

Anleitung zur Erhebung der Kolmation im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung (GSK) Endbericht



Auftraggeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt
Augsburg

Auftragnehmer:



**Gesellschaft für Landschaftsökologie,
Gewässerbiologie und Umweltplanung mbH**
www.oekon.com

Dr. F. Foeckler & Dipl.-Ing.(FH) H. Schmidt
Hohenfelder Str. 4, Rohrbach
93183 Kallmünz

Bearbeitung:
Dipl.-Biol. C. Parzefall
Dipl.-Ing.(FH) H. Schmidt

**GeoTeam Gesellschaft für angewandte Geoökologie
und Umweltschutz mbH, Bayreuth**

Bearbeitung:
Dipl.-Geoökologe Reinhard Wesinger

Mai 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung / Aufgabenstellung	4
2	Was ist Kolmation	4
2.1	Definitionen der Begrifflichkeiten.....	4
2.2	Biologische Auswirkungen von Kolmation auf den Lebensraum Interstitial	8
2.3	Identifizierung von Fließgewässertypen ohne innere Kolmation	9
2.4	Leitbild.....	9
3	Mit welchen Methoden kann die Kolmation im Rahmen der GSK erfasst werden?10	
3.1	Notwendige Erfassungsparameter	11
3.2	Begehbarkeit und Einsehbarkeit der Fließgewässer.....	13
3.2.1	Begehbare Fließgewässer (Fall I und IV)	13
3.2.2	Schmale nicht begehbare Fließgewässer (Fall II und V).....	14
3.2.3	Größere nicht begehbare Gewässer (Fall III und VI)	14
4	Aussagetiefe und Praktikabilität der unterschiedlichen Erfassungs-methoden....	15
4.1	Zielsetzung der Kolmationserfassung	15
4.2	Praktikabilität der Erfassungsmethoden.....	16
4.2.1	Sichtprobe.....	16
4.2.2	Fotografische Erfassung und Mustervergleich.....	17
4.2.3	Erfassung mit qualitativen Methoden.....	17
4.3	Aussagetiefe der unterschiedlichen Methoden	18
4.4	Anordnung und Dichte der Untersuchungsstellen.....	19
4.5	Simulation der Kolmation	19
4.6	Diskussion und Bewertung der unterschiedlichen Methoden	20
4.7	Fazit: Erfassungskonzept für die GSK	22
5	Erhebungsbogen und Kartieranleitung.....	23
5.1	Parameter für den Erhebungsbogen	23
5.2	Kartieranleitung	25
5.2.1	Erläuterungen zum Erhebungsbogen	25
5.2.2	Arbeiten, die vorab im Büro durchführbar sind	26
5.2.3	Literatur zur Kolmation	27
5.3	Hinweise zur Organisation der Erfassung der Kolmation.....	27
5.4	Schulung der Kartierer	28
6	Ausblick	28
7	Literatur.....	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche Untersuchungsmethoden der inneren und äußeren Kolmation	11
Tabelle 2: Erfassungsparameter zur Bewertung der inneren und äußeren Kolmation	12
Tabelle 3: Mögliche Erfassungsverfahren der Kolmation im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung (Unterteilung in Fallgruppen I – VI).....	13
Tabelle 4: Vorläufige Bewertungsmatrix für innere und äußere Kolmation	15
Tabelle 5: Aussagetiefe der unterschiedlichen Erfassungsmethoden	18
Tabelle 6: Relevante Parameter und deren Einflüsse zur Erfassung und Beurteilung der Kolmation	23
Tabelle 7: Bewertungsmatrix für innere und äußere Kolmation. Querverweise zum Bildmaterial in Klammern.	23
Tabelle 8: Nachrichtliche Angaben zur äußeren Kolmation (Streckencharakterisierung)	24
Tabelle 9: Detailangaben zur Kolmationserfassung (nachrichtlich)	24
Tabelle 10: Ableitung der Bewertung der inneren Kolmation	26

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersicht über bisher angewandte Kartiermethoden

Anlage 2: Fotodokumentation verschiedener Kolmationsausprägungen

1 Einleitung / Aufgabenstellung

Das Bayerische Landesamt für Umwelt plant künftig bei der Durchführung der Gewässerstrukturkartierung auch die Kolmation der Gewässersohle zu erfassen. Die **ÖKON – Gesellschaft für Landschaftsökologie, Gewässerbiologie und Umweltplanung mbH** legt dazu in Zusammenarbeit mit **GeoTeam Gesellschaft für angewandte Geoökologie und Umweltschutz mbH** diese Studie zur „Erfassung der Kolmation im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung“ vor.

Ziel der Untersuchungen ist es, praktikable Methoden zur Erfassung und Bewertung der Kolmation zu empfehlen. Dazu gilt es,

- im Rahmen einer Literaturlauswertung den Begriff, die prozessualen Abläufe und die biologischen Auswirkungen zu erläutern,
- die bisher eingesetzten Untersuchungsmethoden zusammenzustellen,
- das verfügbare Methodenspektrum einer praxisorientierten Untersuchung und Bewertung zu unterziehen,
- das Spektrum der zu erfassenden Parameter und deren Erhebungsdichte zu untersuchen,
- ein Bewertungsschema im Rahmen der bestehenden Gewässerstrukturkartierung zu entwerfen und
- die Ergebnisse in einem Erfassungsbogen mit Kartieranleitung umzusetzen.

2 Was ist Kolmation

2.1 Definitionen der Begrifflichkeiten

Physikalische, chemische und biogene Kolmation

Unter Kolmation (lat. *culmen* – Gipfel) wird nach Schälchli (1993) der Prozess des Eintrags und der Ablagerung von Feinmaterialien im Lückensystem poröser Fließgewässersohlen infolge der Infiltration (Einstrom) von Flusswasser verstanden (physikalische Kolmation). Dieser Vorgang führt zu einer Verringerung des Porenvolumens, einer Verfestigung des Sohlsubstrates und einer Reduktion der Sohldurchlässigkeit. Es wird zwischen innerer und äußerer Kolmation unterschieden, wobei die Übergänge fließend sein können.

Für eine Kolmation der Gewässersohle können auch chemische Prozesse verantwortlich sein (chemische Kolmation). Ablagerungen von Eisen- oder Manganausfällungen (Verockerung) oder von Kalziumkarbonatausfällungen (CaCO_3 , Versinterung) können eine Verfestigung, Verkrustung oder Verbackung der Gewässersohle verursachen (Schönborn 1992, Strohmeier et al. 2005).

Zusätzlich zu physikalischen und chemischen Faktoren kann eine Kolmation durch biologische Vorgänge gefördert werden (biogene Kolmation). Hierzu zählen insbesondere der Aufwuchs von Mikroalgen (Periphytonbewuchs) auf der Sohlenoberfläche

(Graham 1990; Ibisch 2004) und die Zunahme der interstitiellen Bakterienbiomasse samt Stoffwechselprodukten (Vandevivere & Baveye 1992a, b; Ibisch 2004). Biogene Kolmationsvorgänge wurden bisher in natürlichen Fließgewässern selten berücksichtigt (Gutknecht et al. 1998), scheinen aber besonders in Gewässern mit hohem Eutrophierungspotential (z.B. durch Abwasserbelastung) zur Verringerung hydraulischer Austauschprozesse beizutragen (Ibisch 2004; Strohmeier et al. 2005).

Eine Differenzierung zwischen physikalischer, chemischer und biogener Kolmation ist bei einer Ersteinschätzung des Kolmationszustandes in den bayerischen Fließgewässern im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung nicht möglich. Deshalb wird im Weiteren auf eine Begriffsunterscheidung verzichtet und allgemein von „Kolmation“ gesprochen.

Unterscheidung natürliche und unnatürliche Kolmation

Der natürliche Feinmaterialanteil im Sohlsubstrat ist bis zu einem bestimmten Grad integraler Bestandteil aller Fließgewässersysteme. Art und Menge der Feinmaterialfracht eines Fließgewässersystems sind jedoch sehr variabel (Thurmann & Zumbroich 2013) und hängen stark von den geologischen Verhältnissen ab (Strohmeier et al. 2005). In natürlichen Fließgewässern stammen anorganische, mineralische Feinmaterialien aus der Verwitterung von Gesteinen im Einzugsgebiet. Auch Seitenerosionen und Uferabbrüche bedingen beispielsweise hohe natürliche Feststoffeinträge. Organische Feinmaterialien stammen aus der autochthonen Produktion von Algen, Plankton und Mikroorganismen und allochthonem Eintrag von organischem Material wie Falllaub oder Detritus (DVWK 1997; Ibisch 2004; Thurmann & Zumbroich 2013).

Natürliche, unbeeinflusste Fließgewässer zeichnen sich durch gut strukturierte Gewässerabschnitte, Feststofftransport und regelmäßige Hochwasserereignisse aus. Der Zustrom von Flusswasser ins Grundwasser (Infiltration) trägt aufgrund des hydraulischen Gradienten zur Kolmation bei. Umgekehrt kann Grundwasserzustrom in den Fluss (Exfiltration) das Interstitial spülen und die Dekolmation der Gewässersohle fördern. Es ist deshalb von einem dynamischen Wechselspiel zwischen der Ablagerung und der Resuspension und dem Abtransport von natürlicher Feinmaterialfracht auszugehen.

Auf Grund der hohen morphologischen und hydraulischen Dynamik ist in natürlichen, unbeeinflussten Fließgewässern - keine direkten oder indirekten anthropogen bedingten Feinmaterialeinträge von außen vorausgesetzt - allenfalls von einem geringen Grad der Kolmation auszugehen (Schälchli 2002). Naturgemäß bilden sich jedoch aufgrund des Abriebs und der Zurundung von größeren Geschieben und der Härte des Gesteins mit zunehmender Fließlänge immer mehr Feinmaterialien. Durch Verringerung der Fließgeschwindigkeit in den durch geringeres Gefälle geprägten Mittel- und Unterläufen setzen Sedimentationsprozesse ein, die zu einer Akkumulation von Feinmaterial im Flussbett führen können.

Unter natürlicher Kolmation wird, unter Berücksichtigung der geologischen Ausgangsverhältnisse, die Ablagerung von flusseigene oder ohne anthropogene Einfluss eingetragene mineralische und organische Feinmaterialien in das Lückensystem der Gewässersohle verstanden. Hierzu zählen auch natürliche

Versinterungs- und Verockerungsprozesse. Morphologie und Hydrodynamik des Fließgewässersystems erlauben Dekolmationsprozesse.

Anthropogene Einflüsse wie die Erhöhung des Feststoffeintrags durch punktförmige Einträge (Kläranlagen, industrielle Direkteinleiter, Mischwasserentlastung, Regenwasserkanal) und diffuse Einträge (Abschwemmung, Erosion - vor allem aus landwirtschaftlich genutzten Flächen - Dränung, Grundwasser, atmosphärische Direktdeposition) sowie Eingriffe in die Morphologie (Kanalisation, Begradigung, Errichtung von Querbauwerken) und Eingriffe in die Hydrologie (Wasserableitungen und Abflussschwall) führen zur Beschleunigung und räumlichen Ausbreitung von inneren und äußeren Kolmationsprozessen (Schälchli 1993, 2002; Gutknecht et al. 1998, Strohmeier et al. 2005; Christoffels 2013). Darüber hinaus werden Dekolmationsprozesse gestört oder verhindert, was zu einer vollständigen Versiegelung der Gewässersohle führen kann.

Unter unnatürlicher Kolmation wird die Ablagerung von direkt und indirekt anthropogen erzeugten, mineralischen und organischen Feinmaterialien - auf natürlichem und unnatürlichem Wege eingetragen - in das Lückensystem der Gewässersohle verstanden. In Folge der anthropogenen Einflüsse werden Dekolmationsprozesse gestört oder gänzlich verhindert.

Eine Differenzierung zwischen natürlicher und unnatürlicher Kolmation ist bei einer Ersteinschätzung des Kolmationszustandes in den bayerischen Fließgewässern im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung nicht möglich, wenn es sich nicht gerade um Versinterung oder Verockerung handelt.

Kolmationstypen (innere und äußere Kolmation)

Wenn Schwebstoffe durch Sedimentation und Infiltration des Oberflächenwassers in das Innere der Gewässersohle eindringen, dort ausfiltriert und abgelagert werden, so spricht man von innerer Kolmation. Es entsteht ein Kolmationshorizont (Schälchli 2002). Kohäsive Schwebstoffpartikel der Schluff- und Tonfraktion mit Korngrößen $\varnothing < 0,063$ mm verfestigen die Sohle und führen zu einer entscheidenden Verringerung der Durchlässigkeit. Reine Sandablagerungen sind als weniger anfällig einzuschätzen und führen zu einer vergleichsweise geringen Durchlässigkeitsabnahme (Schälchli 2002).

Entscheidende Einflussgrößen zur räumlichen und zeitlichen Entwicklung von inneren Kolmationsprozessen stellen die Fließgeschwindigkeit und Sohlenschubspannung, die Schwebstoffkonzentration, die Korngrößenverteilung des Sohlenmaterials, der hydraulische Gradient und die Wassertemperatur (Viskosität) dar (Banscher 1976; Beschta & Jackson 1979; Diplas & Parker 1992; Schälchli 1993, 2002; Gutknecht et al. 1998; Rosenberry & Pitlick 2009).

