstrecken K9 bis K11 dargestellt. Hier sind ebenso konstante Temperaturverläufe am bewölkten Tag erkennbar und deutliche Tagesgänge am sonnigen Tag. In den einzelnen Abschnitten ist ersichtlich, dass bei den Kategorien überwiegend beschattet und überwiegend unbeschattet die Amplituden zu unterschiedlichen Uhrzeiten auftreten. So ist der Abschnitt K11 am Vormittag größerer Strahlung ausgesetzt und die Abschnitte K9 und K10 am Nachmittag.

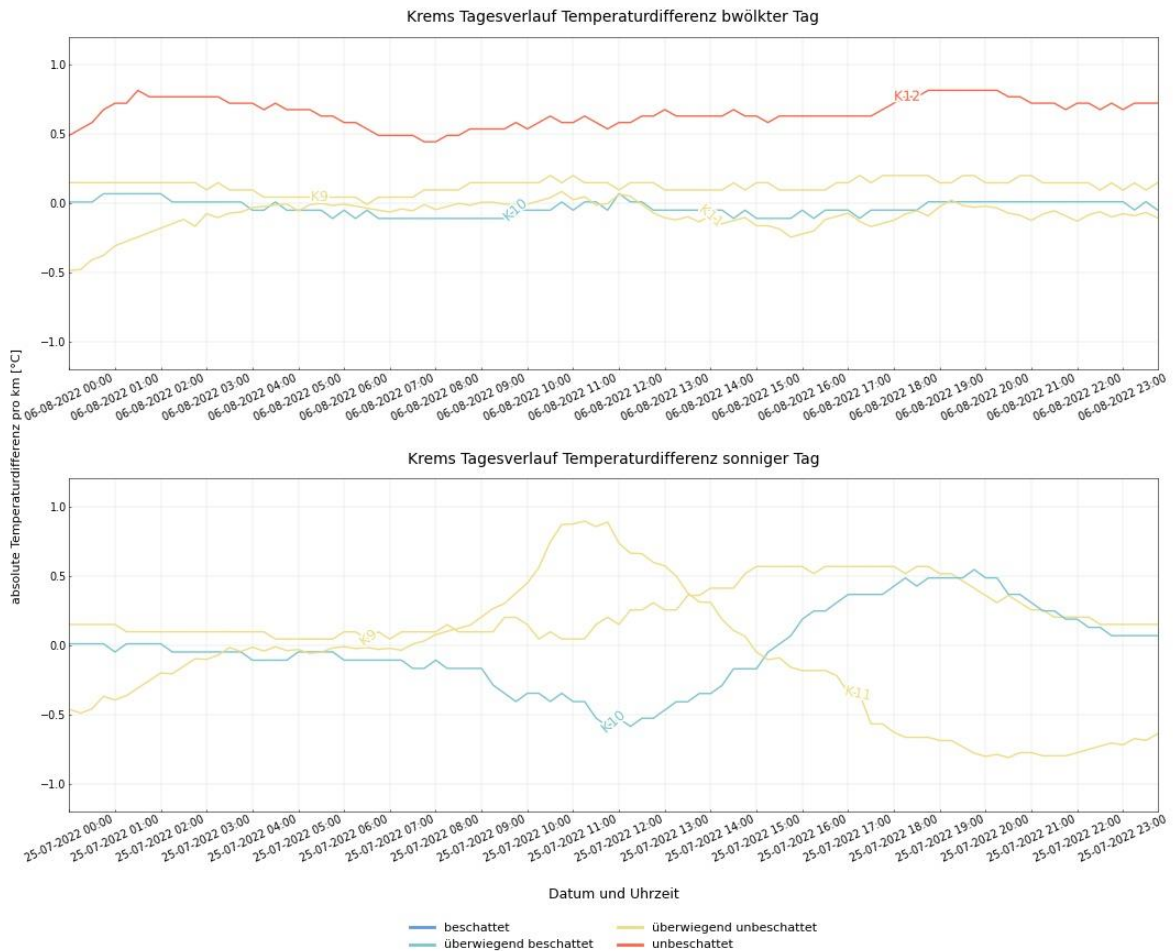


Abbildung 86: Tagesgänge der Temperaturdifferenzen in den Referenzabschnitten K9-K12 an einem bewölkten Tag (oben) und einem sonnigen Tag (unten).

In Abbildung 87 ist an den Taggängen einer beschatteten und einer unbeschatteten Referenzstrecke deutlich zu erkennen, dass sich beschattete Referenzstrecken weniger schnell erwärmen und auch geringere Tagesspitzen aufweisen. In Bezug auf Unterschiede im Oberlauf und Unterlauf, erkennt man an zwei gleich beschatteten Sensorstandorten, dass der Taggang des Sensors im Oberlauf eine deutlich höhere Amplitude aufweist. Dies ist vermutlich auf die unterschiedlichen Abflussverhältnisse mit weit größeren Abflüssen im Unterlauf zurückzuführen.

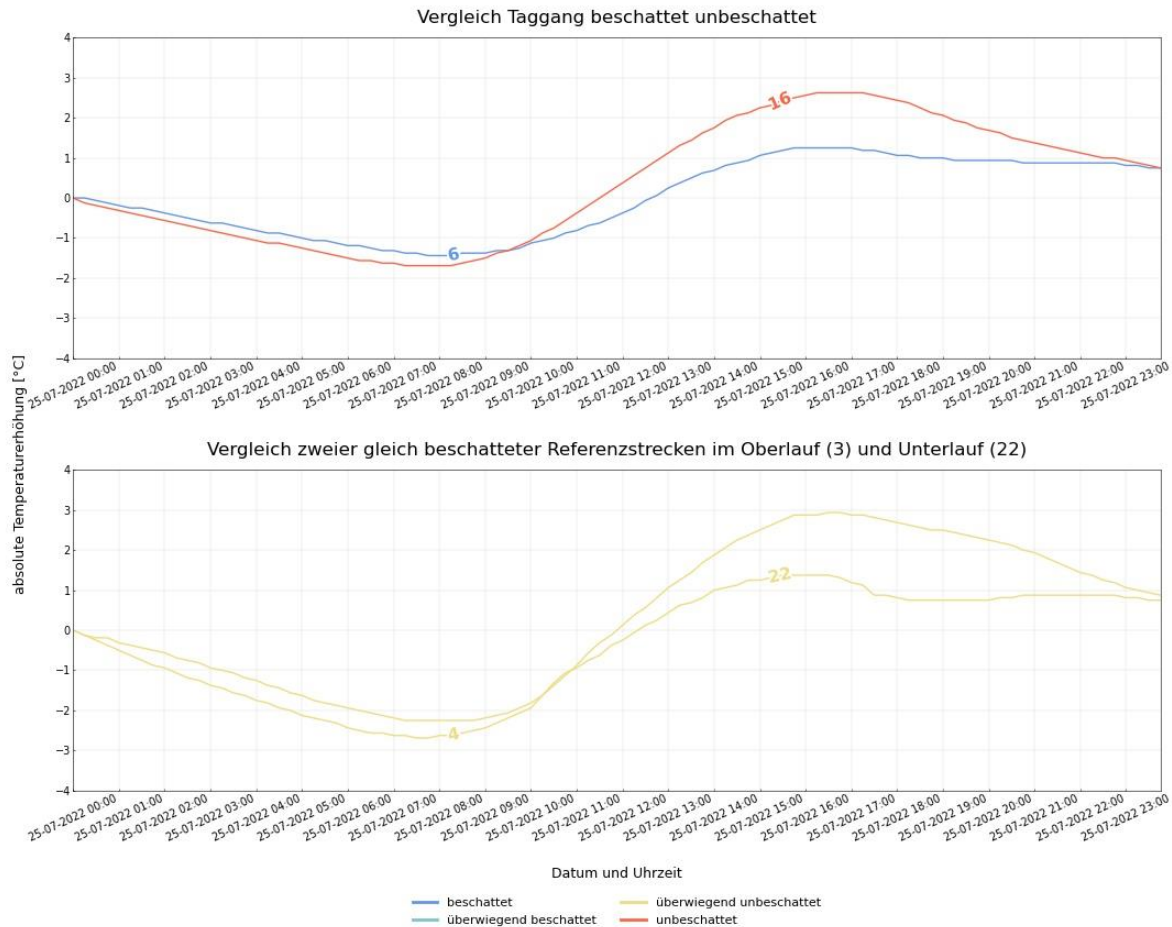


Abbildung 87: Vergleich eines Tagganges an einem beschatteten Sensorstandort mit einem unbeschatteten Sensorstandort (oben), sowie Vergleich zweier gleich beschatteter Sensorstandorte im Oberlauf und Unterlauf (unten).

