

# Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science und Systems“  
(UNIGIS MSc) am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS)  
der Paris-Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

## Topologie vs. Nähe vs. Intervall – Routen-Kalibrierungsmethoden im Vergleich

vorgelegt von

Dipl. Ing. (FH) Marion Krauss  
UP10572, UNIGIS MSc Jahrgang 2013

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science und Systems) – MSc(GIS)“

Gutachterin:

Dr. Gudrun Wallentin  
Bischofsgrün, 25.06. 2015

## **Danksagung**

Zunächst danke ich dem gesamten UNIGIS-Team für die hervorragende Betreuung während der intensiven Studienzeit, insbesondere Dr. Gudrun Wallentin und Prof. Josef Strobl für die konstruktiven Rückmeldungen zur vorliegenden Master Thesis.

Meinem Arbeitgeber, dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, respektive meinen Vorgesetzten und meinen Kollegen, danke ich für die Bereitstellung der notwendigen Daten und die Unterstützung während meines berufsbegleitenden Studiums. Im Rahmen der Möglichkeiten wurde meine fachliche Weiterqualifizierung seitens meines Arbeitgebers zu beiderseitigem Vorteil stets voll gefördert.

Der größte Dank gebührt meiner Familie, meinem Mann Andreas und meiner Tochter Hannah Sophie, die manche Stunde auf mich verzichtet und manche Laune langmütig ertragen haben.

## **Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit**

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Ort und Datum

eigenhändige Unterschrift

## Kurzfassung

Die Übertragung der Stationierung von Routensystemen von genauen auf generalisierte Maßstäbe ist ein notwendiger Prozess, um Stationierungsabweichungen unterschiedlicher Generalisierungsgrade zu beheben und dadurch Eigenschaften der Routen mittels linearer Referenzierung maßstabsunabhängig lagerichtig darstellen zu können.

In der vorliegenden Arbeit werden am Beispiel von zwei Gewässernetzen unterschiedlichen Maßstabes drei unterschiedliche Methoden der Kalibrierung des generalisierten Maßstabes durchgeführt: Die Passpunkt-, die Schnittpunkt- und die Intervallpunktmethode. Die drei unterschiedlichen Kalibrierungsmethoden werden in der vorliegenden Arbeit definiert, die Erstellung der Kalibrierungspunkte beschrieben und die Methode auf das generalisierte Gewässernetz angewandt. Die Passpunktmethode nutzt zur Kalibrierung topologische Punkte wie z.B. Quell- oder Mündungspunkte. Die Schnittpunktmethode verwendet Schnittpunkte der beiden Maßstabebenen und die Intervallpunktmethode basiert auf Kalibrierungspunkten an jedem Kilometer der Stationierung. Nach der Kalibrierung werden die Ergebnisse der drei Methoden hinsichtlich Nachbearbeitungs Aufwand aufgrund nicht kalibrierter Gewässerrouten, Kalibrierungsgenauigkeit anhand bekannter Stationierungswerte und möglicher Fehlerquellen wegen nicht verwendbarer Kalibrierungspunkte bewertet. Die Ergebnisse werden u.a. hinsichtlich der Anzahl nicht kalibrierter Gewässerrouten, absoluter und aufsummierter Abweichung der Stationierungskilometer vom Soll-Stationierungswert und der Auflistung möglicher Fehlerquellen tabellarisch dargestellt.

Insgesamt schneidet die Passpunktmethode hinsichtlich Nachbearbeitungs Aufwand, Kalibrierungsgenauigkeit und Anzahl möglicher Fehlerquellen am schlechtesten ab. Die Schnittpunktmethode liegt zwischen Pass- und Intervallpunktmethode. Die Intervallpunktmethode schneidet von allen drei Kalibrierungsmethoden am besten ab.

Abschließend werden typische Beispielanwendungen der verschiedenen Kalibrierungsmethoden aufgeführt. Die Passpunktmethode ist trotz schlechter Ergebnisse im direkten Vergleich der drei Methoden dennoch für Anwendungen, die topologische Identität der Informationen zwischen den Maßstabebenen erfordert, die notwendige Verfahrensweise. Eine Erhöhung der Genauigkeit kann durch Verdichtung der Kalibrierungspunkte entsprechend der Intervallpunktmethode erreicht werden.

## **Abstract**

The transfer of route-system stationing from detailed to generalized scales is a necessary process to eliminate differences in stationing of diverging degrees of generalization to display route events with linear referencing in the right location independent from scale.

In this thesis, using the example of river networks of different scales, three different methods of route calibration from detailed to generalized scale are executed, employing control points, intersection points and interval points. The three calibration methods are specified and the creation of the calibration points and their use on the generalized water network are explained. The control point method uses topologic features such as source and sink of the water network as calibration points, whereas the intersection point method uses geometric intersections and the interval point method is based on calibration points located at every full kilometer of stationing.

After calibration, the results of the three different methods are evaluated taking into account postprocessing efforts of uncalibrated routes, calibration accuracy regarding known stationing values and possible sources of error derived from unemployable calibration points.

The results are displayed tabularly concerning the amount of uncalibrated routes, absolute and summarized deviation of stationing and the listing of possible sources of errors in calibration.

All in all, the control point method gives the worst results concerning postprocessing efforts, calibration accuracy and possible sources of errors. The results of the intersection point method are in between control points and interval points. From all three calibration methods, the best results derive from the interval points.