Bei der äußeren Kolmation handelt es sich um Ablagerungen von Schwebstoffen (Sand, Schluff, Ton, organisches Material) auf der Gewässersohle. Dabei kommt es zum Verfüllen des Lückensystems der Deckschicht und zur Überdeckung der Sohlenoberfläche (Schälchli 2002). Ein Prozess der meist im Anschluss an eine innere Kolmation auftritt. Während kohäsive Feinmaterialien der Schluff- und Tonfraktion mit Korngrößen $\varnothing < 0,063$ mm schlecht durchlässig sind und einen hohen Erosionswiderstand zeigen, sind

Sandablagerungen auf Grund ihrer noch guten Durchlässigkeit und schnellen Erodierbarkeit bei steigender Fließgeschwindigkeit bis zu einem gewissen Grad als weniger problematisch zu beurteilen (Schälchli 2002).

Äußere Kolmation spielt bei unbeeinflussten, Geschiebe führenden Fließgewässern eine untergeordnete Rolle (Schälchli 2002). Ein erhöhtes Auftreten von äußerer Kolmation kann durch hohe Feinmaterialeinträge von außen und in Flussbereichen mit niedriger Fließgeschwindigkeit und geringer Schleppspannung, insbesondere in aufgestauten Gewässerabschnitten beobachtet werden (Gutknecht et al. 1998; Schälchli 2002).

Zur Beurteilung der äußeren Kolmation genügt es nach Schälchli (2002), den Deckungsgrad der Sohle abzuschätzen und bei der Art der bedeckenden Feinmaterialien eine Unterscheidung zwischen Sand und feineren (kohäsiven) Sedimenten zu treffen.

Natürlicher Ablauf von Kolmation und Dekolmation

Hohe Infiltrationsraten von Oberflächenwasser in das Grundwasser führen dazu, dass die mitgeschleppte Feinmaterialfracht in den Interstitialraum gespült und dort auf Grund der hier stark reduzierten Fließgeschwindigkeit abgelagert wird. Der Ablauf einer inneren Kolmation an kiesigen Sohlen erfolgt nach Schälchli (1993) in etwa vier ineinander übergehenden Phasen. Dabei kommt es bei durchlässigen Gewässersohlen mit guter Durchströmung und hohen Sauerstoffkonzentrationen zu einer zunehmenden Verfüllung des Porenraumes und damit zur Entstehung eines Kolmationshorizontes. Während sich zunächst hauptsächlich gröbere Sande im Porenraum in geringen Tiefen verkeilen, nehmen die Korngrößen der abgelagerten Schwebstoffe infolge des immer enger werdenden Porenraumes zunehmend ab. Ab einem gewissen Grenzwert werden feine Tone und Schluff zwischen den Sandkörnern abgelagert, und es kommt zu einer deutlichen Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit der Gewässersohle. Ist die Sohle vollständig mit Feinmaterialien verfüllt, kann kein Austausch mehr zwischen Oberflächen- und Grundwasser stattfinden. Als Konsequenz der bereits verstopften Porenzwischenräume erfolgt die weitere Feinmaterialablagerung – vor allem begünstigt durch geringe Fließgeschwindigkeiten - auf der Deckschicht der Gewässersohle. Dieser Prozess führt zu einer äußeren Kolmation.

Kolmationshorizonte können auf Grund unterschiedlicher Prozesse wieder erodiert werden (Dekolmation), was einen Anstieg der hydraulischen Leitfähigkeit des hyporheischen Interstitials (wassergesättigtes Lückensystem unterhalb der Flusssohle und der Uferbereiche in dem sich Oberflächen- und Grundwasser vermischen, Schönborn & Risse-Buhl 2013) und damit einhergehend die (zumindest temporäre) Wiederherstellung der Funktionalität des Lückensystems zur Folge hat (Schälchli 1993; Niemann 2001). Eine Kolmation kann in sich abwechselnden Phasen von Kolmations- und Dekolmationsprozessen ablaufen, die als Kolmationsganglinie beschrieben werden. Diese kann durch den Verlauf der Sohlendurchlässigkeit, der abgelagerten Kolmationsmasse und dem Sickerwasservolumen charakterisiert werden (Schälchli 2002).

Dekolmationsvorgänge der Gewässersohle werden durch Zustrom von Grundwasser (Exfiltration), turbulente Resuspension infolge turbulenter Strömungen nahe der Sohle (Carling 1984) und Aufreißen der Deckschicht durch Hochwasserereignisse und großen

Sohlschubspannungen (Gutknecht et al. 1998; Schälchli 2002) hervorgerufen. Zudem können auch biogene Aktivitäten der Makro- und Meiofauna, wie die Beweidung (Grazing) oder Bioturbation (alle Transportprozesse von Tieren, die direkt oder indirekt die Sedimentmatrix beeinflussen; Kristensen et al. 2012) eine Rolle bei der Dekolmation spielen (Ibisch 2004). Allerdings führen selbst große Deckschicht aufreißende Hochwasserereignisse nicht unbedingt zu einer dauerhaft wirksamen Dekolmation (Thurmann & Zumbroich 2013). Oft kommt es zu einer erneuten Ablagerung von zuvor von der Sohle mobilisierten Feinmaterialien und anschließenden natürlichen oder - unter Umständen - unnatürlichen Kolmationsprozessen an einer anderen Stelle der Gewässersohle.

2.2 Biologische Auswirkungen von Kolmation auf den Lebensraum Interstitial

Innere Kolmation

Hydromorphologische Belastungen einer kolmatierten Gewässersohle führen zur Reduktion der hydraulischen Leitfähigkeit im Lückensystem des hyporheischen Interstitials und damit zur Verminderung von Austauschprozessen zwischen Oberflächen- und Grundwasser (Ibisch 2004). Dadurch werden neben der Puffer- und Filterfunktion des Interstitials (Niemann 2001; Ibisch 2004), vor allem auch dessen Funktion als Lebens-, Rückzugs- und Entwicklungsraum der Fauna beeinträchtigt (Schwoerbel 1961; Brunke & Gonser 1997; Sternecker 2013).

Das Makrozoobenthos stellt die Gesamtheit aller makroskopisch großen tierischen Organismen dar, die insbesondere im Porenraum des Interstitials leben. Für das gesamte Fließgewässerökosystem erfüllen die Organismen des Makrozoobenthos wichtige Funktionen, insbesondere als Nahrungsquelle für höhere Organismen wie Fische. Es bildet die arten- und individuenreichste Fauna von Gewässersystemen und ist oftmals sehr stark an bestimmte Habitatbedingungen angepasst (Strohmeier et al. 2005). Besonders die Abnahme des besiedelbaren Porenraumes infolge einer veränderten Substratzusammensetzung und einer reduzierten Nährstoff- und insbesondere Sauerstoffversorgung im Interstitial beeinträchtigt das Makrozoobenthos stark und führt zu großen Individuenverlusten und Verschiebungen des Artenspektrums bis hin zu Artverlusten (Schönborn 1992, Wood & Armitage 1997; Bo et al. 2007).

Für das Überleben von Juvenilstadien von Muscheln, beispielsweise der Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) oder Bachmuschel (*Unio crassus*), ist ein gut durchströmtes und mit Sauerstoff versorgtes Kieslückensystem unabdingbar. Zudem muss das Sohlsubstrat über mehrere Jahre stabil sein (Hochwald et al. 2012). Generell führen Feinmaterialablagerungen und instabile Sohlsubstrate zum Rückgang lithophiler Arten und begünstigen kosmopolitische Arten oder an mobiles Substrat angepasste Neozoen (Wood & Armitage 1997; Thurmann & Zumbroich 2013).

Auch für die Reproduktion kieslaichender Fische (z.B. Salmoniden) ist der verfügbare Lückenraum mit einer Durchströmung zur Sauerstoffzufuhr von entscheidender Bedeutung (Ingendahl 1999; Schälchli et al. 2002). Kolmatierte Kiessohlen verlieren auf Grund von Sauerstoffmangel und einer Verfüllung des Lückensystems ihre biologische Funktionalität als Laichplätze und Lebensräume zur Embryonal- und Larvalentwicklung von Fischen. Zudem

sind Fische, die sich von Organismen des Makrozoobenthos ernähren, in Gewässern mit kolmatierten Sohlen einer reduzierten Nahrungsverfügbarkeit ausgesetzt.

Äußere Kolmation

Feinmaterialablagerungen auf der Sohlenoberfläche führen zu einer Verfüllung der Zwischenräume der Deckschicht. Dadurch wird ebenfalls die Durchströmung und Sauerstoffzufuhr des Interstitials negativ beeinträchtigt. Für das Makrozoobenthos wird der Zugang in den Lückenraum des Interstitials erschwert (Schälchli 2002). Zusätzlich führen Feinmaterialablagerungen zu einer Homogenisierung der Substratzusammensetzung und auf Grund ihrer leichten Verfrachtbarkeit zu einer Abnahme der Stabilität der Gewässersohle. In der Folge kommt es zu einem Verlust der Habitatvariabilität, -qualität und -quantität für das Makrozoobenthos, insbesondere den Arten, die die Sohlenoberfläche als Lebensraum nutzen (Wood & Armitage 1997; Schälchli 2002).

2.3 Identifizierung von Fließgewässertypen ohne innere Kolmation

Innere Kolmation setzt voraus, dass ein „Gerüst“ an Grobsediment mit entsprechenden Porendurchmessern vorhanden ist, in das feinmaterialreiches Wasser eindringen kann. Die Durchlässigkeit von Substraten hängt von der Korngröße ab. Von Kies zu grobem Sand nimmt die Durchlässigkeit um den Faktor 10 bis 100 ab (Höfting 1989). Damit verringert sich auch die Fließgeschwindigkeit im Sediment. Daher ist davon auszugehen, dass bei Sedimenttypen, die grobsandig oder feiner sind, keine innere Kolmation auftreten kann, weil Feinmaterial aufgrund der sprunghaften Abnahme der Fließgeschwindigkeit an der Sedimentobergrenze abgelagert wird.

Die Grenze zwischen Grob- und Feinmaterial wird nach dem „Kartier- und Bewertungsverfahren Gewässerstruktur“ (LFW 2002a) bei einer Korngröße von 2 mm (Grenze Feinkies / Grobsand) angesetzt. Auch sonst hat sich dieser Wert bei Untersuchungen zur Kolmation durchgesetzt. Nach DIN EN ISO 14688-1 gehört Sand (Korngrößenbereich > 0,063 – 2,0 mm) noch zu den grobkörnigen Böden. Die Grenzkorngröße für Schwebstoffe in Fließgewässern liegt im Allgemeinen in Abhängigkeit von den hydraulischen Bedingungen bei 0,2 bis 0,7 mm, in Alpenflüssen bei 1,0 mm (BMLFUW 2008, S. 19).

Wie in den „Fließgewässerlandschaften in Bayern“ (LFW 2002b) beschrieben, lassen sich die Fließgewässer nach ihrem vorherrschenden Sedimenttyp einteilen, der naturgemäß von der geologischen Situation im Einzugsgebiet abhängt. Daher sollten neben dem direkten Umfeld der Fließgewässer auch die geologischen Gegebenheiten der Quellregion und die der Zuflüsse beachtet werden. Die Fließgewässertypen werden hinsichtlich ihres Geschiebes, der Bachbetten und der Geschiebeführung charakterisiert.

2.4 Leitbild

Grundlage für die Bewertung der Kolmation ist die Kenntnis über den naturgemäßen Zustand der Fließgewässersohle an ungestörten Gewässern. Als langfristige Bewertungsgrundlage beschreibt das Leitbild den heutigen potentiell natürlichen Zustand bzw. die Referenzbedingungen. Der heutige potentiell natürliche Gewässerzustand ist definiert als der

Zustand, der sich nach Aufgabe und Entnahme aller anthropogenen Nutzungen und Verbauungen in und am Gewässer und seiner Aue einstellen würde (LfU 2013; LANUV o.J.).

Die Beschreibung der „Fließgewässerlandschaften in Bayern“ (LFW 2002b) stellen auf Grund der darin enthaltenen Informationen (siehe Kapitel 2.3) die Leitbilder zur Ermittlung der Kolmation in den bayerischen Fließgewässern dar.

Es gilt zu beachten, dass anthropogene Nutzung und Verbauung von Fließgewässersystemen für oft schwer reversible Kolmationsprozesse der Gewässersohle verantwortlich sind. Punktförmige und diffuse Feinmaterialeinträge aus Landwirtschaft, Siedlung und Gewerbe/Industrie erhöhen den Feinmaterialanteil im Flusssystem und können somit sowohl zu innerer als auch äußerer Kolmation beitragen. Bestimmte Eingriffe in die Gewässermorphologie verändern die Fließdynamik, beispielsweise in staugeregelten Gewässerabschnitten, und begünstigen Sedimentationsprozesse. Dadurch werden ebenfalls innere und äußere Kolmationsprozesse gefördert. Eingriffe in die Gewässerhydrologie, beispielsweise Wasserableitungen, erschweren die Dekolmation der Sohle infolge von abnehmenden Hochwasserereignissen (Schälchli 1993, 2002; Gutknecht et al. 1998, Strohmeier et al. 2005; Christoffels 2013).