4.2.9.2 Sensoren

In Abbildung 88 sind die Temperaturerhöhungen an den Sensoren am Ende der jeweiligen Referenzstrecken im Oberlauf (oben) und in Unterlauf (unten) an einem sonnigen heißen Tag dargestellt. Das noch kleinere Gewässer im Oberlauf reagiert wesentlich stärker in Bezug auf Temperaturerhöhungen, wie das bereits größere Gewässer im Unterlauf. Im Oberlauf sind deutliche Unterschiede in der maximalen Temperaturerhöhung in Bezug auf die Beschattung zu erkennen. Im Unterlauf wird vor allem bei Sensor 16, 17 und 18 deutlich, dass bei vorhergehenden unbeschatteten Abschnitten der Sensor 18, welcher bereits in einem beschatteten Bereich positioniert ist, höhere Temperaturdifferenzen im Tagesverlauf aufweist. Dies ist auf die Erwärmung in den zuvor liegenden Abschnitten zurückzuführen. Dennoch ist hier anzumerken, dass die absolute Temperaturerhöhung pro Kilometer (Abbildung 80 und Abbildung 81 – K8, K9, K10) mit zunehmender Beschattung abnimmt.

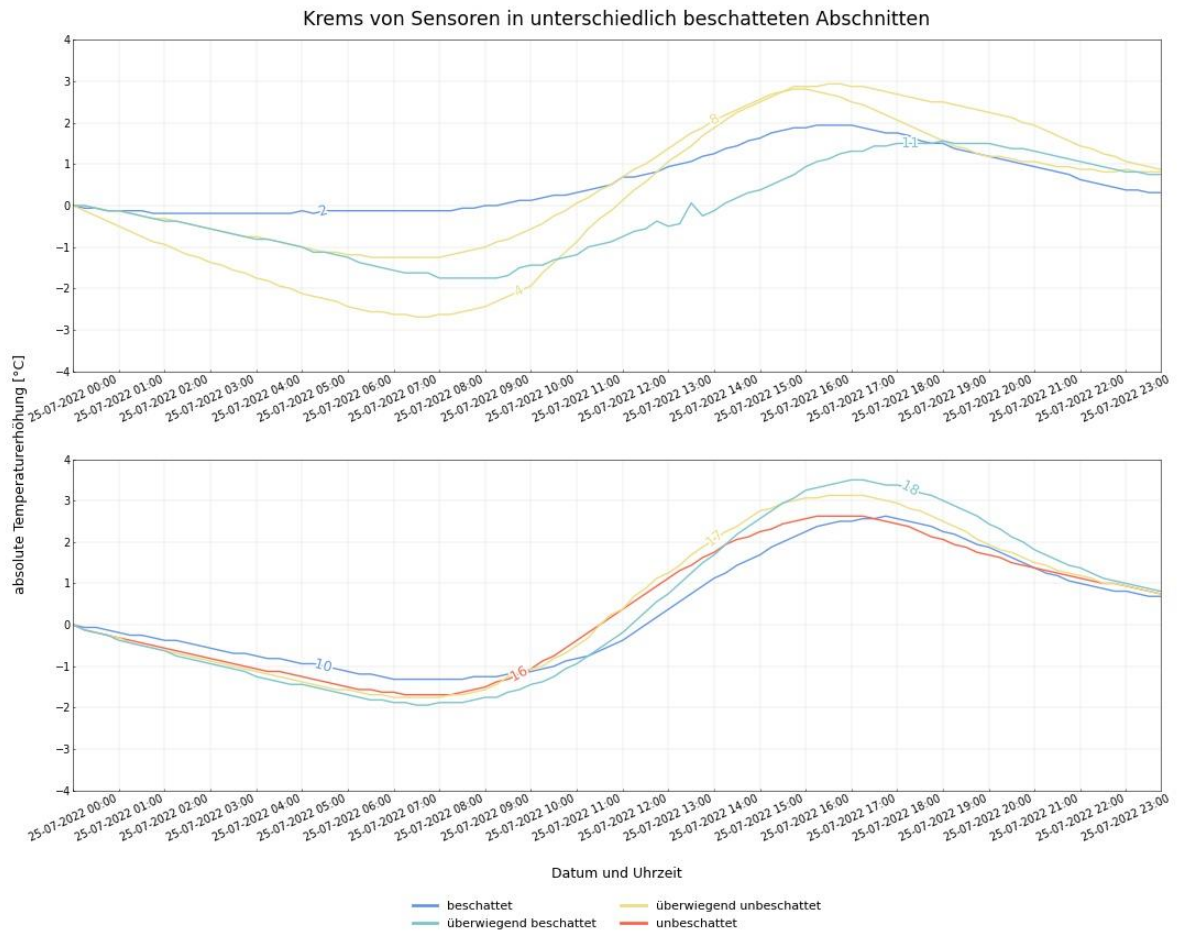


Abbildung 88: Tagesverlauf absoluter Temperaturdifferenzen an Endsensoren der jeweilig beschatteten/unbeschatteten Referenzstrecken.

Abbildung 89 zeigt nochmals die Temperaturerhöhung pro Kilometer, jedoch hier nur am heißesten Tag, entsprechend den obigen Abbildungen der Tagesverläufe. Es zeigt sich im Gegensatz zu den gesamten sonnigen Tagen eine größere Streuung, ansonsten aber ein sehr ähnliches Bild wie bei der Zusammenfassung aller sonnigen Tage.

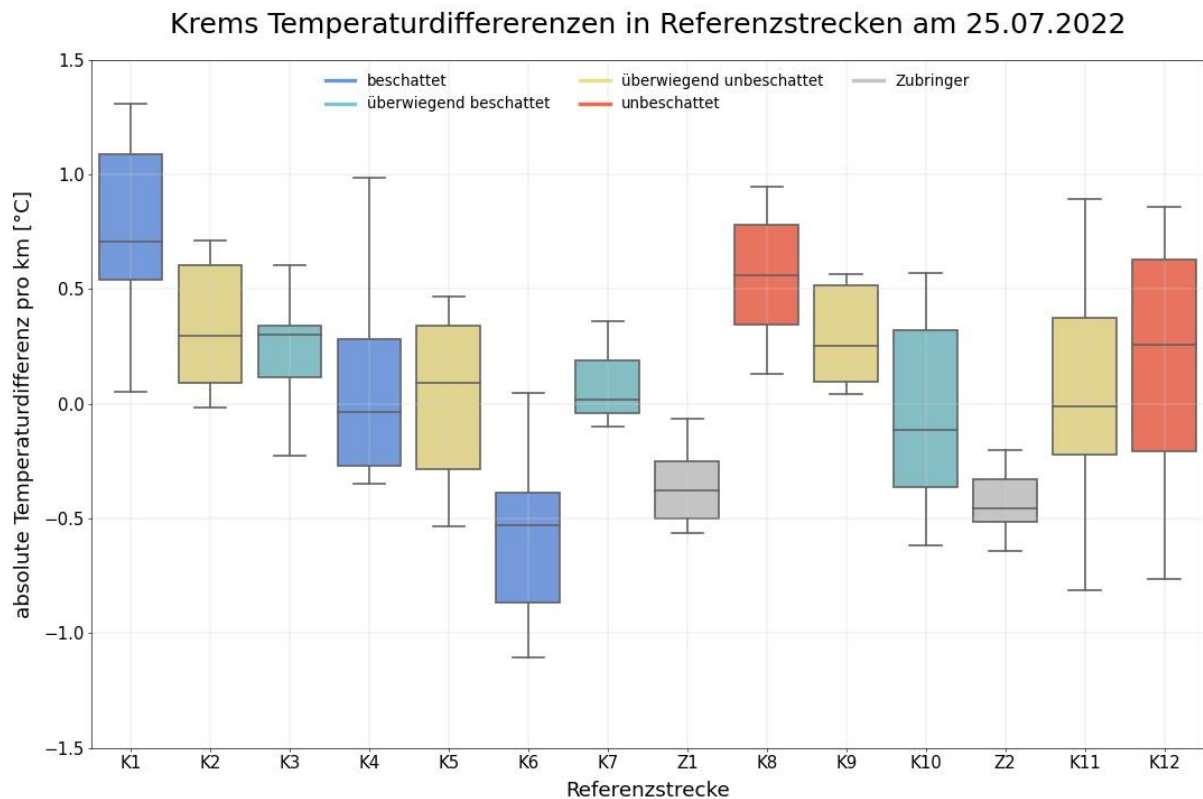


Abbildung 89: Absolute Temperaturdifferenzen am 25.07.2022 (heißer sonniger Tag).

In Abbildung 90 bis Abbildung 94 sind die Temperaturverläufe über die gesamte Messperiode von Ende Mai bis Anfang August dargestellt. Deutlich zu sehen sind die allgemeinen Temperaturerhöhungen infolge der Hitzeperioden. Weiters zeigen sich im Oberlauf wesentlich höhere Temperaturspitzen in den überwiegend unbeschatteten Gebieten sowie die generelle rasche Gewässertemperaturerhöhung. Bereits ab Flkm 32 bei Kremsmünster kommt es Ende Juli zu Gewässertemperaturen über 24°C. Bis Flkm 24 zeigen die Gewässertemperaturen keine starken Steigungen mehr bzw. kommt es zu einer Abkühlung durch den Sulzbach. Vor der Einmündung des Piberbach steigen die Gewässertemperaturen an heißen Tagen wieder auf über 24 °C, bis die Krems durch den Piberbach eine Abkühlung erfährt. Ab Flkm 21 bei Kematen können die Gewässertemperaturen wieder auf über 24 °C Steigen. Auffällig ist in diesem Bereich die starke Erwärmung in den zuvor liegenden unbeschatteten Bereichen, welche sich bis in die beschatteten Bereiche zieht. Trotz deutlicher Abkühlung bis Flkm 15 steigen die Gewässertemperaturen in den überwiegend unbeschatteten Abschnitten nach Neuhofen (Flkm 14,5) an heißen Tagen auf über 24°C. Da auch der weitere Gewässerverlauf von geringer Beschattung und wasserwirtschaftlichen Nutzungen geprägt ist, steigen die Gewässertemperaturen bis Flkm 8 auf bis zu 26 °C.

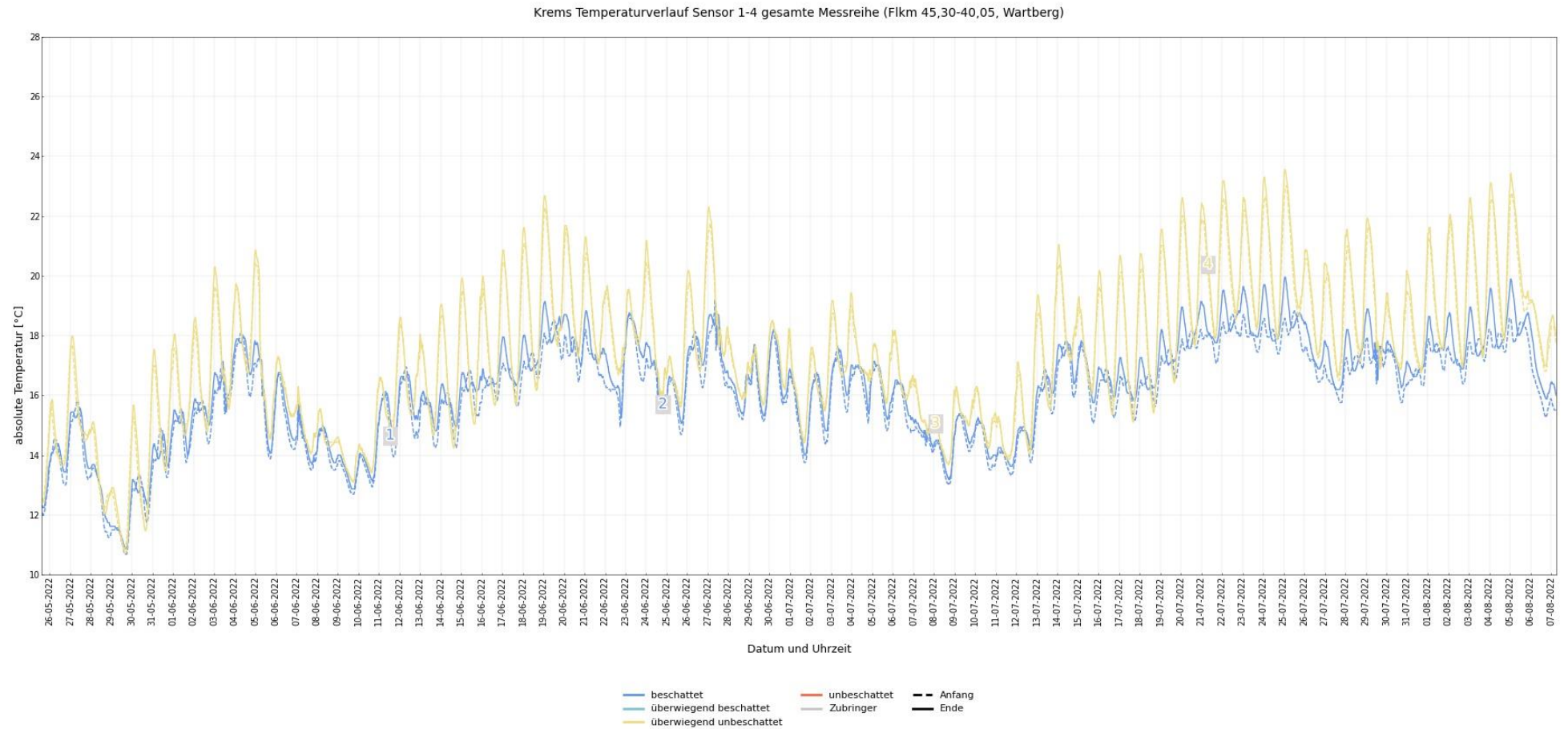


Abbildung 90: Krems Temperaturverlauf Sensor 1-4 gesamte Messreihe (Flkm 44,10-39,25, Wartberg).

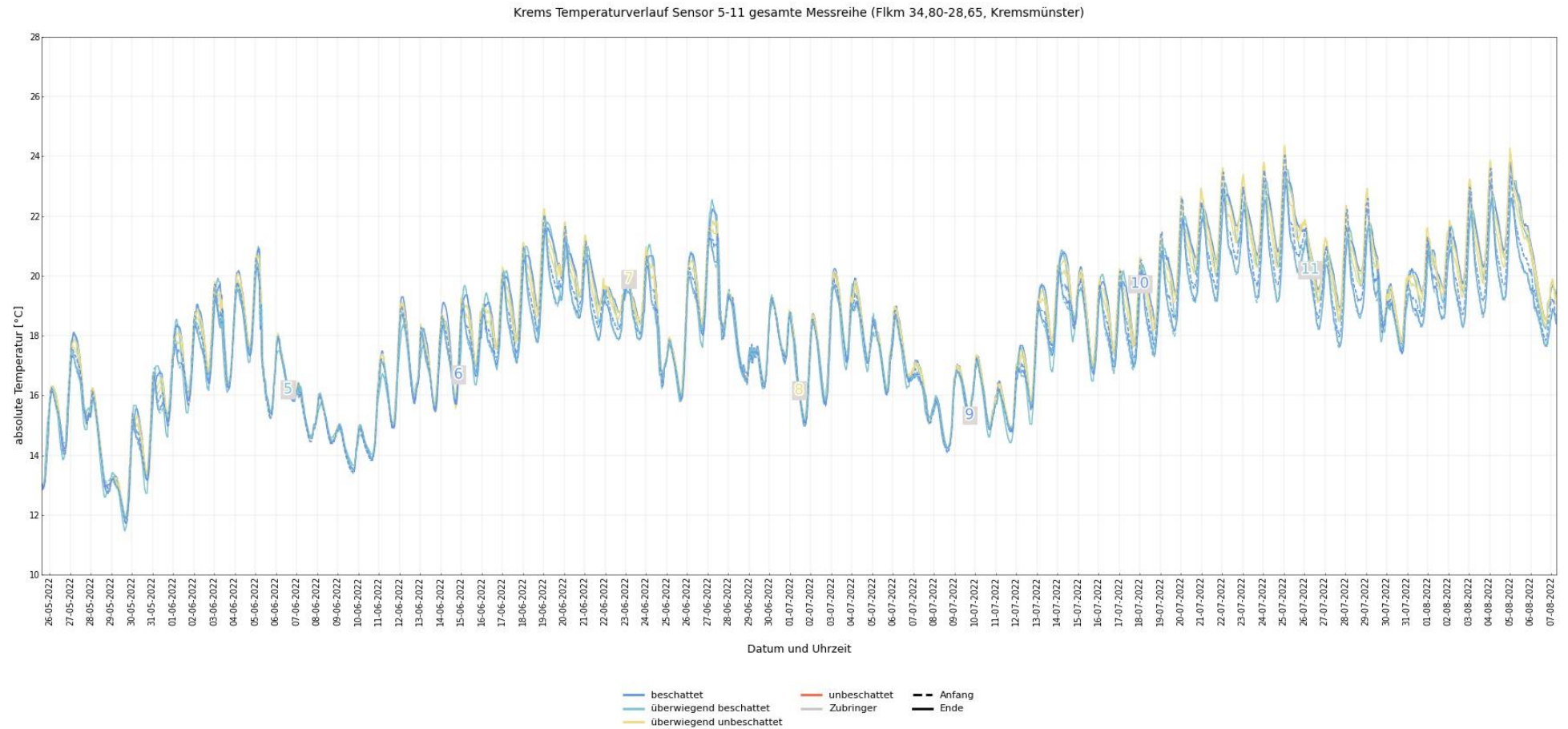


Abbildung 91: Krems Temperaturverlauf Sensor 5-11 gesamte Messreihe (Flkm 34,00-27,95, Kremsmünster).