In ruhigeren Mittel- und Unterläufen naturnaher Gewässer kann durch Abrieb von Geschiebe oder durch natürliche, nicht anthropogen bedingte Feinmaterialeinträge, ebenfalls innere und äußere Kolmation auftreten. Regelmäßige Dekolmationsprozesse führen in nicht anthropogen beeinflussten Gewässern allerdings zur Säuberung des Interstitials. Dominieren Sohlsubstrate mit einer Korngröße von 2 mm oder kleiner (Feinmaterialien), so kann davon ausgegangen werden, dass keine innere Kolmation der Sohle möglich ist.

Langfristiges Ziel ist es, die Sohlsubstratzusammensetzung und Porosität der Sohle der bayerischen Fließgewässer möglichst nah in Richtung der jeweiligen Leitbilder zu entwickeln. Dabei nimmt der Aspekt der Wiederherstellung der Funktionalität des Interstitials, insbesondere als Lebens-, Rückzugs- und Entwicklungsraum der Fauna, eine zentrale Stellung ein.

3 Mit welchen Methoden kann die Kolmation im Rahmen der GSK erfasst werden?

In **Anlage 1** sind die Methoden zusammengestellt, die bei Felduntersuchungen zur Erfassung der Kolmation bereits angewandt wurden. Bei der Zusammenstellung wurden technisch aufwändige Verfahren wie Gewinnung von Sedimentkernen (Stechrohr, Freeze-core) nicht berücksichtigt. Die Methode 4, die für einen Strom eingesetzt wurde, ist auch technisch aufwändig, jedoch für diese Größenordnung die einzig sinnvolle Methode. Die Methoden 1 bis 3 und 5 wurden in Studien angewandt, die sich speziell mit Kolmation beschäftigten. Sie setzen voraus, dass die zu kartierenden Fließgewässer einsehbar und zumindest ufernah begehbar sind. Auch Methode 6, die einer Kartieranleitung für Schweizer Flüsse entstammt, setzt die (teilweise) Begehbarkeit voraus.

Bei der Kartierung mit den Methoden 1 bis 5 wird zwischen äußerer und innerer Kolmation unterschieden. Die äußere Kolmation wird dabei durch die Parameter (Deckungsgrad,

Mächtigkeit, Zusammensetzung, Mobilisierbarkeit) näher beschrieben. Eine Klassifizierung der äußeren Kolmation erfolgt bei Methode 2 (nach Deckungsgrad und Mächtigkeit) und 3 (Unterscheidung schwach bis stark).

Die Untersuchung der inneren Kolmation differenziert sich in den Methoden nach dem Grad der Wasserüberdeckung. Trockene Kiesbänke und Uferbereiche werden im Allgemeinen nach der Methode 1 (Schälchli) erfasst. Strohmeier (Methode 2) differenziert bei der Untersuchung zusätzlich zwischen seichtem und tieferem Wasser. Die Methoden 1 bis 3 und 5 orientieren sich bei der Bewertung an der Klassifizierung nach Schälchli (5 Stufen). Methode 6 verwendet eine dreistufige Einteilung.

Oft ist aufgrund einer schlecht einsehbaren Sohle eine Erfassung der Kolmation nicht möglich. In Abwandlung von Methode 4, die mit einer aufwändigen Videokartierung arbeitet, wird eine neue Methode hinsichtlich der Praktikabilität (siehe Kapitel 4) analysiert. In den letzten Jahren haben sich sog. endoskopische Kameras mit LED-Beleuchtung etabliert, die für die Inspektion von Rohren oder sonstigen schwer zugängliche Bereichen auch unter Wasser eingesetzt werden. Diese Kameras verfügen durch wasserdichte Übertragungskabel über einen Einsatzradius von mehr als 5 m bei einem Sondendurchmesser ab 4,5 mm. Manche Modelle verfügen über einen starren Sondenkopf mit seitlichem Ausblick, der einen gewissen Einblick auf und in Sedimente ermöglicht. Nachteilig ist der minimale Fokusierabstand, der eine entsprechende Präparierung der Sonden erfordert, damit sie auch innerhalb eines Sedimentkörpers eingesetzt werden können.

Tabelle 1 stellt die Untersuchungsmethoden zusammen, die sich aus dem Überblick über die beschriebenen Verfahren ergeben.

Tabelle 1: Mögliche Untersuchungsmethoden der inneren und äußeren Kolmation

Kolmationstyp	Methode	Hilfsmittel	Beschreibung
Innere Kolmation	Handprobe	-	Entnahme von Steinen aus der Sohle und Beurteilung des Verfüllungs- und Verfestigungsgrades
Innere Kolmation	Stiefelprobe oder Stocherprobe	Gummistiefel, oder Teleskopstab	Aufwirbeln des Sohlsubstrates, Beobachtung der Abdriftfahne und des Eindringwiderstandes als Maß für die Verfestigung
Innere Kolmation	Nagelprobe	Eisennagel (ca. 20 cm), Schnur	Nagel mit einem Winkel von ca. 30° etwa 15 cm eindrücken, Nagel gegen das Sediment ziehen, Beobachtung des Einsteckwiderstandes und des Kraftaufwandes zum Ziehen
Äußere Kolmation	Sichtprobe	Ggfs. Teleskopstab	Visuelle Abschätzung des Bedeckungsgrades, ggfs Aufwühlen des Bodenbelages
Äußere Kolmation, bedingt auch innere	Endoskopie	Endoskopie-Kamera, Teleskopstab	Visuelle Abschätzung des Bedeckungsgrades, Einführen in Sedimentkörper und visuelle Abschätzung des Verfüllungsgrades

3.1 Notwendige Erfassungsparameter

Die nachfolgend zusammengestellten Parameter (Tabelle 2) sind Voraussetzungen für die Beurteilung der Kolmation bzw. charakterisieren sie näher. Hierbei wird nach innerer und äußerer Kolmation unterschieden. Die Zusammenstellung geht von generellen Überlegungen aus, die sich aus den prozessualen Abläufen (Kapitel 2), den bereits angewandten

Kartierverfahren (Kapitel 3) und den im Folgenden genannten, limitierenden Randbedingungen der Gewässerstrukturkartierung ergeben:

- Zeitliche Einschränkung: Ausgehend von einer angestrebten Streckenleistung bei der Kartierung von ca. 3 bis 4 km / Tag ergeben sich pro 100-m-Abschnitt etwa 10 bis 15 Minuten für den Gesamtaufwand der Gewässerstrukturkartierung.
- Technische Hilfsmittel: Sollten sich auf tragbare, handliche Komponenten beschränken (Teleskopstab 5 m, ggfs. Endoskop-Kamera, Eisennagel)
- Persönliche Ausrüstung (Gummistiefel, Handschuhe): Durchführung von manuellen Untersuchungen im Gewässer orientieren sich an „Hand-Tiefe“ (max. 25 cm)
- Kartierung des Ist-Zustandes deutlich unter dem mittleren Wasserstand: Priorität hat der im Gelände erfasste Zustand vor Sekundärinformationen.

Tabelle 2: Erfassungsparameter zur Bewertung der inneren und äußeren Kolmation

	Parameter	Kolmationstyp	Erläuterung
Voraussetzung für oder Einfluss auf Kolmation	Sedimenttyp	Innere Kolmation	Wird in Parameter 0.4 der GSK erfasst; Grobsediment (> 2 mm) ist Voraussetzung, dass innere Kolmation auftreten kann.
	Sohlsubstrattyp	Innere Kolmation	Wird in Parameter 1.18 der GSK erfasst; Voraussetzung für innere Kolmation; Sohlsubstrat besteht aus Feinkies bis Steinen.
	Anbindung Grundwasser	Innere Kolmation	Wird durch Auswertung von Grundwasser- und Pegelständen erfasst; Bei Exfiltration (Grundwasser entwässert ins Fließgewässer) Kolmation weniger wahrscheinlich
	Sohlverbau	Innere und äußere Kolmation	Wird in Parameter 1.2 der GSK erfasst; Bei geschlossenem Sohlverbau oder Blockschüttung keine Kolmation
	Querbauwerke	Innere und äußere Kolmation	Wird in Parameter 1.4 der GSK erfasst; Querbauwerke beeinflussen die Fließgeschwindigkeit und damit das Sedimentationsverhalten
	Fließgeschwindigkeit	Äußere Kolmation	Wird in Parameter 1.5 der GSK erfasst; Schwebstoffe setzen sich zunehmend ab < 0,3 m/s (langsam fließend) ab
Erfassungsparameter	Verfüllungsgrad Interstitial	Innere Kolmation	Feinmaterialanteil im Porenraum des Interstitials; messbar durch Abdriftfahne oder Sichtprobe
	Verfestigungsgrad	Innere Kolmation	Je höher der Verfüllungsgrad und der Schluff- und Tonanteil im Porenraum des Interstitials, desto verfestigter das Sediment
	Streckenanteil	Innere und äußere Kolmation	Grad der Kolmation bezogen auf 100-m-Abschnitt (weniger als 50 %, 50 – 100 %)
	Mächtigkeit	Äußere Kolmation	Klassifizierung der Mächtigkeit (keine, dünner Film (<0,5 cm), Schichtdicke > 0,5 cm)
	Material	Äußere Kolmation	Art und Größe des Materials, das die Kolmation bildet (anorganisch / organisch, Korngröße)
Charakterisierung der Erfassung	Aussagekraft	Innere Kolmation	Signifikanz der Kolmationsbestimmung; Anzahl der Einzelmessungen
	Erfassbarkeit	Innere und äußere Kolmation	Zugänglichkeit des Fließgewässers für die Kolmationsbestimmung, Sichtverhältnisse, eingesetzte Methoden
	Relevanz	Innere und äußere Kolmation	Hinweise auf besondere Gründe für eine anschließende Detailuntersuchung

3.2 Begehbarkeit und Einsehbarkeit der Fließgewässer

Maßgeblich für den Ablauf einer Kartierung ist die direkte Zugänglichkeit (Begehbarkeit, Erreichbarkeit der Gewässersohle mittels Teleskopstab vom Ufer) und Einsehbarkeit der Fließgewässer. Tabelle 3 zeigt die sich daraus ergebenden Situationen sowie die dabei anwendbaren Erfassungsverfahren schematisch auf. Sie bilden die Diskussionsgrundlage dieser Untersuchung. In diesem Zusammenhang wird auch die Möglichkeit diskutiert, die visuelle Erfassung durch Endoskop-Kameras zu ergänzen.

Ziel der Kartierung ist es, ein repräsentatives Ergebnis für den gesamten 100-m-Abschnitt zu erreichen. In Abhängigkeit von der Sohlsubstratvielfalt (GSK 1.17) richtet sich die Auswahl geeigneter Bewertungspunkte nach der Häufigkeit einzelner Substrate im Kartierabschnitt und nicht nach der Begeh- und Einsehbarkeit einzelner Punkte (siehe auch Kapitel 4.4). Es sollte vermieden werden, von einer kleinen Stelle, die gerade gut begeh- oder einsehbar ist, auf den übrigen, nicht zugänglichen Abschnitt zu schließen. Ob ein Abschnittsanteil im Sinne des nachfolgenden Ablaufschemas als repräsentativ und begeh- bzw. einsehbar eingeschätzt werden kann, richtet sich nach den tatsächlichen örtlichen Gegebenheiten. Die im Folgenden genannten Einteilungskriterien können lediglich Anhaltswerte liefern.

Tabelle 3: Mögliche Erfassungsverfahren der Kolmation im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung (Unterteilung in Fallgruppen I – VI)

Gewässertyp	Begehbarkeit	Sohle gut einsehbar	Sohle schlecht einsehbar
Flach (< 0,25 m)	Begehbar	Fall I: Erfassung der Kolmation durch Sichtprobe, Stiefelprobe, Handprobe, Nagelprobe auch Stocherprobe	Fall IV: Erfassung der Kolmation durch Handprobe, Endoskopie
Schmal (< 10 m) und tief (> 0,25 m)	Nicht begehbar	Fall II: Erfassung der Kolmation durch Sichtprobe, Stocherprobe	Fall V: Erfassung der Kolmation durch Endoskopie
Breit (> 10 m) und tief (> 0,25 m)	Nicht begehbar	Fall III: Erfassung der Kolmation durch Sichtprobe	Fall VI: Erfassung der Kolmation ggfs. von Boot aus möglich, ggfs. Ableitung der Kolmation aus Sekundärinformationen

3.2.1 Begehbare Fließgewässer (Fall I und IV)

Die Zugänglichkeit liegt nicht nur am Gewässer selbst, sondern auch am Umfeld (z. B. hohe Böschungen, dichter Bewuchs). Ob das Gewässer betreten werden kann, ist nur vor Ort zu entscheiden. Auch die Abgrenzung zu den übrigen Fallgruppen stellt nur einen Richtwert dar. Es ist durchaus vorstellbar, dass bei großer Sohlsubstrat- und Strömungsvielfalt auch bei größeren Fließgewässern repräsentative Bereiche betreten werden können, die sich für eine Einschätzung der Kolmation eignen. Diese beiden Gruppen umfassen die Fälle, in denen nicht-visuelle Untersuchungsmethoden anwendbar sind.