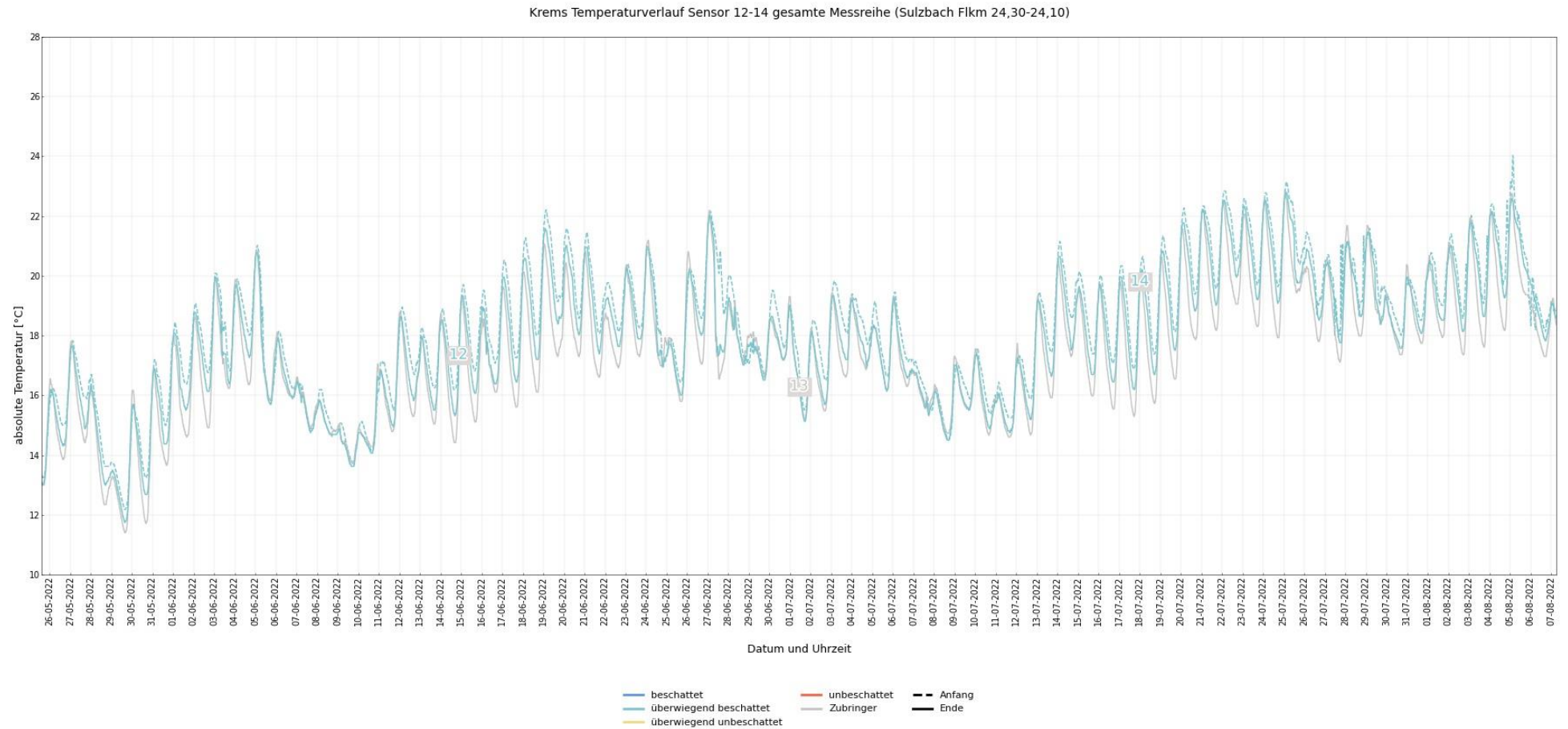


Abbildung 92: Krems Temperaturverlauf Sensor 12-14 gesamte Messreihe (Sulzbach Flkm 23,80-23,65).

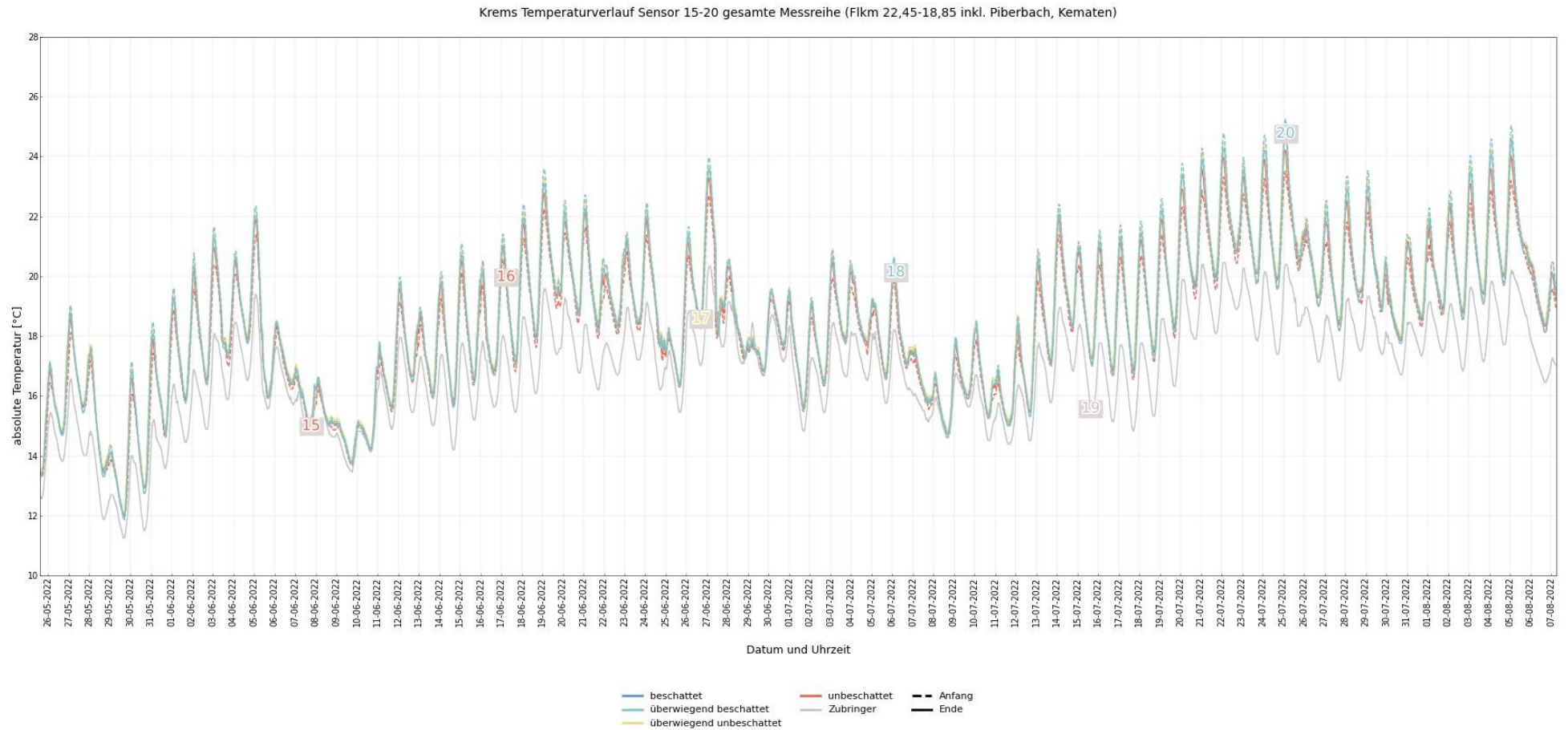


Abbildung 93: Krems Temperaturverlauf Sensor 15-20 gesamte Messreihe (Flkm 21,95-18,35 inkl. Piberbach, Kematen).

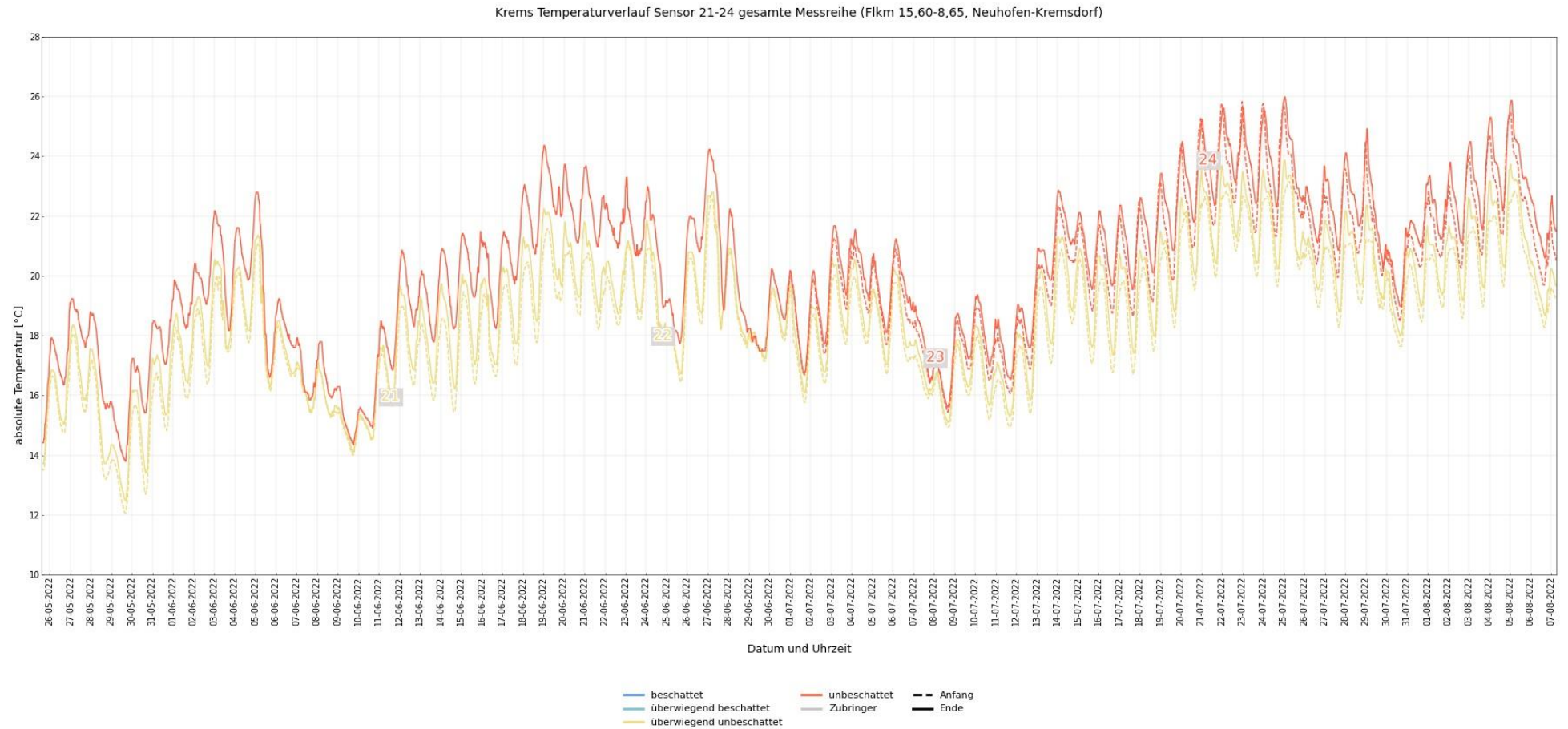


Abbildung 94: Krems Temperaturverlauf Sensor 21-24 gesamte Messreihe (Flkm 15,10-8,20; Neuhofen-Kremsdorf).

4.2.9.3 Zubringer

In Abbildung 95 werden die Tagesgänge der Wassertemperaturen vor, im und nach dem jeweiligen Zubringer dargestellt. Beide Zubringer, der Piberbach und der Sulzbach, tragen zu einer Abkühlung der Krems bei. Der Piberbach weist eine wesentlich geringere Wassertemperatur auf, hat aber aufgrund seiner Einzugsgebietsgröße einen geringen Abfluss. Der Sulzbach hingegen weist eine höhere Wassertemperatur auf, hat aber ein mehr als doppelt so großes Einzugsgebiet als der Piberbach und einen dementsprechend größeren Abfluss. So tragen beide Gewässer in ähnlicher Größenordnung zur Abkühlung der Krems bei.

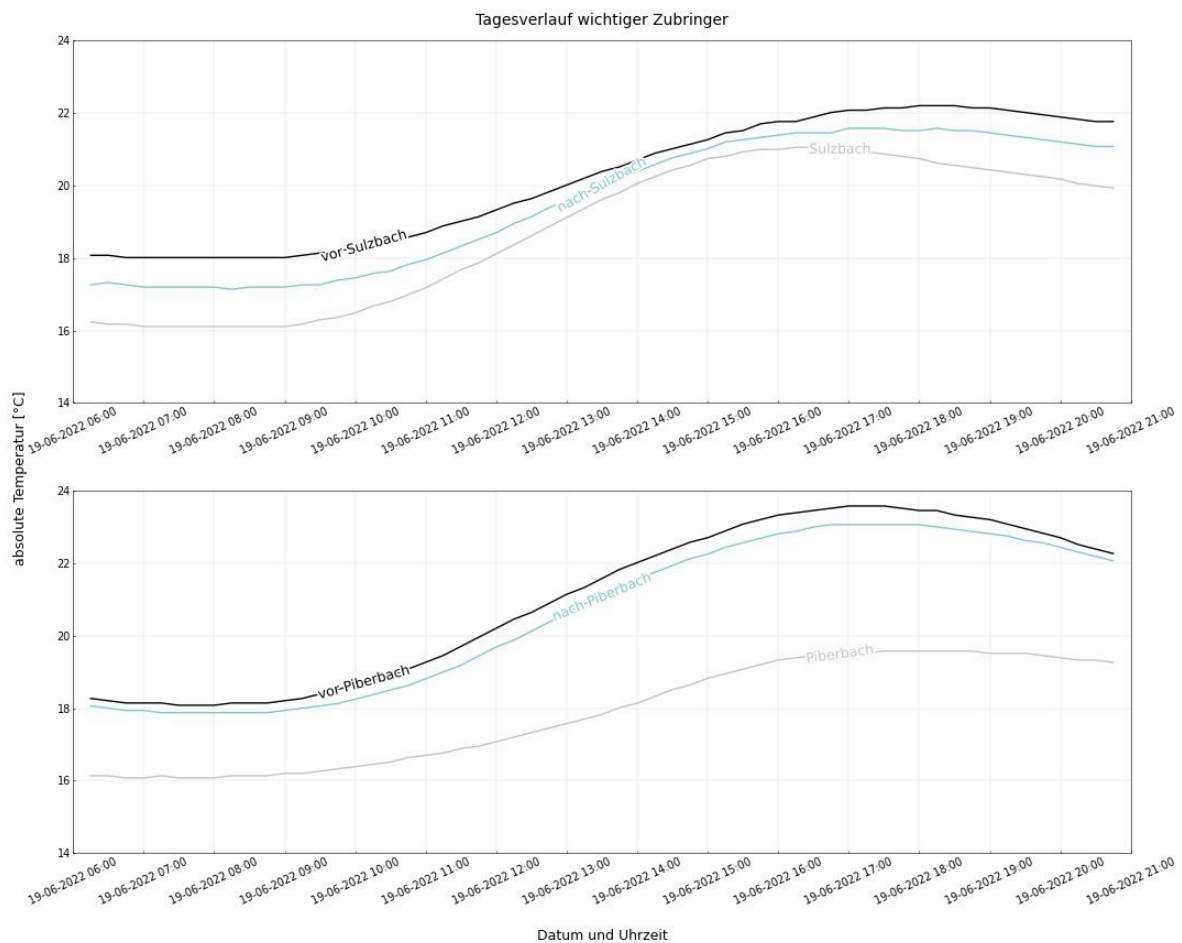


Abbildung 95: Tagesgänge der Zubringer Piberbach und Sulzbach an einem sonnigen Tag.

In Abbildung 96 ist erkennbar, dass auch die Zubringer in den Hitzeperioden deutliche Temperaturerhöhungen erfahren. Trotzdem haben die gemessenen unbeeinflussten Zubringer Piberbach und Sulzbach, welche nach Abschätzung durch Orthofotos eine weitgehend gute Beschattung aufweisen, über den gesamten Messzeitraum geringere Wassertemperaturen als die Krems und tragen damit zu einer Abkühlung bei beziehungsweise haben einen dämpfenden Effekt auf die Erwärmung der Krems. Der Sprinzenbach hingegen als wasserwirtschaftlich beeinflusster Zubringer führt zu einer Erwärmung der Krems.