Die Handprobe ist unabhängig von der Einsehbarkeit einsetzbar. Bei Entnahme von Steinen aus dem Sedimentkörper wird der Entnahmewiderstand als Maß für innere Kolmation festgestellt. Die Stiefel- und die Stocherprobe eignen sich im Fall I (gute Einsehbarkeit) zur

Bestimmung des Eindringwiderstandes und zur Beobachtung der Abdriffbahn. Der Eindringwiderstand kann auch bei schlechter Einsehbarkeit festgestellt werden. Er gibt ebenfalls Hinweise auf innere Kolmation.

Bisher wurden Endoskopie-Verfahren noch nicht für Sohluntersuchungen eingesetzt. Die dem Verfahren zugrundeliegende Idee und die technischen Möglichkeiten (siehe Kapitel 4.2.1) erscheinen vielversprechend. Mit dem Einsatz einer endoskopischen Kamera verbindet sich die berechtigte Hoffnung, dass aufgrund der kürzeren Distanz zum Sediment der Einfluss der Sichtverhältnisse geringer wird.

3.2.2 Schmale nicht begehbare Fließgewässer (Fall II und V)

Gemäß Kartieranleitung (LFW 2002a, S.14) ist für Fließgewässer unter 10 m Breite von einem kleineren Gewässer auszugehen. Setzt man die Einsetzbarkeit eines Teleskopstabs (z. B. Teleskopplatte zur Nivellierung, 5 m Länge) voraus, so lässt sich bis zu 50 % der Flussbreite erreichen. Ein derartiger Teleskopstab ist auch als Führungsstab für eine endoskopische Kamera verwendbar, so dass sich wegen der größeren Nähe zum Sediment auch im Fall V eine Beobachtungschance ergeben kann. Im Fall II kann ein Teleskopstab auch zur Prüfung der Sedimentfestigkeit und der Abdriffbahn verwendet werden (Stocherprobe).

3.2.3 Größere nicht begehbare Gewässer (Fall III und VI)

Mit zunehmender Gewässergröße, insbesondere bei größerer Tiefe ist die Sichtprobe der Sohle nicht mehr möglich. Auch wenn es sich um wenig trübes Wasser handelt, ist aufgrund der optischen Brechung bei breiteren Flüssen eine Sicht auf die Sohle nur ufernah möglich. Da nicht davon auszugehen ist, dass der Grad der Kolmatierung über die Breite und die Länge von Kartierabschnitten gleichverteilt ist, wird somit eine Abschätzung schwierig.

Bei diesem Gewässertyp kann es hilfreich sein, zusätzlich zu einer Kartierung vom Ufer aus eine Kartierung von einem Boot¹ aus zu unternehmen. Zu Bedenken ist dabei jedoch der erhöhte technische und personelle Aufwand. Unter diesen Umständen besteht durch den Einsatz einer Endoskopie-Kamera die Möglichkeit, die Beschaffenheit der Flusssohle näher zu untersuchen. Nur in sehr tiefen Gewässern (z. B. Bundeswasserstraße) stößt auch dieses Verfahren an seine Grenzen. In diesem Fall kann in Hinblick auf die Gewässersohle auf Daten von weiteren Quellen (Behörden, Kraftwerksbetreiber) zurückgegriffen werden. Da diese Daten nicht vor Ort erhoben werden können, kann die Kolmation im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung nicht erfasst werden.

¹ Wird in NRW für spezielle Fälle im Rahmen der GSK empfohlen (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2012) S. 18)

4 Aussagetiefe und Praktikabilität der unterschiedlichen Erfassungsmethoden

4.1 Zielsetzung der Kolmationserfassung

Die Gewässerstrukturkartierung umfasst pro 100-m-Abschnitt mehr als 25 Parameter. Dafür sind insgesamt ca. 10 bis 15 min vorgesehen. Davon ausgehend kann der Aufwand für die Erfassung der Kolmation nur im Bereich weniger Minuten liegen. Geht man weiter davon aus, dass die Kolmation in den Fließgewässern, in denen eine hohe Sohlsubstrat- und Strömungsvielfalt vorhanden ist, nicht gleich verteilt ist, ist eine repräsentative Auswahl eines Untersuchungspunktes entscheidend für die Aussagekraft.

Unter diesen Prämissen kann eine Untersuchung der Kolmation nur in einer „orientierenden“ Weise erfolgen. Ziel sollte es dabei sein, die Gewässerabschnitte so zu charakterisieren, dass sie in Hinsicht auf eine später geplante Untersuchung ausgewählt werden können. Gleichzeitig soll die Kolmation als weiterer Parameter in die Bewertung der Strukturausstattung eingehen. Bei allen dort verwendeten Parametern (Böschungsbewuchs, Sonderstrukturen, Strömungsvielfalt, Sohlsubstratvielfalt) wird ein dreistufiges Bewertungsverfahren angewandt (1, 4, 7). Die häufigste Zahl geht dann in die Bewertung der Strukturausstattung ein.

Da eine äußere Kolmation bei Grobsubstrat reichen Sedimenten im allgemeinen erst dann auftritt, wenn die innere Kolmation abgeschlossen ist, lässt dies einen Schluss auf die innere Kolmation zu, die dann nicht mehr extra untersucht zu werden braucht. Bei Feinmaterialtypen oder Torftypen kann nur eine äußere Kolmation (Schlammauflage³) auftreten.

Als Ergebnis der Kolmationsbewertung sehen wir folgende Stufeneinteilung (Tabelle 4) für sinnvoll an:

Tabelle 4: Vorläufige Bewertungsmatrix für innere und äußere Kolmation

Kolmation	Ausdehnung 0 – 50 %	Ausdehnung 50 – 100 %
Keine innere K. möglich (Feinmaterial, Torf)	X	X
Keine innere und äußere K. möglich (Sohle verbaut oder Blockschüttung)	X	X
Keine innere K.	1	1
Mäßige innere K.	1	4
ausgeprägte innere K.	4	7
äußere K. bei sonst mäßiger innerer K. ²	4	-
äußere ³ K. bei ausgeprägter innerer K. oder bei Feinmaterialtyp	7	7
Äußere Kolmation nicht erfassbar	X	X
Innere Kolmation nicht erfassbar	X	X

Zusätzlich zur Bewertungsmatrix ist es zweckmäßig, den Weg zu dieser Bewertung und weitere Detailangaben (siehe Kapitel 4.7) in einer nachrichtlichen Erfassung zu dokumentieren. Ausgehend von den in Kapitel 3.1 genannten Parametern werden im

² Die innere Kolmation ist nur Teilabschnitte vollständig und wird dort durch äußere Kolmation überdeckt (z. B. in Bereichen geringer Strömung). Im den übrigen Teilabschnitten nur mäßige innere K. Beispiel: Mäander mit ausgeprägtem Gleithang - Prallhang

³ Die äußere Kolmation erfolgt i.d.R. nach Abschluss der inneren Kolmation. Auch bei Feinmaterialtyp kann äußere Kolmation in Form einer Schlammauflage (feinste anorganische oder organische Partikel im Allgemeinen der Tonfraktion) vorkommen.

Folgenden Praktikabilität und Aussagekraft abgewogen, um so zu einer zweckmäßigen Erfassung zu gelangen.

4.2 Praktikabilität der Erfassungsmethoden

4.2.1 Sichtprobe

Äußere Kolmation

Die Möglichkeit der Erfassung durch die Sichtprobe hängt von der Fließgewässergeometrie, vom Abfluss, der Schwebstoffführung und auch von der Zugänglichkeit des Uferbereiches ab. Gerade Abfluss und Schwebstoffführung erfolgen dynamisch. Daher kann die Wahl des Kartierzeitpunktes einen entscheidenden Einfluss auf die Sichtverhältnisse haben. Nach Untersuchungen des Bundesamtes für Wasser und Geologie der Schweiz⁴ kann die Trübung bei gleichem Abfluss, der unter dem Mittelwasserabfluss liegt, um mehr als den Faktor 100 schwanken. „Die Geländearbeit kann grundsätzlich zu jeder Jahreszeit durchgeführt werden, sofern der Wasserstand deutlich unter dem Zentralwasserstand liegt.“ (LFW 2002a S. 17) Diese Vorgabe ist als erste Annäherung an die realen Verhältnisse zu beachten, sollte jedoch anhand der örtlichen Gegebenheiten überprüft werden.

Unter der Voraussetzung von guten Sichtverhältnissen auf die Sohle ist die Sichtprobe zur Abschätzung der äußeren Kolmation sehr gut einsetzbar. Das Ziel, die Intensität der äußeren Kolmation und das verursachende Material abzuschätzen, ist unter Zuhilfenahme eines Stabes oder ggfs. mit dem Stiefel zum Aufwirbeln der Bedeckungsschicht erreichbar.

Innere Kolmation

Zur Abschätzung der inneren Kolmation mit Hilfe der Stiefelprobe wird durch visuelle Erfassung die Abdriftfahne des Feinmaterials abgeschätzt.

Der Einsatz einer Endoskopie-Kamera, befestigt an einen Teleskopstab (5 m), eignet sich dann, wenn eine direkte Sicht auf die Gewässersohle nicht möglich ist. Damit werden die Möglichkeiten zur visuellen Erfassung auch auf tiefere, schlecht einsehbare und breite Gewässer (u.U. vom Boot aus) ausgedehnt. In gewissem Umfang ist damit auch ein Vordringen in das Sohlsubstrat möglich, da es Kameras gibt, die einen Durchmesser von 4,5 mm aufweisen. Damit kann man zumindest oberflächennah in ein Kieslückensystem vordringen. Nachteilig ist, dass damit ein erhöhter Trage- und Handlingaufwand (Akku-Betrieb, Feuchtigkeit, Positionierung der Sonde und gleichzeitig Beobachtung und Steuerung des Monitors) verbunden ist. Denkbar ist, dass die Einsatzmöglichkeit dieser Methode schon im Vorfeld abgeschätzt wird. So könnte die Gerätschaft gezielt mitgenommen werden, wenn entsprechende Flussabschnitte kartiert werden.

Fazit

Die Sichtprobe spielt bei der Beurteilung der äußeren und inneren Kolmation eine zentrale Rolle. Dass sie ohne Hilfsmittel auskommt, macht ihre Praktikabilität aus.

⁴ Bundesamt für Wasser und Geologie (2005) S. 48

4.2.2 Fotografische Erfassung und Mustervergleich

Die fotografische Erfassung dokumentiert den beobachteten Zustand in Hinsicht auf die äußere Kolmation. Sie ergänzt die Sichtprobe. Das Verfahren benötigt Einsicht auf die Gewässersohle. Spiegelungseffekte und Lichtbrechung können die Qualität schmälern. Das Foto lagerichtig zu archivieren, beansprucht zusätzlichen Zeitaufwand. Neue Erkenntnisse über die visuelle Erfassung hinaus lassen sich durch das Foto nicht gewinnen.

Grundsätzlich können Fotos der inneren Kolmation, wenn sie entsprechend am Gewässerrand aufgedeckt wurde, mit anderen typischen Bildern verglichen werden. Damit lässt sich im Zweifelsfall eine Beurteilung verifizieren. Zu bedenken ist jedoch der Zeitaufwand, der für diese Arbeit notwendig ist. Praktikabler ist es, wenn die Einstufung der Kolmation möglichst einfach ist, so dass es zu keinen Zweifelsfällen kommen kann.

4.2.3 Erfassung mit qualitativen Methoden

Die qualitativen Methoden, die über die Beobachtung hinausgehen, dienen zur Erfassung der inneren Kolmation. Diese ist mit rein visuellen Methoden nicht beobachtbar.

Handprobe (Entnahme von Steinen aus Sediment)

Diese Methode kann nur in Gewässern angewandt werden, die begehbar sind und die nur so tief sind, dass das Sediment mit der Hand erreicht werden kann. Alternativ kann die Methode auch an trockenen Stellen (nahe der Wasserlinie) angewendet werden. Diese Methode kommt ohne Hilfsmittel aus, ist jedoch zeitaufwändig. Eine Unterscheidung von drei Zuständen (leicht entnehmbar, spürbarer Widerstand, schwer entnehmbar) ist mit einer gewissen Übung machbar. Zu bedenken ist, dass die Kohäsion des Sediments unter und über Wasser unterschiedlich sein kann. Zudem ist das Material in den Zwischenräumen bei Probenahmestellen über der Wasserlinie sichtbar und bestimmbar.

Stiefel- oder Stocherprobe

Die Stiefelprobe setzt auch eine Begehbarkeit des Gewässers voraus. Hierbei werden zwei Phänomene beobachtet: Eindringwiderstand des Stiefels und Abdriffahne. Sie kann auch angewendet werden, wenn das Gewässer zu trüb ist, um die Sohle zu beobachten, wobei dann nur der Eindringwiderstand erfasst werden kann. Mittels Teleskopstab kann die Methode auch von außen durchgeführt werden (Stocherprobe), wodurch sie universaler (keine Beschränkung auf Stiefeltiefe) einsetzbar und schneller (keine Begehung nötig) wird.