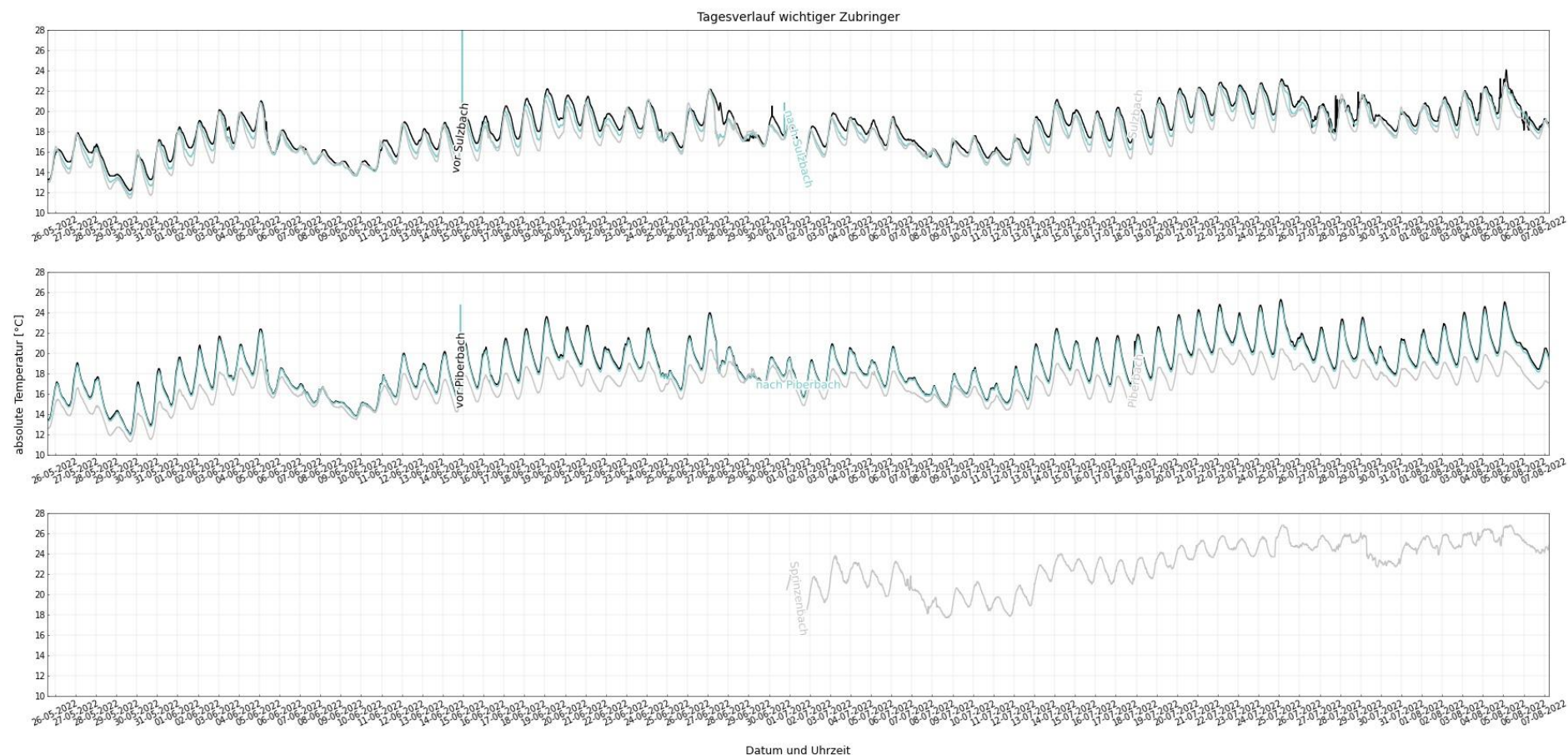


Abbildung 96: Temperaturverlauf der gemessenen Zubringer über den gesamten Messzeitraum.

5 Diskussion

5.1 Beschattungsindex und Eingangsdaten

Das digitale Geländehöhenmodell (DGM) sowie das digitale Oberflächenmodell (DOM) liegen mit einer Auflösung von 1 m vor und stellen somit für die Modellierung des Beschattungsindexess essentielle Datensätze dar. Die zugrunde liegenden Punktwolken dieser Höhendaten stammen aus ALS-Befliegungen, die oberösterreichweit im Zeitraum von 2014 bis 2017 durchgeführt wurden. Darin verbirgt sich jedoch ein relativer Unsicherheitsfaktor, da die tatsächlichen Gelände- und Objekthöhen in der Zwischenzeit variieren können und somit die abgeleiteten Vegetationshöhen in Teilbereichen nicht der Realität entsprechen.

Die Modellierung der Beschattungsintensitäten stellt dennoch ein geeignetes Werkzeug zur großflächigen Berechnung der Fließgewässerbeschattung dar. Mit dem Beschattungsindex ist es möglich, objektive Rückschlüsse auf die Beschattung eines Fließgewässers zu gewinnen und Strecken mit einer fehlenden Ufervegetation bzw. Strecken mit einem maximalen Strahlungseintrag in die Wasserfläche zu identifizieren. Dadurch wird, vor allem im Hinblick auf die Planung von temperaturdämpfenden Maßnahmen ein wertvolles Werkzeug gewonnen, um geeignete Stellen, beispielsweise für eine Bepflanzung von hochwachsender Ufervegetation, auszuweisen.

Dadurch können geeignete Messabschnitte vorausgewählt und gezielt vor Ort begangen werden, um weitere Aspekte wie z.B. Zugänglichkeit etc. zu beurteilen. Ein weiterer Vorteil der Ermittlung des Beschattungsindex für das gesamte Gewässer ist, dass die Ergebnisse aus den mit Sensoren bestückten Referenzabschnitten, Rückschlüsse auf weitere Gewässerabschnitte zulassen und somit eine Gesamtbeurteilung eines Gewässers möglich ist.

5.2 Messkampagne 2021

Bezüglich der Durchführung der Feldmessungen bleiben dennoch einige unvorhersehbare Faktoren bzw. Ereignisse, welche die Feldmessungen erschweren können, oder die Aussagekraft der erhobenen Daten reduzieren. So fiel leider in keine der Messperioden eine länger andauernde Hitzewelle, wie sie aus den letzten Jahren bekannt waren. Darüber hinaus kam es zu Störungen durch mehrere Hochwässer und auch menschliche Einflüsse, wie beispielsweise Neugier oder Vandalismus, führten zum Verlust oder falschen Aufzeichnungen von Sensoren.

Dennoch konnten ausreichend Daten an strahlungsintensiven Tagen sichergestellt werden, um Aussagen zu Unterschieden strahlungsexponierter Gewässerabschnitte zu beschatteten Gewässerabschnitten treffen zu können. So sind starke Erwärmungen beider untersuchten Gewässer im Gewässerverlauf erkennbar. Dies führte in der Aschach zu gemessenen Wassertemperaturen von über 24°C und in der Krems zu Wassertemperaturen über 22°C. Auffällig ist, dass die Aschach im Vergleich zur Krems, viel stärker auf sonnige heiße Tage reagiert. So konnten an der Aschach tageszeitliche Temperaturschwankungen von über 4°C innerhalb eines besonnten Gewässerabschnittes gemessen werden. Auch an der Krems zeigten sich deutliche Erwärmungen unbeschatteter Gebiete, allerdings betrug die maximale tageszeitliche Schwankung mit 2°C nur in etwa die Hälfte der gemessenen Erwärmungen in der Aschach. Damit erwärmte sich die Aschach mit bis zu 2,25°C pro Kilometer unbeschattetem Gewässerabschnitt und die Krems mit bis zu 0,75°C pro

Kilometer unbeschattetem Gewässerabschnitt. Bei beiden Gewässern erwärmten sich beschattete Abschnitte kaum, was sich durch wesentlich geringere tageszeitliche Schwankungen und damit auch geringeren maximalen Wassertemperaturen zeigte. Eine Gegenüberstellung sonniger warmer Tage und sonniger kühlerer Tage zeigte, dass die auf die Wasseroberfläche auftreffende Sonnenstrahlung einen erheblichen Einfluss auf die tageszeitliche Schwankung der Wassertemperatur hat.

Weiters konnten an keinem der beiden Gewässer unterschiedliche Temperaturen zwischen Oberfläche und Sohle in unbeeinflussten Gewässerabschnitten beobachtet werden. Dies ist auf die durchwegs geringen Wassertiefen und ausreichend hohen Strömungsgeschwindigkeiten, welche für eine ständige Durchmischung sorgen, zurückzuführen. Ebenso bei Tiefstellen durch wasserbauliche Maßnahmen (Kolke) reicht die Wassertiefe in den beiden Gewässern nicht aus, um Unterschiede festzustellen.

An der Aschach wird durch die Messungen in der Faulen Aschach und in der Aschach deutlich, dass Gewässergröße beziehungsweise Abfluss ebenso einen Einfluss auf die maximal mögliche Erwärmung haben. So wiesen in der Faulen Aschach auch beschattete Abschnitte eine Erwärmung von bis zu 0,5°C pro Kilometer auf. Im Vergleich erwärmte sich die Aschach im Aschachdurchbruch bei wesentlich größerem Abfluss mit 0,1°C pro Kilometer kaum. Da es an der Krems kaum bedeutende Zubringer entlang der gemessenen Abschnitte gibt, ändert sich die mitgeführte Wassermenge kaum, womit in beschatteten Abschnitten durchwegs Erwärmungen kleiner 0,1°C oder sogar Abkühlungen gemessen wurden.

Weitere große Einflüsse konnten durch die Zubringer gezeigt werden. So kommt es zu keiner wesentlichen Abkühlung der Gewässer in beschatteten Abschnitten, jedoch zu weitaus geringeren Erwärmungen und tageszeitlichen Wassertemperaturschwankungen und daher auch geringeren maximalen Wassertemperaturen. Bedeutende Abkühlungen konnten hauptsächlich durch Zubringer oder Zuflüsse aus seitlich austretendem Hangwasser verzeichnet werden. Ebenso konnten im Gegenzug aber auch bedeutende Erwärmungen durch Zubringer beobachtet werden. Somit ist der Zustand und die Intensität der Ufervegetation der Zubringer ebenso relevant, wie die des Vorfluters selbst. Daher sollte für weitere Untersuchungen der Betrachtungsraum auf die Zubringer ausgeweitet werden. An einzelnen Referenzabschnitten wird der Einfluss von Wehranlagen und Aus- bzw. Einleitungen deutlich. Durch die intensive wasserwirtschaftliche Nutzung verbleiben, vor allem an der Krems, wenige unbeeinflusste Gewässerabschnitte um den Einfluss der Beschattung differenziert zu beurteilen. In Bezug auf die generelle Gewässererwärmung stellt sich dadurch die Frage, wie der Einfluss von Stau- & Restwasserstrecken bzw. deren Ein- und Ausleitungen zu beurteilen ist und inwieweit diese zur Erwärmung beitragen.

5.3 Messkampagne 2022

Die Fixierung der Sensoren am Ufer erwies sich aufgrund der schnell steigenden Wasserstände in der Krems bei konvektiven Niederschlägen als notwendig und erfüllte ihren Zweck ohne Beeinträchtigung Dritter. So konnten sämtliche Sensoren mitsamt Messdaten gesichert werden. Die verlängerte Messperiode von Mai bis August ermöglichte die Erfassung von Daten über mehrere Hitzeperioden hinaus. Die regelmäßigen Wartungen in Kombination mit Einzelmessungen und der Installation zusätzlicher Sensoren ermöglichte die Erfassung valider Daten sowie einen Einblick in die komplexen Prozesse, welche zu Erwärmungen und auch Abkühlungen des Gewässers führen können.

Im Zuge der Auswertung wurden diese vielzähligen Einflüsse auf die Gewässertemperatur ersichtlich. So findet vor allem im Oberlauf eine rasche Temperaturerhöhung statt. Dies macht deutlich, dass die Abflussmenge Auswirkungen auf die Geschwindigkeit der Erwärmung hat. So sind bei geringen Abflüssen höhere Erwärmungsraten zu verzeichnen, aber auch Bereiche mit größeren Abflüssen in einem breiten Flussbett mit geringer Wassertiefe weisen deutlich höhere Erwärmungsraten auf. Sehr variable Temperaturverläufe sind vor allem in Abschnitten mit vielen Zubringern und wasserwirtschaftlicher Nutzung zu verzeichnen. In solchen Abschnitten können im Tagesverlauf Temperaturänderungen von bis zu plus 1 °C pro Kilometer bis minus 1 °C pro Kilometer auftreten. Gewässerabschnitte ohne äußere Einflüsse wie Zubringer, Stau- und Restwasserstrecken und guter Beschattung hingegen können über lange Strecken die Gewässertemperatur auch an sonnigen Tagen weitgehend konstant halten, beziehungsweise an bewölkten Tagen sogar zu Abkühlungen beitragen. In der gut beschatteten Referenzstrecke K4 betrug die mittlere Erwärmung pro Kilometer an sonnigen Tagen 0 °C und bei der Referenzstrecke K6 wurden im Mittel Abkühlungen von minus 0,25 °C pro Kilometer gemessen. Im Gegensatz dazu traten im selben Zeitraum am besonnten Abschnitt K8 im Mittel Temperaturerhöhungen von 0,5 °C pro Kilometer sowie am überwiegend besonnten Abschnitt K9 0,25 °C pro Kilometer auf. Weiters spielt die Länge fehlender Beschattung eine wesentliche Rolle. So kommt es in langen unbeschatteten Abschnitten zu deutlichen Erwärmungen, welche sich bis in nachfolgende beschattete Bereiche ziehen. Demnach weisen beschattete Bereiche nach langen besonnten Abschnitten zwar absolut höhere Wassertemperaturen auf, aber in Bezug auf die Erwärmungsrate pro Kilometer sinkt diese mit zunehmender Beschattung deutlich. Dies kann gut an den aufeinanderfolgenden unbeeinflussten Abschnitten K8 bis K10 beobachtet werden. Die absoluten Wassertemperaturen steigen trotz zunehmender Beschattung konstant an, allerdings sinkt die Erwärmungsrate im Mittel von plus 0,5 °C pro Kilometer im besonnten Abschnitt, auf 0,25 °C pro Kilometer im überwiegend besonnten Abschnitt und schließlich auf 0 °C pro Kilometer im überwiegend beschatteten Abschnitt.

Bei Betrachtung der absoluten Gewässertemperaturen über den Gewässerverlauf fällt die enorme Temperaturerhöhung an sonnigen Tagen im gering beschatteten Oberlauf (Flkm 44 bis Flkm 39) von 18 °C auf knapp unter 22 °C, auf. Im besser beschatteten Abschnitt von Flkm 39 bis Flkm 24 hingegen wird die Gewässertemperatur überwiegend konstant gehalten, bis wiederum im geringer beschatteten und stärker beeinflussten Unterlauf (Flkm 24 bis Flkm 9) die maximale Gewässertemperatur gemittelt über alle sonnigen Tage von 21,5 °C auf 24 °C steigt. Diese maximalen Gewässertemperaturen sind vor allem in dicht besiedelten Gebieten mit geringer Beschattung und starken Anthropogenen Einflüssen sowie wasserwirtschaftlichen Nutzungen zu verzeichnen. So können an einzelnen Tagen die Gewässertemperaturen bereits bei Kremsmünster auf über 24 °C steigen, zwischen Kematen und Neuhofen auf 25 °C und im Unterlauf bei Kremsdorf auf 26 °C. Vor allem im Unterlauf führen die geringe Beschattung in Kombination mit Aus- und wieder Einleitungen wasserwirtschaftlicher Nutzungen, welche eine deutlich höhere Temperatur als die Krems aufwiesen, zu diesen Spitzenwerten. Im Gewässerverlauf tragen wichtige Zubringer wie der Piberbach und der Sulzbach auch während der Hitzeperioden zur Abkühlung der Krems bei, wodurch auch dem Beschattungsgrad der Zubringer eine große Bedeutung zukommt. Weiters wird durch die Analyse von bewölkten und sonnigen Tagen deutlich, dass die Vegetation an der Krems nicht nur in Bezug auf die direkte Sonneneinstrahlung, sondern auch auf die Erwärmung durch langwellige Strahlung einen Dämpfenden Effekt hat. Dies zeigt sich wiederum bei Betrachtung der absoluten Gewässertemperaturen in Bezug auf die Beschattung über den Gewässerverlauf. So sind - trotz weniger stark ausgeprägten Tagesgängen an den einzelnen Sensoren - auch an bewölkten Tagen

deutliche Temperaturerhöhungen in Bereichen mit geringer Beschattung und geringe Temperaturschwankungen in beschatteten Gewässerabschnitten zu verzeichnen.

Zusammenfassend wird die Komplexität des Systems mit den einzelnen Faktoren, welche Einfluss auf die Gewässertemperatur nehmen, deutlich. In einigen Abschnitten fällt die Differenzierung der erwärmungstreibenden oder kühlenden Einflüsse schwer oder kann mit den getätigten Messungen kaum erfasst werden. So zeigen sich neben eindeutigen Dämpfenden bis kühlenden Effekten der Ufervegetation in unbeeinflussten Abschnitten, ebenso der starke Einfluss von Zubringern und deren Gegebenheiten, von wasserwirtschaftlichen Nutzungen (Kühlwassernutzung, Stau- und Restwasserstrecken) und auch der Umgebenden Siedlungsdichte bzw. mikroklimatischen Verhältnisse.