Ein Teleskopstab (5 m) hat gegenüber einem einfachen Fluchtstab (2 m) den Vorteil, dass er eine wesentlich größere Reichweite besitzt. Zudem kann die Ausziehlänge meterweise variiert werden. Gemäß eigener Erfahrung kann auch mit einem 5 m ausgezogenen Stab zielgenau hantiert werden. Teleskopstäbe mit Maßeinteilung werden in der Vermessung eingesetzt (Nivellierlatte).

Nagelprobe

Diese Methode ist unter den gleichen Bedingungen wie die Handprobe anwendbar. Es wird sowohl der Einsteckwiderstand als auch die Kraft beurteilt, um das Sediment zu bewegen. Damit besitzt diese Methode eine höhere Aussagekraft als die Handprobe. Als Hilfsmittel ist ein 20 cm Nagel mit einer Schnur notwendig.

4.3 Aussagetiefe der unterschiedlichen Methoden

Im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung können keine quantitativen Verfahren zur Bestimmung der Kolmation angewandt werden. Daher beschränkt sich die Methodik auf qualitative Tests (innere Kolmation) und die Sichtprobe (äußere Kolmation). Um die Ergebnisse der unterschiedlichen Kartierer landesweit vergleichen zu können, ist es das Ziel, möglichst praktikable und dennoch aussagekräftige Methoden auszuarbeiten. Als ein Maß für die Aussagetiefe der Erfassungsmethoden (Kapitel 4.2) kann die Anzahl der Erfassungskriterien (z. B. Verfestigungsgrad und Abdriffahne) gelten, die bei einem Test erfassbar sind. Ein weiteres Gütekriterium für die Methode stellt die Eindringtiefe in das Interstitial dar, die mit der Erfassungsmethode erreicht werden kann.

In den ausgewerteten Untersuchungen zur Kolmation (**Anlage 1** und Kapitel 3) werden fünfstufige Bewertungsunterteilungen für die innere Kolmation verwendet. Diese Genauigkeit halten wir bei der Gewässerstrukturkartierung für nicht erreichbar. Sie würde eine detaillierte Schulung und Einweisung der Kartierer und einen höheren Zeitaufwand für die Untersuchung (Wiederholungen der Erfassung bei Unsicherheiten) erfordern, um vergleichbare Resultate zu erzielen. Zudem stellt sich die Frage, ob eine detaillierte Bewertung im Rahmen der Auswertung der Kartierung verwertet werden kann.

Folgende Tabelle (Tabelle 5) stellt die Aussagetiefe der unterschiedlichen Erfassungsmethoden gegenüber.

Tabelle 5: Aussagetiefe der unterschiedlichen Erfassungsmethoden

Anwendung	Methode	Besonderheit	Aussagetiefe
Innere K.	Handprobe	Beurteilung beschränkt sich auf die oberste Schicht (0 – 5 cm), ein Erfassungskriterium (Verfestigungsgrad), über Wasser auch Porenfüllung sichtbar, tiefere Kolmation nicht erfassbar	mittel
Innere K.	Stiefel- oder Stocherprobe	Beurteilung beschränkt sich auf die oberste Schicht (0 – 10 cm), zwei Erfassungskriterien (Eindringwiderstand, Abdriffahne)	Mittel - hoch
Innere K.	Nagelprobe	Beurteilung der Schicht 0 – 15 cm, zwei Erfassungskriterien (Eindrückwiderstand, Kraftaufwand, um Nagel zu bewegen)	Hoch
Innere K.	Endoskop	Beurteilung auch bei größerer Tiefe oder Trübe möglich, beschränkt sich auf die oberste Schicht (0 – 10 cm), zwei Erfassungskriterien (Eindringwiderstand, Sicht)	Hoch
Äußere K.	Sichtprobe	Beurteilung beschränkt sich auf einsehbare Gewässersohle, ein Erfassungskriterium (Sicht) ausreichend	Hoch

4.4 Anordnung und Dichte der Untersuchungsstellen

Ziel ist es, eine Aussage zum Kolmatierungsgrad innerhalb eines 100-m-Abschnittes zu erhalten. Da nicht davon auszugehen ist, dass innerhalb eines Abschnitts die Kolmation gleichmäßig ausgeprägt ist, muss auch die räumliche Verteilung erfasst werden. Eine Differenzierung in zwei Abstufungen (0 – 50 %, 50 – 100 %) stellt dabei eine praktikable Annäherung des Bewertungsmodells an die natürlichen Verhältnisse dar. Eine detailliertere Einschätzung der räumlichen Verteilung der Kolmation ist mit einem höheren Zeitaufwand verbunden. Da das Bewertungsmodell (Kapitel 4.1), auf das schlussendlich die Einstufung hinauslaufen soll, mit drei Stufen arbeitet, müsste eine räumlich differenziertere Einteilung wieder zusammengefasst werden.

Es stellt sich die Frage, ob Abschnitte, die weniger als 10 % des Kartierabschnittes ausmachen, mit erfasst werden oder ob dies zu einer Vortäuschung einer Genauigkeit führt, die einer statistischen Prüfung nicht standhalten würde. Es gibt Flussabschnitte, die nur punktuell Kiesbänke aufweisen (Strohmeier 2005). Auch wenn diese nur weniger als 10 % eines 100-m-Abschnitts ausmachen, können sie eine hohe ökologische Relevanz besitzen. Daher sollte aus unserer Sicht auch eine Bewertung von deutlich erkennbaren Kleinstrukturen erfolgen, auch wenn diese weniger als 10 % eines Abschnitts ausmachen.

Äußere Kolmation

Sobald sie festgestellt wird, ist davon auszugehen, dass die innere Kolmation bereits abgeschlossen ist bzw. innere Kolmation auf einer Gewässersohle aus Feinmaterial oder Torf nicht auftreten kann. Somit ist es in diesen Teilabschnitten nicht notwendig, die innere Kolmation zu erfassen. Äußere Kolmation lässt sich visuell gut detektieren, so weit es die Sichtverhältnisse erlauben. Tritt äußere Kolmation nur in Teilabschnitten auf, sollte der Grad der inneren Kolmation in den übrigen Teilbereichen untersucht werden.

Innere Kolmation

Je vielfältiger das Sohlsubstrat, die Geschiebeführung und die Strömung, umso differenzierter kann die innere Kolmation sein. Auch wenn sich die Untersuchung dabei auf kiesig, steinigtes Substrat beschränkt, sollten typische Bereiche der Gewässersohlen einzeln betrachtet werden. In diesem Fall eignet sich die schnell durchführbare Stocherprobe.

4.5 Simulation der Kolmation

Unter Simulation ist die Anwendung eines Modells zur Vorhersage bestimmter Parameter zu verstehen. Konkret stellt sich hier die Frage, ob sich der Grad der Kolmation aus bereits vorhandenen oder zu erhebenden sekundären Daten ableiten lässt. Die Kolmation wird in der Realität durch sehr komplexe, dynamische Prozesse beeinflusst. Eine direkte, deterministische Simulation ist daher nur mit einem hohen wissenschaftlichen Aufwand möglich, dessen Erfolg unseres Erachtens nach derzeitigem Stand der wissenschaftlichen Forschung nicht bewiesen ist. Einen anderen Weg geht die statistische Simulation, die über multivariate statistische Verfahren versucht, die Haupteinflussparameter herauszufiltern, um damit die Basis für eine statistische (regressive) Vorhersage zu bilden. Die Simulation wird dabei an der Vorhersagegenauigkeit gemessen, die durch konkrete Messungen verifiziert

werden muss (Modelleleichung). Auch hierfür sind umfangreiche Vorarbeiten zur Entwicklung eines Modells nötig. Die Aussicht, dass dieses Verfahren zielführend ist, ist jedoch deutlich größer als bei deterministischen Modellen.

Es stellt sich in Abwandlung der statistischen Simulation die Frage, ob eine Ergänzung von vorhandenen Daten (z. B. aus den Fließgewässerlandschaften in Bayern⁵) durch Expertenwissen und die Kombination mit bestimmten vor Ort festzustellenden Parametern zu einer Vorhersage hinsichtlich der Kolmation genutzt werden kann. Auch ein derartiges vereinfachtes Simulationsmodell müsste anhand von Kartiererergebnissen geeicht werden, um die Vorhersagegenauigkeit und damit die Praxistauglichkeit abschätzen zu können. Wie die Untersuchungen von Strohmeier et al. (2005) zeigen, lässt sich Kolmation kaum aus gewässerspezifischen oder geogenen Parameter ableiten, die das Gewässer und sein Einzugsgebiet charakterisieren. Ein entscheidender Parameter scheint der erosive Abtrag von landwirtschaftlichen Flächen zu sein, der direkt oder indirekt (Drainage, Gräben) in Gewässer gelangen kann. Selbst aus den Daten des Erosionsatlas ließen sich dafür nur unzureichende Prognosen ableiten. Dieser Untersuchungsansatz geht über den Rahmen der Gewässerstrukturkartierung hinaus. Aus unserer Sicht ist eine Simulation der Kolmation ohne umfangreiche Untersuchungen zur Modellbildung und Verifizierung kaum möglich. Der Grad der Vorhersagegüte lässt sich somit derzeit nicht abschätzen.

4.6 Diskussion und Bewertung der unterschiedlichen Methoden

Methoden zur Erfassung der inneren Kolmation

Endoskopie

Diese Methode bietet die Möglichkeit, die Kolmation auch in Gewässern zu kartieren, deren Sohle nicht einsehbar ist. Allerdings ist dafür ein erhöhter technischer Aufwand notwendig. Diese Methode wurde bisher für landesweite Praxiseinsätze zu wenig getestet, so dass sich daraus in der Kürze der Zeit bis zum Einsatz Unwägbarkeiten ergeben können. Wir empfehlen daher, diese Methode im Rahmen von Gewässerstrukturkartierungen nicht einzusetzen. Aufgrund ihrer vielversprechenden Vorzüge sollte das Verfahren zur Einsatzreife weiter entwickelt werden. Dann kann geprüft werden, ob es im Rahmen einer Detailuntersuchung eingesetzt werden kann.

Nagelprobe, Stiefelprobe und Handprobe

Diese Methoden können nur durchgeführt werden, wenn das Gewässer begehbar ist, was auch zeitaufwendig⁶ sein kann. Die Nagel- und Handprobe können nur durchgeführt werden, wenn die Gewässersohle per Hand erreichbar ist. Da es das Ziel sein sollte, möglichst den gesamten Kartierabschnitt repräsentativ zu untersuchen, kann es zu Fehleinschätzungen kommen, wenn nur die Stellen untersucht werden, die gut erreichbar sind.

Aufgrund des erhöhten Zeitaufwandes (Begehung des Gewässers) und der räumlichen Einschränkung (geringe Tiefe) sind diese Methoden nur bedingt empfehlenswert.

⁵ LfW 2002b

⁶ Die Begehung wird z.B. durch Böschungen und dichten Bewuchs am Ufer zeitaufwendig

Unter der Voraussetzung, dass Watstiefel zum Einsatz kommen, ist noch die Stiefelprobe am universellsten einsetzbar.

Abgewandelte Stiefelprobe: Stocherprobe

Nachteil dieser Methode ist, dass sie den Einsatz eines Teleskopstabes voraussetzt. Von Vorteil ist, dass sie vom Ufer aus durchführbar ist und damit schneller ausgeführt werden kann als die Stiefelprobe. Hinsichtlich der Aussagekraft ist sie mit der Stiefelprobe vergleichbar. Aufgrund der schnell ausführbaren Untersuchung kann sie auch mehrmals innerhalb eines Kartierabschnittes eingesetzt werden, wenn dies aufgrund der Sohlsubstratvielfalt geboten ist. Die Stocherprobe ist eingeschränkt auch dann einsetzbar, wenn die Gewässersohle nicht einsehbar ist. Dann ist zwar die Abdriffbahn nicht zu beobachten, jedoch kann als Hinweis auf die innere Kolmation der Verfestigungsgrad anhand des Kraftaufwandes zum Bewegen des Sohlsubstrates (siehe Kapitel 5) geschätzt werden.

Insgesamt betrachtet ist daher die Stocherprobe die Methode mit der höchsten Praktikabilität für die Untersuchung der inneren Kolmation. Die Aussagetiefe ist mit den übrigen in Frage kommenden Verfahren vergleichbar. Daher ist sie für den Einsatz bei der Gewässerstrukturkartierung zu empfehlen. Sollte auf den Einsatz eines Teleskopstabes verzichtet werden, empfiehlt sich die Stiefelprobe. Die Ergebnisse der beiden Untersuchungsmethoden sind miteinander vergleichbar.

Methoden zur Erfassung der äußeren Kolmation

Sichtprobe

Die äußere Kolmation kann mittels Sichtprobe beurteilt werden, wobei ggfs. ergänzend auf einen Teleskopstab zum Aufwirbeln der Ablagerungen zurückgegriffen werden kann. Diese Methode ist dort anwendbar, wo die Gewässersohle einsehbar ist.

4.7 Fazit: Erfassungskonzept für die GSK

Als Ergebnis der Prüfung der Praktikabilität und der Aussagekraft der unterschiedlichen denkbaren und bereits eingesetzten Erfassungsmethoden lässt sich nachfolgendes Erfassungsschema ableiten. Dabei wird von der Verfügbarkeit eines Teleskopstabes (5 m) ausgegangen:

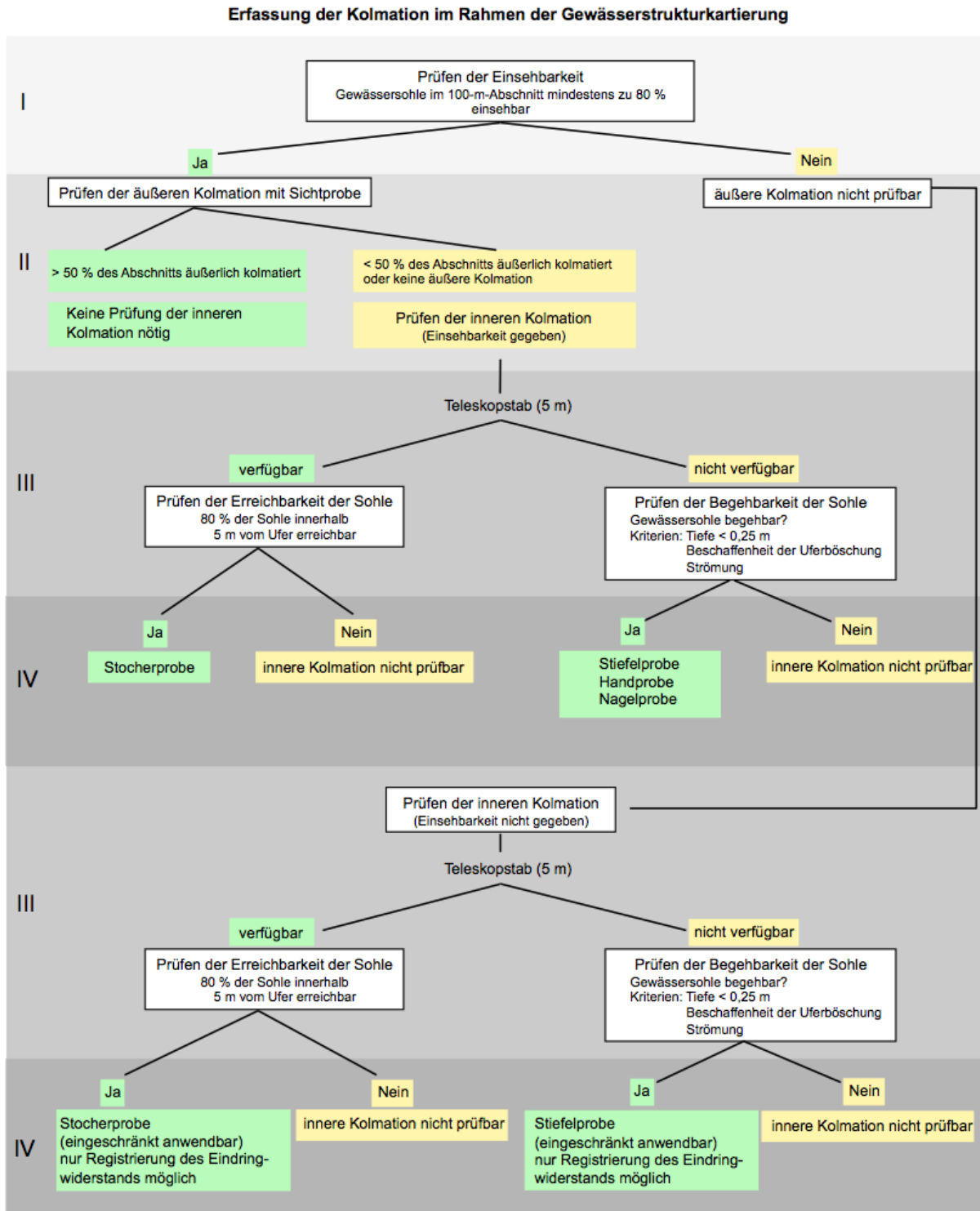


Abbildung 1: Vorgehensweise zur Kartierung der inneren und äußeren Kolmation. Die vier Entscheidungsebenen sind in unterschiedlichen Grautönen hinterlegt und römisch beziffert. Es wird von der Verfügbarkeit eines Teleskopstabes (5 m) ausgegangen.

5 Erhebungsbogen und Kartieranleitung

5.1 Parameter für den Erhebungsbogen

Bei der Erfassung der Kolmation sind die in Tabelle 6 genannten Voraussetzungen zu berücksichtigen, bei denen Kolmation auftreten kann. Zugleich sind wichtige Einflussgrößen, die sich auf die Kolmation auswirken können, genannt.

Tabelle 6: Relevante Parameter und deren Einflüsse zur Erfassung und Beurteilung der Kolmation

Relevante Parameter zur Erfassung und Beurteilung der Kolmation		Punkt in GSK
Sedimenttyp:	innere Kolmation nur bei Grobsediment	GSK 0.4
Sohlsubstrattyp:	innere Kolmation nur bei Feinkies – Steine – (Blöcke)	GSK 1.18
Sohlverbau:	bei geschlossenem Sohlverbau oder Blockschüttung sowie Verrohrung keine Kolmation	GSK 1.2
Fließgeschwindigkeit:	beeinflusst Sedimentation und Kolmation	GSK 1.5
Querbauwerke:	beeinflussen Fließgeschwindigkeit	GSK 1.4
Anbindung Grundwasser:	Exfiltration erschwert innere Kolmation	

Um die Kolmation kartieren zu können, empfiehlt es sich, unter Berücksichtigung der Einsehbarkeit und Begehbarkeit eine Erfassung nach dem Erfassungsschema in Abbildung 1 vorzunehmen. Das Ergebnis der Bewertung wird gemäß nachfolgender Tabelle 7 dokumentiert⁷.

Tabelle 7: Bewertungsmatrix für innere und äußere Kolmation. Querverweise zum Bildmaterial in Klammern.

Ausprägung der Kolmation	Erläuterung	Bewertungs klasse (für 100-m- Abschnitt) Ausdehnung 0 - 50 %	Bewertungs klasse (für 100-m- Abschnitt) Ausdehnung 50 - 100 %
keine innere Kolmation möglich	Es herrschen Feinmateriale oder Torf in der Sohle vor (Feinmaterialtyp).	X	X
keine innere und äußere Kolmation möglich	Die Sohle ist undurchlässig verbaut. Es herrschen Blöcke, Felsen oder Blockschüttung vor.	X	X
keine innere und äußere Kolmation (keine Kolmation)	Grobsediment locker, beim Aufwühlen kaum abdriftende Feinmateriale	1	1
mäßige innere Kolmation (mäßige innere Kolmation)	Grobsediment spürbar verfestigt, beim Aufwühlen deutlich sichtbare Abdriftfahne	1	4
ausgeprägte innere Kolmation. (ausgeprägte innere Kolmation)	Grobsediment lässt sich nur mit erhöhtem Kraftaufwand entnehmen, beim Aufwühlen lang anhaltende Abdriftfahne, Aufwühlen mit erhöhtem Kraftaufwand verbunden	4	7
äußere Kolmation bei sonst mäßiger innerer Kolmation	Die innere Kolmation ist nur Teilabschnitte vollständig und wird dort durch äußere Kolmation überdeckt (z. B. in Bereichen geringer Strömung). In den übrigen Teilabschnitten nur mäßige innere K. Beispiel: Mäander mit ausgeprägtem Gleithang - Prallhang	4	-
äußere Kolmation bei ausgeprägter innerer Kolmation oder bei Feinmaterialtyp (äußere Kolmation)	Die äußere Kolmation erfolgt i.d.R. nach Abschluss der inneren Kolmation. Auch bei Feinmaterialtyp kann äußere Kolmation in Form einer Schlammauflage (feinste anorganische oder organische Partikel im Allgemeinen der Tonfraktion) vorkommen.	7	7
äußere Kolmation nicht erfassbar	Einsehbarkeit nicht gegeben	X	X
innere Kolmation nicht erfassbar	Einsehbarkeit und / oder Begehbarkeit nicht gegeben	X	X

⁷ Die Bewertungsstufen richten sich nach den Bewertungsstufen der Strukturausstattung (LfW 2002a).

Neben der Bewertung schlagen wir vor, in einer nachrichtlichen Angabe weitere Charakterisierungen des Kartierabschnittes (Tabelle 8) und der angewandten Erfassungsmethode (Tabelle 9) zu dokumentieren. Um doppelte Eingaben zu ersparen, können bei der Erfassung der Daten die Zustände „Nicht einsehbar und keine vorhanden“ zur Charakterisierung der äußeren Kolmation mit Tabelle 7 verknüpft werden. Es sollte jedoch sichergestellt werden, dass bei Auftreten einer äußeren Kolmation nachrichtliche Detailangaben zur Ausprägung dokumentiert werden.

Tabelle 8: Nachrichtliche Angaben zur äußeren Kolmation (Streckencharakterisierung)

Parameter	Zustand	0 – 50 %	50 – 100 %
Ausprägung der äußeren Kolmation	Nicht einsehbar		
	Keine vorhanden		
	Dünnere Film		
	Schicht > 0,5 cm		
Vorherrschende Korngröße und Zusammensetzung der äußeren Kolmationsschicht	Anorganisch - Ton / Schluff / Ocker		
	Anorganisch – Sand		
	Organisch – Schlamm, Detritus		

Tabelle 9: Detailangaben zur Kolmationserfassung (nachrichtlich)

Parameter	Details	0 – 100 %
Anzahl der Untersuchungsstellen innere Kolmation	0	
	1	
	2 – 5	
	6 und mehr	
Erfassungsmethode innere Kolmation	Nicht erfassbar	
	Stocheprobe	
	Stiefelprobe	
	Handprobe	
	Nagelprobe	
Erfassungsmethode äußere Kolmation	Nicht erfassbar	
	Sichtprobe	
Besondere Relevanz der Kolmation (Mehrfachnennung möglich)	Keine besondere Relevanz	
	Potentiell Kieslaichgewässer	
	Potentiell Muschelhabitat	
	Starker Feinmaterialeintrag (z. B. an Zufluss oder Schwemmfächer) sichtbar	

5.2 Kartieranleitung

5.2.1 Erläuterungen zum Erhebungsbogen

Da die Parameter Sedimenttyp, Sohlsubstrattyp und Sohlverbau bestimmte Voraussetzungen für die Ausprägung der Kolmation beinhalten, sollte sichergestellt sein, dass diese bei der Gewässerstrukturkartierung vor der Kolmation kartiert werden. Zur Erleichterung der Kartierung erscheint es sinnvoll, in Abhängigkeit der Ergebnisse der o.g. Parameter die Eingabe in die Bewertungsmatrix (Tabelle 7) durch Vorgaben (logische Abhängigkeiten) zu steuern. Beispielsweise kann keine innere Kolmation bei einem Feinmaterialtyp auftreten. Die Felder zur Bewertung der inneren Kolmation können dann unzugänglich gemacht werden. Eine Erleichterung für den Kartierer ergibt sich auch, wenn im Falle der nicht möglichen Erfassung der Kolmation die nachrichtlichen Angaben in Tabelle 8 und Tabelle 9 automatisch eingetragen werden.

Die Wahl einer geeigneten Erfassungsmethode obliegt aufgrund der in Kap. 4 diskutierten Einschränkungen (Einsehbarkeit, Begehbarkeit) dem Kartierer. Im Ablaufschema (Abbildung 1) die Vorgehensweise zur Wahl einer geeigneten Methode in Abhängigkeit der gewässerspezifischen Gegebenheiten dargelegt. Ziel ist es, dass trotz der unterschiedlichen Methoden eine nachvollziehbare Bewertung der Kolmation erfolgt.

Äußere Kolmation

Da äußere Kolmation bei Grobsedimenten in der Regel nur bei vollständiger innerer Kolmation auftritt, ist im Umkehrschluss davon auszugehen, dass bei fehlender innerer Kolmation auch keine äußere Kolmation auftritt. Daher wurden bei Grobsedimenttypen die Bewertung zu „keine innere und äußere Kolmation“ zusammengefasst. Tritt nur abschnittsweise eine äußere Kolmation auf, wie es beispielsweise bei Gleit- und Prallhängen der Fall sein kann, wird diese im Bewertungspunkt „äußere Kolmation bei sonst mäßiger innerer Kolmation“ abgebildet. Bei Feinmaterialtypen kann nur äußere Kolmation auftreten. Die Bewertung wird dann zusammen mit den Grobsedimenttypen vorgenommen (Tabelle 7).

In den nachrichtlichen Angaben zur Charakterisierung der äußeren Kolmation (Tabelle 8) werden Detailangaben zur Ausprägung der äußeren Kolmation erhoben. Hierbei sollte es durch Steuerung der Eingaben ermöglicht werden, für einen 100-m-Abschnitt zwei Angaben in der Spalte 0 – 50 %, die somit den gesamten Abschnitt charakterisieren, oder eine Angabe in der Spalte 50 – 100 % zuzulassen.