Daher ist bei Zuflüssen ebenso die Beschattung dieser relevant, wobei dies z.B. bei Entwässerungen landwirtschaftlicher Flächen schwierig umsetzbar ist. Deutlich zu erkennen ist der Dämpfende Effekt der Vegetation. Dies bewirkt nicht nur geringere Erwärmungen durch das Verhindern des Auftreffens direkter Sonneneinstrahlung, sondern auch geringere Erwärmungen durch langwellige Wärmestrahlung aufgrund der Dämpfenden Effekte der Vegetation auf die lokalen Lufttemperaturen. Große Bedeutung ist auch der Beschattung von Stau- und Restwasserstrecken zuzusprechen, da sich diese aufgrund der langsamen Fließgeschwindigkeiten und meist größeren Wasserfläche bzw. geringen Abflüssen in den Restwasserstrecken stärker erwärmen können. Aufgrund der mittleren Erwärmungsraten, zusammengefasst in die einzelnen Gruppen der Beschattungsintensität, zeigen sich die kühlenden bzw. dämpfenden Effekte an sonnigen als auch schattigen Tagen. So wäre bei einer zumindest überwiegenden Beschattung in den unbeschatteten und überwiegend unbeschatteten Referenzabschnitten eine Reduktion der Wassertemperatur im Unterlauf von 2 °C möglich. Die Auswirkungen einer vollkommenen Beschattung sind schwer abzuschätzen, da sich Abkühlungsraten ohne zuvor auftretende Erwärmungen ändern würden. Bei einer kompletten Beschattung der gesamten Krems könnte die auftretende Temperaturerhöhung im Mittel 5,7 °C - über den Gewässerverlauf in schlechter beschatteten Abschnitten - gedämpft werden. Dies unterstreicht das Potential der Senkung von Wassertemperaturen durch die Ufervegetation und der damit einhergehenden Beschattung der Gewässer.

6 Literatur

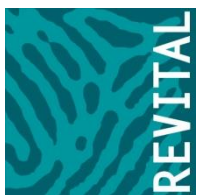
- Beechie, T., Imaki, H., Greene, J., Wade, A., Wu, H., Pess, G., Roni, P., Kimball, J., Stanford, J., Kiffney, P. & Mantua, N. (2013): Restoring salmon habitat for a changing climate. *River Res. Appl.* 29 (8), 939–960.
- Booth, D.B. & Leavitt, J.L. (1999): Field evaluation of permeable pavement systems for improved stormwater management. *J. Am. Plann. Assoc.* 38 (3), 835–845.
- Brown, L.E., Cooper, L., Holden, J. & Ramchunder, S.J. (2010): A comparison of stream water temperature regimes from open and afforested moorland, Yorkshire Dales, northern England. *Hydrol. Process.* 24 (22), 3206–3218.
- Caissie, D. (2006): The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biology* (2006) 51, 1389 - 1406.
- Dugdale, S.J., Malcolm, I.A., Kantola, K. & Hannah, D.M. (2018): Stream temperature under contrasting riparian forest cover. Understanding thermal dynamics and heat exchange processes. *Science of the Total Environment* 610-611, 1375–1389.
- Hannah, D.M., Malcolm, I.A., Soulsby, C. & Youngson, A.F. (2004): Heat exchanges and temperatures within a salmon spawning stream in the Cairngorms, Scotland: seasonal and sub-seasonal dynamics. *River Research and Applications* 20 (6), 635–652.
- Hannah, D.M. & Garner, G. (2015): River water temperature in the United Kingdom: changes over the 20th century and possible changes over the 21st century. *Prog. Phys. Geogr.* 39, 68–92.
- Garner, G., Malcolm, I.A., Sadler J.P. & Hannah D.M. (2017): The role of riparian vegetation density, channel orientation and water velocity in determining river temperature dynamics. *Journal of Hydrology*, Volume 553, 471-485.
- Imholt, C., Soulsby, C., Malcolm, I.A. & Gibbins, C.N. (2013): Influence of contrasting riparian forest cover on stream temperature dynamics in salmonid spawning and nursery streams. *Ecohydrology* 6, 380–392.
- IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Johnson, S.L. (2004): Factors influencing stream temperatures in small streams. Substrate effects and a shading experiment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61 (6), 913–923.
- Kurylyk, B.L., MacQuarrie, K.T.B., Linnansaari, T., Cunjak, R.A. & Curry, R.A. (2014): Preserving, augmenting, and creating thermal refugia in rivers concepts derived from research on the Miramichi River, New Brunswick (Canada). *Ecohydrology*.
- Leach, J.A. & Moore, R.D. (2010): Above-stream microclimate and stream surface energy exchanges in a wildfire-disturbed riparian zone. *Hydrol. Process.* 24, 2369–2381
- Li, G., Jackson, C.R. & Krasieski, K.A. (2012): Modeled riparian stream shading: Agreement with field measurements and sensitivity to riparian conditions. *Journal of Hydrology* 428-429, 142–151.
- Lindberg, F. & Grimmond, C.S.B. (2011): The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation. *Theoret. Appl. Climatol.* 105, 311–323.

- MacDonald, R.J., Boon, S., Byrne, J.M. & Sillins, U. (2014): A comparison of surface and subsurface controls on summer temperature in a headwater stream. *Hydrol. Process.* 28 (4), 2338–2347.
- Melcher, A., Dossi, F., Wolfram, G., Borgwardt, F., Schaufler, T., Kalny, G., Rauch, H.P., Formayer, H., Trimmel, H. & Weihs, P. (2016): Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur unter gewässertypspezifischer Berücksichtigung von Fischen und benthischen Evertebraten am Beispiel von Lafnitz und Pinka. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft.* 68. 10.1007/s00506-016-0321-8.
- Moore, R.D., Spittlehouse, D.L. & Story, A. (2005): Riparian microclimate and stream temperature response to forest harvesting: A review. *Journal of the American Water Resources Association* 41 (4), 813–834.
- Opperman, J.J., Luster, R., McKenney, B.A., Roberts, M. & Meadows, A.W. (2010): Ecologically functional floodplains: connectivity, flow regime, and scale. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 46 (2), 211–226.
- Poole, G.C. & Berman, C.H. (2001): An ecological perspective on in-stream temperature: natural heat dynamics and mechanisms of human-caused degradation. *Environ. Manage.* 27 (6), 787–802.
- Poole, G.C., O’Daniel, S.J., Jones, K.L., Woessner, W.W., Bernhardt, E.S., Helton, A.M., Stanford, J.A., Boer, B.R. & Beechie, T. (2008): Hydrologic spiralling: the role of multiple interactive flow paths in stream ecosystems. *River Res. Appl.* 24 (7), 1018–1031.
- Ratti, C.F. & Richens, P. (1999): Urban texture analysis with image processing techniques. In: *Proceedings of the CAADFutures99*, Atlanta, GA.
- R Core Team (2015): R: A language and environment for statistical computing. – R Foundation for Statistical Computing, Vienna Austria. <http://www.r-project.org>
- Ryan, D.K., Yearsley, J.M. & Kelly-Quinn, M. (2013): Quantifying the effect of seminatural riparian cover on stream temperatures: implications for salmonid habitat management. *Fish. Manage. Ecol.* 20 (6), 494–507.
- Stein, K. (2018): Langzeitsimulation der Wassertemperatur von Fließgewässern mit Berücksichtigung der Beschattungsdynamik durch Ufergehölze. Dissertation. Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, Technische Universität Carolo-Wilhelmina Braunschweig.
- Trimmel, H., Weihs, P., Leidinger, D., Formayer, H., Kalny, G. & Melcher, A. (2018): Can riparian vegetation shade mitigate the expected rise in stream temperatures due to climate change during heat waves in a human-impacted pre-alpine river?. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 437–461
- van Vliet, M.T.H., Ludwig, F. & Zwolsman, J.J.G. (2011): Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resources Research* 47: W02544.
- van Vliet, M.T.H., Vogeles, S. & Rubbelke, D. (2013): Water constraints on European power supply under climate change: Impacts on electricity prices. *Environmental Research Letters* 8: 035010.
- Webb, B.W., Hannah, D.M. & Moore, R.D. (2008): Recent advances in river and stream temperature. *Hydrological Processes* 22: 902–918.
- Westhoff, M.C., Savenije, H.H.G. & Luxemburg, W.M.J. (2007): A distributed stream temperature model using high resolution temperature observations. *Hydrology and Earth System Sciences* 11: 1469–1480.

Westhoff, M.C., Gooseff, M.N., Bogaard, T.A. & Savenije, H.H.G. (2011): Quantifying hyporheic exchange at high spatial resolution using natural temperature variations along a first-order stream. *Water Resour. Res.* 47 (10), W10508.

Wilby, R.L., Orr, H.G., Watts, G., Battarbee, R.W., Berry, P.M., Chadd, R., Dugdale, S.J., Dunbar, M.J., Elliott, J.A., Extence, C., Hannah, D.M., Holmes, N., Johnson, A.C., Knights, B., Milner, N.J., Ormerod, S.J., Solomon, D., Timlett, R., Whitehead, P.J. & Wood, P.J. (2010): Evidence needed to manage freshwater ecosystems in a changing climate: turning adaptation principles into practice. *Sci. Total Environ.* 408 (19), 4150–4164.

Wondzell, S.M., Diabat, M. & Haggerty, R. (2019): “What Matters Most: Are Future Stream Temperatures More Sensitive to Changing Air Temperatures, Discharge, or Riparian Vegetation?” *Journal of the American Water Resources Association* 55 (1).



REVITAL
Integrative Naturraumplanung GmbH
Nußdorf 71
A-9990 Nußdorf-Debant
Tel.: +43 4852 67499-0; Fax: +43 4852 67499-19
office@revital-ib.at; www.revital-ib.at