Innere Kolmation

Die innere Kolmation kann nur durch Erfassungsmethoden bewertet werden, die ins Innere des Interstitials vordringen. Wie in Kapitel 4.3 dargestellt, eignen sich dafür im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung vier Untersuchungsmethoden (Stiefelprobe, Stocherprobe, Handprobe, Nagelprobe) in Abhängigkeit von der Einsehbarkeit und Begehbarkeit des Gewässers. Die Erfassung der inneren Kolmation ist im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung (siehe Kapitel 4.1) in drei Ausprägungen (keine, mäßige, ausgeprägte) vorgesehen. Nachfolgende Tabelle 10 stellt die Unterscheidungskriterien zusammen, um von den einzelnen Untersuchungsmethoden auf die Bewertung der inneren Kolmation schließen zu können.

Tabelle 10: Ableitung der Bewertung der inneren Kolmation

Methoden	Einsehbarkeit	Befund	Bewertung
Stiefelprobe/ Stoßerprobe	gut	Feinsediment sichtbar	Keine innere Kolmation möglich
	gut	Grobsediment locker, Eindringwiderstand gering, beim Aufwühlen kaum abdriftende Feinsedimente	Keine innere Kolmation
	gut	Grobsediment etwas verfestigt, Eindringwiderstand deutlich spürbar, beim Aufwühlen deutlich sichtbare Abdriftfahne	Mäßige innere Kolmation
	gut	Grobsediment stark verfestigt, kaum Eindringen des Stiefels oder Stabs möglich, beim Aufwühlen lang anhaltende, starke Abdriftfahne	Ausgeprägte innere Kolmation
	schlecht	Feinsediment spürbar, Stiefel oder Stab versinken leicht,	Keine innere Kolmation möglich
	schlecht	Grobsediment spürbar, locker, Eindringwiderstand gering	Keine innere Kolmation
	schlecht	Grobsediment spürbar, etwas verfestigt, Eindringwiderstand deutlich spürbar	Mäßige innere Kolmation
	schlecht	Grobsediment stark verfestigt, kaum Eindringen des Stiefels oder Stabs möglich	Ausgeprägte innere Kolmation
Handprobe	gut	Steine leicht aus der Sohle entnehmbar, kaum Feinsediment in den Lücken sichtbar	Keine innere Kolmation
	gut	Steine nur mit spürbarem Widerstand entnehmbar, deutliche Mengen an Feinsediment in den Lücken sichtbar	Mäßige innere Kolmation
	gut	Steine nur schwer entnehmbar, Anhaftungen von Feinsediment, Lückensystem gefüllt	Ausgeprägte innere Kolmation
Nagelprobe	gut	Nagel lässt sich leicht eindrücken, beim Gerade-Ziehen nur geringer Widerstand	Keine innere Kolmation
	gut	Nagel lässt sich nur mit Kraftaufwand jedoch bis 15 cm eindrücken, beim Gerade-Ziehen deutlicher Kraftaufwand nötig	Mäßige innere Kolmation
	gut	Nagel lässt sich nicht ohne Hilfsmittel bis 15 cm eindrücken, beim Gerade-Ziehen hoher Kraftaufwand nötig, Abdriftfahne zu beobachten	Ausgeprägte innere Kolmation

5.2.2 Arbeiten, die vorab im Büro durchführbar sind

Zur Bestimmung des Sedimenttyps können die Fließgewässerlandschaften in Bayern (LFW 2002b) ausgewertet werden. Zusätzliche Informationen dazu lassen sich aus geologischen Karten, die im Internet⁸ verfügbar sind, gewinnen. Informationen zur Anbindung des Grundwassers an das Fließgewässer können aus Grundwassergleichenplänen, aus Grundwasserständen, aus hydrogeologischen Karten ggfs. auch aus topografischen⁹ und historischen Karten sowie Luftbildern¹⁰ gewonnen werden. Mögliche Quellen sind in erster Linie die zuständigen Wasserwirtschaftsämter. Ggfs. liegen auch bei den Wasserversorgern und Gemeinden Informationen zur Anbindung des Grundwassers vor. Deutliche Indizien für eine innere Kolmation bestehen in Abschnitten mit Gewinnung von Uferfiltrat.

⁸ Als WMS-Layer abrufbar: http://www.bis.bayern.de/wms/lfu/gk25_wms?

⁹ Sie enthalten Angaben zu Quellen und auch Vernässungszonen im Auenbereich.

¹⁰ Hinweise auf Vernässungszonen liefern die Nutzungsformen und die Vegetation.

Hinsichtlich der Einsehbarkeit, der Begehbarkeit und der Gewässergröße liefern Luftbilder erste Hinweise, die beispielsweise mit dem „BayernAtlas-plus“¹¹ in ausreichender Auflösung betrachtet werden können.

5.2.3 Literatur zur Kolmation

Zum vertieften Verständnis der Kolmation und der Kartierung im Rahmen von Detailstudien oder Praxisanwendungen sind folgende Literaturhinweise für Kartierer zu empfehlen. Im Bericht von Schälchli (2002) befinden sich auch umfangreiche fotografische Darstellungen der unterschiedlichen Kolmationsstufen bei kiesigen Gewässersohlen.

Bundesamt für Umwelt (BAFU, Schweiz) (Hrsg.) (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer Äusserer Aspekt. URL: <http://www.modul-stufen-konzept.ch/download/aspekt-d.pdf> (letzter Aufruf 24.04.2014)

Schälchli, U. (2002): Kolmation – Methoden zur Erkennung und Bewertung. Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Zürich.

Strohmeier, P., Bruckner, G., Schlumprecht, H., Strätz, C. (2005): Untersuchungen über das Ausmaß und die Herkunft der Verschlammung, Versandung und Kolmation des Gewässerbodens in ausgewählten Fließgewässern in den oberfränkischen Einzugsgebieten des Mains und der Elbe. Bezirksfischereiverb. Oberfranken e.V.

5.3 Hinweise zur Organisation der Erfassung der Kolmation

Die Kartierung der Kolmation findet im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung statt. Gemäß des „Kartier- und Bewertungsverfahren Gewässerstruktur“ (LfU 2002b) ist bisher für keinen Parameter eine Anwendung von Untersuchungsmethoden vorgesehen, die über eine Sichtprobe¹² hinausgeht. Die Anwendung der Erfassungsmethoden der Kolmation setzt ein Mindestmaß an persönlicher Ausrüstung voraus, das mitgeführt werden muss:

- Gummistiefel, Schafthöhe deutlich über 25 cm
- Gummihandschuhe mit Stulpenlänge über 25 cm
- Teleskopstab (5 m) (wünschenswert)
- Nagel 20cm mit Schnur (optional)

Zu bedenken ist auch, dass ggfs. mit den Händen Arbeiten unter Wasser auszuführen sind. Dies führt allein schon beim An- und Ausziehen von Handschuhen zu erhöhter Nässeeinwirkung. Daher ist zur notwendigen Bedienung von elektronischen Eingabegeräten oder Fotoapparat zu empfehlen, dass die Möglichkeit vorgehalten wird, die Hände zu trocknen.

Aus unserer Sicht ist es nicht zu empfehlen, die Erfassungstabletts bei der Begehung von Fließgewässern mit sich zu führen, da dabei die Gefahr besteht, dass die Geräte ins Wasser gelangen.

¹¹ BayernAtlas-plus aufrufbar von der Internetseite der Bayerischen Vermessungsverwaltung, Unterseite Geodatenonline, URL: <https://geoportal.bayern.de/geodatenonline/>

¹² Dazu zählt auch das Messen mit einem Meterstab.

Aus Sicht der Unfallverhütung ist jeder Kartierer darauf hinzuweisen, dass er bei der Begehung von Fließgewässern auf eigene Gefahr handelt. Nur er selbst kann einschätzen, ob eine Begehung für ihn möglich ist.

Es empfiehlt sich, im Rahmen einer Musterkartierung an verschiedenen Gewässertypen festzustellen, welcher durchschnittliche Zeitaufwand für die Erfassung der inneren und äußeren Kolmation nach den hier vorgeschlagenen Verfahren zu veranschlagen ist.

5.4 Schulung der Kartierer

Erfolgt eine Schulung der Kartierer im Rahmen der GSK so sollten hierbei auch die fachlichen und praktischen Hintergründe für die Ansprache, Erfassung und Bewertung der Kolmation behandelt werden. Dabei ist es wichtig, eine Vernetzung zwischen der Erfassung von Parametern, die bisher nur der Beschreibung der Gewässerstruktur dienen, und der Entstehung der Kolmation herzustellen. Bereits die Kartierung von Parametern wie Sedimenttyp (Pkt. 0.4 der GSK), Sohlverbau (Pkt. 1.2 der GSK), Querbauwerke (Pkt. 1.4 der GSK), Strömungsbild (Pkt. 1.5 der GSK), Ufererosion (Pkt. 1.12 der GSK) Sohlsubstrat (Pkt. 1.18 und 1.19 der GSK), Nutzungstyp Aue (Pkt. 2.4 der GSK) oder Nutzungsart Uferstreifen (Pkt. 2.5 der GSK) geben wichtige Hinweise zum möglichen Auftreten der Kolmation. Speziell hinsichtlich der Kolmation sollte im Rahmen dieser Veranstaltung geschult werden:

- Auswertung von Unterlagen auf Hinweise zur Kolmation (z. B. Grundwasseranbindung)
- Abgrenzen nicht kolmatierter von kolmatierten Gewässern - Erkennung der äußeren Kolmation
- Handhaben der Erfassungsmethoden, insbesondere zum Bestimmen der inneren Kolmation
- Abschätzen der Ausprägung der Kolmation und der Abschnittshäufigkeit

6 Ausblick

Wir empfehlen, die Erfassungsmethoden zur Kolmation einem Praxistest an unterschiedlichen Typen von Fließgewässern in unterschiedlichen Regionen zu unterziehen. Bisher liegen zu einer flächendeckenden Erfassung der Kolmation unter den Bedingungen der Gewässerstrukturkartierung kaum praktische Erfahrungen vor. Insbesondere sollte dabei ein Augenmerk auf Optimierungsmöglichkeiten gelegt werden. Ein Ziel dieses Praxistests sollte es auch sein, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse unterschiedlicher Kartierer zu überprüfen.

Aus unserer Sicht stellt die für die Gewässerstrukturkartierung zurückgestellte Methode der Endoskopie eine vielversprechende Perspektive dar. In Hinsicht auf spätere detailliertere Untersuchungen oder auf die umfassendere Einsatzmöglichkeit bietet die Endoskopie gute Ansätze. Wir schlagen vor, diese Methode z. B. im Rahmen einer universitären Studie (Masterarbeit oder Promotion) genauer zu erforschen und die Einsatzmöglichkeiten zur Erfassung von Kolmation zu erkunden.

7 Literatur

- Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG, Schweiz) (Hrsg.) (2005): Feststoffbeobachtung in der Schweiz, Bericht Nr. 8, Bern
- BMLFUW - Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2008): Schwebstoffe in Fließgewässern, Wien
- Banscher, E. (1976): Gesetzmäßigkeiten der Kolmationsentwicklung. Wasserwirtschaft, Wassertechnik, 9, S. 320-323.
- Beschta, R. L., Jackson, W. L. (1979): The Intrusion of Fine Sediments into a stable gravel bed. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 36, Nr. 2, S. 204-210.
- Bo, T., Fenoglio, S., Malacarne, G., Pession, M., Sgariboldi, F. (2007): Effects of clogging on stream macroinvertebrates: An experimental approach. Limnologica 37, S. 186-192.
- Brunke, M., Gonser, T. (1997): The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. Freshwater Biology, 37, S. 1-33.
- Carling, P. A. (1984): Deposition of fine and coarse sand in an open work gravel bed. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41, Nr. 2, S. 263- 270.
- Christoffels, E. (2013): Bedeutung der Bodenerosion für Fließgewässer. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2013 (6), Nr. 10
- Diplas, P., Parker, G. (1992): Deposition and removal of fines in gravel-bed streams. Dynamics of gravel-bed rivers, S. 313-329.
- DVWK - Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (1997): Wasserwirtschaftliche Bedeutung der Festlegung und Freisetzung von Nährstoffen durch Sedimente in Fließgewässern. Schriften des DVWK 115.
- Graham, A. A. (1990): Siltation of stone-surface periphyton in rivers by clay-sized particles from low concentrations in suspension. Hydrobiologia, 199, S. 107-115.
- Gutknecht, D., Blaschke, A. P., Schmalfuß, R., Sengschmitt, D., Steiner, K., Reichel, K., Feregnyazy, H., Herndl, G., Battin, T., Dreher, J. (1998): Kolmationsprozesse am Beispiel des Stauraumes Freudenaus. Schriftenreihe Forschung im Verbund, 44.
- Hochwald, S., Gum, B., Rudolph, B.-U., Sachteleben, J. (2012): Leitfaden Bachmuschelschutz. Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- Hölting Bernward (1989): Hydrogeologie Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 3. Auflage, Stuttgart, S. 102
- Ibisch, R. (2004): Biogene Steuerung ökologischer Systemeigenschaften des hyporheischen Interstitials der Lahn (Hessen). Dissertation, Universität Dresden.
- Ingendahl, D. (1999): Der Reproduktionserfolg von Meerforelle und Lachs in Korrelation zu den Milieubedingungen des hyporheischen Interstitials. Dissertation, Universität Köln. Hundt Druck GmbH, Köln, S. 159.
- Kristensen, E., Penha-Lopes, G., Delefosse, M., Valdemarsen, T. B., Quintana, C. O., Banta, G. T. (2012): What is bioturbation? The need for a precise definition for fauna in aquatic sciences. Marine Ecology-Progress Series, 446, 285-302.
- LANUV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) ohne Jahr: Handbuch zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern, URL: http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/sondersam/handbnatur/hbnatur2_Bd.pdf (letzter Aufruf 14.05.2014)
- LANUV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2012): Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer, URL:

- <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/arbeitsblatt/arbla18/arbla18.pdf> (letzter Aufruf 27.04.2014)
- LfU - Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2013): Gewässerentwicklungskonzepte (GEK). Merkblatt Nr. 5.1/3, Augsburg
- LfW - Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2002a): Kartier- und Bewertungsverfahren Gewässerstruktur, München
- LfW - Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2002b): Fließgewässerlandschaften in Bayern, München
- Niemann, A. (2001): Schädigung des hyporheischen Interstitials kleiner Fließgewässer durch Niederschlagswassereinleitungen. Dissertation, Universität Essen.
- Pottgiesser, T., Sommerhäuser, M. (2008): Beschreibung und Bewertung der deutschen Fließgewässertypen. Umweltbüro Essen im Auftrag des Umweltbundesamtes und der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Steckbriefe und Begleittext.
- Rosenberry, D. O., Pitlick, J. (2009): Effects of sediment transport and seepage direction on hydraulic properties at the sediment-water-interface of hyporheic setting. *Journal of Hydrology* 373, S. 377-391.
- Schälchli, U. (1993): Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen. Dissertation, ETH Zürich.
- Schälchli, U. (2002): Kolmation – Methoden zur Erkennung und Bewertung. Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Zürich.
- Schönborn, W. (1992): Fließgewässerbiologie. Gustav Fischer Verlag Jena.
- Schönborn, W., Risse-Buhl, U. (2013): Lehrbuch der Limnologie. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart.
- Schwoerbel, J. (1961): Über die Lebensbedingungen und die Besiedlung des hyporheischen Lebensraumes. *Archiv für Hydrobiologie* 25, 2/3, S. 182-214.
- Sternecker, K. (2013): The impact of stream substratum quality on salmonid reproduction. Dissertation, Technische Universität München.
- Strohmeier, P., Bruckner, G., Schlumprecht, H., Strätz, C. (2005): Untersuchungen über das Ausmaß und die Herkunft der Verschlämmung, Versandung und Kolmation des Gewässerbodens in ausgewählten Fließgewässern in den oberfränkischen Einzugsgebieten des Mains und der Elbe. Bezirksfischereiverb. Oberfranken e.V.
- Thurmann, C., Zumbroich, T. (2012): Resilienzvermögen von Interstitialräumen verschiedener Gewässertypen bezüglich Kolmation. In: UBA-Texte 90/2012.
- Vandevivere, P., Baveye, P. (1992): Effect of bacterial extracellular polymers on the saturated hydraulic conductivity of sand columns. *Applied and Environmental Microbiology*, 58, S.1960-1698.
- Wood, P. J., Armitage, P. D. (1997): Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management* 21, 2, S. 555-567.

Anlage 1: Überblick bisher angewandter Kartiermethoden zur Erhebung der Kolmation

Nr / Autor	Gewässertyp	Kolmations typ	Methodik	Klassifizierung	Quellenangabe
1 Schälchli	verschiedene Gewässer in der Schweiz (Töss, Emme, Limmat, Ilfis, Luthern)	äußere Kolmation	nur an trockenen Uferbereichen oder Kiesbänken: Inspektion der Gewässersohle: Beurteilung Deckungsgrad, Mächtigkeit, Zusammensetzung abgelagertes Substrat	Schätzung des Deckungsgrades (keine Angaben zur Klassifizierung)	Schälchli, U. (2002): Kolmation – Methoden zur Erkennung und Bewertung. Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Zürich
		innere Kolmation	nur an trockenen Uferbereichen oder Kiesbänken, 20 -30 Stellen je 1000 m (Schweizer Steffen, 2005): Sohle: innere Kolmation der Gewässersohle. Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen) 1) Entfernung der Deckschicht: Beurteilung der Kolmationsstufen nach Substrat-Packung, Bestandteile des Substrats, Lückenraum 2) Stiefelprobe: Aufwand, der mit dem Fuß zum Aufbrechen und Aufwühlen der Deckschicht erforderlich ist	5 Bewertungsstufen: Keine (1), schwache (2), mittlere (3), starke (4), vollständige (5) Kolmation -> siehe Schälchli (2002) S. 9	
2 Strohmeier et al.	Oberfränkische Fließgewässer: Typ 5.1 "Feinmaterialreiche silikatische Mittelgebirgsbäche" (Kronach) Typ 9 "Silikatische fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse" (Sächsische Saale, Eger, Rodach) Typ 9.1 "Karbonatische, fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse" (Wiesent, Roter Main) Typ 9.1_K "Karbonatische fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse des Keuper (Itz, Rauhe Ebrach) Typ 7 "Grobmaterialreiche, karbonatische Mittelgebirgsbäche" (Püttlach)	äußere Kolmation	Unterscheidung zwischen oberflächlichen Ablagerungen und Ablagerungen im "Sinne" von Versandung und Verschlämmung: A) Oberflächliche Ablagerungen (Erfassung in 100 m Abschnitten): Inspektion der Gewässersohle: Ablagerungen durchgängig / vereinzelt, Deckungsgrad der unterschiedlichen abgelagerten Sedimente (Feinsand, Grobsand, Schlamm/Ton, Detritus, Totholz, Algen, Versinterung)	Zu A) Deckungsgrad je abgelagertem Substrattyp in % der Fläche bzw. % der Strecke pro 100 m -> siehe Strohmeier (2005) S. 29	Strohmeier, P., Bruckner, G., Schlumprecht, H., Strätz, C. (2005): Untersuchungen über das Ausmaß und die Herkunft der Verschlämmung, Versandung und Kolmation des Gewässerbodens in ausgewählten Fließgewässern in den oberfränkischen Einzugsgebieten des Mains und der Elbe. Bezirksfischereiverb. Oberfranken e.V.
			B) Verschlämmung, Versandung (Erfassung in 100 m Abschnitten): Anzahl verschlammter Abschnitte, Flächenanteil im Gewässer, Stichprobenartige Erhebung der Mächtigkeit der Schlammبانke, Abschätzung des Grads der Mobilisierbarkeit, Deckungsgrad	Zu B) Schlamm: Grad der Mobilisierbarkeit in 3 Kategorien -> siehe Strohmeier (2005) S. 33 Schlamm/Sand: Grad der oberflächlichen Ablagerung: Starke, mittlere, schwache Überdeckung von Kies und Geröll -> siehe Strohmeier (2005) S. 31	
		innere Kolmation	Probennahme jeweils an der angeströmten Stirnseite der Kiesbänke, falls möglich, Erfassung in 100 m Abschnitten: K1 für trockene Kiesbänke: nach Schälchli (2002) Entfernung der Deckschicht: Beurteilung der Kolmationsstufen nach Substrat-Packung, Bestandteile des Substrats, Lückenraum K2 für überströmte Kiesbänke: Beurteilung der Kolmationsstufen nach Substrat-Packung, Schaufelprobe, Fingerprobe K3 bei größeren Wassertiefen: Beurteilung der Kolmationsstufen nach Substrat-Packung und Sicht (Aufrühren mit Teleskopstab dann Beurteilung der Sedimentfahne)	5 Bewertungsstufen: Strohmeier et al. (2005) S. 31 jeweils für K1, 2, 3: keine (1), schwache (2), mittlere (3), starke (4), vollständige Kolmation (5) -> siehe Strohmeier et al. (2005) S. 31	

Nr / Autor	Gewässertyp	Kolmations typ	Methodik	Klassifizierung	Quellenangabe
3 Thurmann & Zumbroich	Typ 9 "Silikatischer, fein- bis grobmaterialreicher Mittelgebirgsfluss" (Ahr) Typ 5 "Grobmaterialreicher, silikatischer Mittelgebirgsbach" (Morsbach) Typ 16 "Kiesgeprägter Tieflandbach" (Nette)	äußere Kolmation	Nach Schälchli (2002) Inspektion der Gewässersohle: Beurteilung Deckungsgrad (Anteil der Fließgewässerstrecke), Mächtigkeit der Ablagerungen, Zusammensetzung abgelagertes Substrat, Abschätzung der Mobilisierbarkeit unter Berücksichtigung des Abflussgeschehens und der Schwebstoffzufuhr (Sedimentfallenbeprobung)	Unterscheidung in "schwache" und "starke" äußere Kolmation	Thurmann, C., Zumbroich, T. (2012): Resilienzvermögen von Interstitialräumen verschiedener Gewässertypen bezüglich Kolmation. Abschlussbericht.
		innere Kolmation	Probennahme jeweils an drei 200 m langen Abschnitten, Bildung des Mittelwerts der Kolmationsstufen: 1) Für trockene Kiesbänke: nach Schälchli (2002) 2) Für überströmte Kiesbänke: nach Strohmeier, K2 (2005) 3) Bei größeren Wassertiefen: nach Strohmeier, K3 (2005)	5 Bewertungsstufen nach Schälchli (2002) und Strohmeier (2005): keine (1), schwache (2), mittlere (3), starke (4), vollständige Kolmation (5) -> siehe Thurmann & Zumbroich (2012) S. 28/29	
4 Gutknecht et al.	Typ 10 "Kiesgeprägte Ströme" (Donau, Stauraum Freudenau)	äußere Kolmation bzw. Deckschicht kolmation	Videdokumentation der Sohle: Erstellung von Querprofilen (Abstand 1-2 km) mit Videonaut durch punktwises Absetzen der Kamra alle 30-50 m (Querprofil) über eine Distanz von ca. 10 km (flussabwärts) (1 Durchgang im Februar, 2. Durchgang August) -> Bild zur Sohlentwicklung über Raum und Zeit, Sohlenzusammensetzung, Mächtigkeit der Ablagerungen; Beurteilung durch Taucher	-	Gutknecht, D., Blaschke, A. P., Schmalfuß, R., Sengschmitt, D., Steiner, K., Reichel, K., Feregyhazy, H., Herndl, G., Battin, T., Dreher, J. (1998): Kolmationsprozesse am Beispiel des Stauraumes Freudenau. Schriftenreihe Forschung im Verbund, 44.
		innere Kolmation	Videdokumentation mit Videonaut; Makroskopische Beurteilung von freeze-core-Proben (5 Probenentnahmen über 1,5 Jahre verteilt): Substratzusammensetzung	-	
5 Aquatca GmbH & NATUME	Aare, zwischen Thun und Bern (Typ "Großer Fluss", Schweiz)	äußere Kolmation	Inspektion der Gewässersohle (Messstellenabstand 1,5 km): Beurteilung Deckungsgrad, Mächtigkeit, Zusammensetzung abgelagertes Substrat	-	Aquatca GmbH, NATUME (2012): Gewässerzustand Aaretal - Fortpflanzungserfolg Kieslaicher, Kolmation. Abschlussbericht.
		innere Kolmation	Messstellenabstand 1,5 km A) Für trockene Kiesflächen: nach Schälchli (2002) B) Unter Wasser auf Flächen mit erbs- bis faustgroße Fraktionen: Metallstift (Durchmesser 5 mm) wird im Winkel von 45° 16,5 cm tief in die Kiessohle eingeschlagen. An der Stelle, wo Stift in Sohle eindringt, wird eine Schnur befestigt. Auf Federwaage wird die Kraft abgelesen, bei der sich der Stift aus der Kiessohle löst, wenn man daran anzieht. 5 Einzelmessungen pro Stelle	Berechnung eines "Schälchli-Wertes" aus der Kraftmessung. Den Schälchliwerten wird die 5 stufige Bewertungsskala von Schälchli (2002) zugeordnet	
6 Bundesamt für Umwelt (Schweiz)	Gewässer der Schweiz, begehbar	Oberflächen nahe innere Kolmation	Für die Erhebung der Kolmation werden Steine mit der Hand aus dem Bachbett gelöst. Zusätzlich wird die Ursache erfasst (natürlich, anthropogen, nicht bekannt)	Klasse 1 keine Kolmation: Steine können problemlos von Hand aus dem Bachbett entfernt werden Klasse 2 leicht/mittel: Steine sind nur mit einem Widerstand aus dem Bachbett entfernbar Klasse 3 stark: Steine können nicht ohne Hilfsmittel aus dem Bachbett entfernt werden	Bundesamt für Umwelt (BAFU, Schweiz) (Hrsg.) (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer Äusserer Aspekt. http://www.modul-stufen-konzept.ch/download/aspect-d.pdf (letzter Aufruf 24.04.2014)

Anlage 2: Fotodokumentation verschiedener Kolmationsausprägungen

keine Kolmation: Beispiel 1



Beispiel 2



mäßige innere Kolmation: Beispiel 1



Beispiel 2



ausgeprägte innere Kolmation



äußere Kolmation: Beispiel 1



Beispiel 2



äußere Kolmation einer Kiessohle



Feinmaterialtyp (keine Kolmation möglich)



Versinterung



Eisenocker