Concluding the thesis, typical examples of application of the different calibration methods are given. Although the control point method delivers the worst results in direct comparison with the other methods, it is the method of choice if you need topologic identity between scales. An increase in accuracy of the control point method can be achieved by raising the concentration of calibration points using features according to the interval point method.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Linienhaft dargestellte Gewässer des ATKIS®-Basis-DLM .....	8
Abbildung 2:	Fließgewässer im Maßstab 1:25.000 und 1:1.000.000.....	10
Abbildung 3:	Lage von Mündungs- und Achsenschnittpunkt eines in einen See mündenden Fließgewässers .....	12
Abbildung 4:	Stationierung eines in einen See mündenden Fließgewässers mit Lage von Minimal-, Maximal- und Null-Measure-Wert .....	14
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Kalibrierungspunkte nach Passpunkt-Methode .....	15
Abbildung 6:	Unterschiedliche Quellpunkte von Gewässern aufgrund von unterschiedlichen Erfassungsgrenzen der Maßstabsebenen .....	16
Abbildung 7:	Unterschiedliche Ausdehnung von Gewässern aufgrund von Wechsel der D1000W-Gewässerkennzahlen an der Landesgrenze .....	17
Abbildung 8:	Erstellung der Stationspunkte des Hauptgewässers aus den Startpunkten der Nebengewässer am Beispiel des D1000W-Gewässernetzes .....	20
Abbildung 9:	Generalisierungsbedingte Unterschiede im Verzweigungsbereich eines Gewässers..	21
Abbildung 10:	Unterschiedliche Topologie der Gewässernetze der verschiedenen Maßstabsebenen .....	22
Abbildung 11:	Falsche Stationierungsrichtung im D1000W führt zu fehlender Stationspunkterstellung mit dem Hauptgewässer .....	23
Abbildung 12:	Beispiel eines Negativpunktes im FGN25 ohne Entsprechung im D1000W .....	24
Abbildung 13:	Mündungspunkte von Gewässern in beiden Maßstabsebenen auf Routenschnittpunkt .....	25
Abbildung 14:	Mündungspunkte von Gewässern in beiden Maßstabsebenen auf Schnittpunkt mit Uferlinie eines flächenhaften Gewässers .....	25
Abbildung 15:	Semantische Inkonsistenz der Gewässer-Modellierung zwischen D1000W und FGN25 .....	32
Abbildung 16:	Ausschnitt D1000W – Vergleich ohne Kalibrierung (rote Stationierung) und nach der Kalibrierung mit Passpunkten (blaue Stationierung) im Vergleich zum FGN25 (grau) 34	
Abbildung 17:	Erstellung von Kalibrierungspunkten aus den Schnittpunkten (rot) der beiden Maßstabsebenen D1000W und FGN25 .....	36

Abbildung 18: Ausschnitt D1000W – Vergleich ohne Kalibrierung (rote Stationierung) und nach der Kalibrierung mit Schnittpunkten (blaue Stationierung) im Vergleich zum FGN25 (grau) .....	40
Abbildung 19: Erstellung von Kalibrierungspunkten (rot) auf dem D1000W-Gewässernetz als lagenächste Punkte zu ganzen FGN25-Stationierungskilometern (grau) .....	42
Abbildung 20: Ausschnitt D1000W – Vergleich ohne Kalibrierung (rote Stationierung) und nach der Kalibrierung mit Intervallpunkten (blaue Stationierung) im Vergleich zum FGN25 (grau) .....	45
Abbildung 21: Schnittpunkt eines Gewässers mit der Landkreisgrenze in beiden Maßstabsebenen (Gewässer schneidet Landkreisgrenze nur einmal).....	47
Abbildung 22: Schnittpunkt eines Gewässers mit der Landkreisgrenze in beiden Maßstabsebenen (Gewässer schneidet Landkreisgrenze mehrfach).....	48
Abbildung 23: Einfach- und Mehrfachschnittpunkte eines FGN25-Gewässers mit den Landkreisgrenzen .....	49
Abbildung 24: Übernahme von Landkreis-IDs an Doppel-Schnittpunkten .....	50
Abbildung 25: Gewässer der verschiedenen Maßstabsebenen schneiden die Landkreisgrenzen unterschiedlich oft .....	53
Abbildung 26: Verschiebung der Netztopologie zwischen den Maßstabsebenen.....	54

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Passpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Gewässerkennzahlen .....	29
Tabelle 2:	Passpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Distanz.....	30
Tabelle 3:	Passpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Measure-Wert-Abweichung .....	31
Tabelle 4:	Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route (Passpunktmethode) .....	33
Tabelle 5:	Schnittpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Gewässerkennzahlen .....	37
Tabelle 6:	Schnittpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Measure-Werte .....	38
Tabelle 7:	Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route (Schnittpunktmethode) ..	39
Tabelle 8:	Intervallpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Gewässerkennzahlen .....	43
Tabelle 9:	Intervallpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Measure-Werte .....	44
Tabelle 10:	Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route (Intervallpunktmethode) ..	44
Tabelle 11:	Relevante Abweichungen der Measure-Werte der verschiedenen Kalibrierungsmethoden – Übersicht (inkl. nicht kalibrierter Gewässer) .....	56
Tabelle 12:	Relevante Abweichungen der Measure-Werte der verschiedenen Kalibrierungsmethoden – Auflistung (inkl. nicht kalibrierter Gewässer) .....	57
Tabelle 13:	Anzahl nicht kalibrierter Gewässer der verschiedenen Kalibrierungsmethoden .....	59
Tabelle 14:	Anzahl nicht kalibrierter Gewässer mit Ergebnisbewertung .....	59
Tabelle 15:	Relevante Abweichungen der Measure-Werte der verschiedenen Kalibrierungsmethoden – Übersicht (exkl. nicht kalibrierter Gewässer) .....	60
Tabelle 16:	Relevante Abweichungen der Measure-Werte der verschiedenen Kalibrierungsmethoden – Auflistung (exkl. nicht kalibrierter Gewässer) .....	61
Tabelle 17:	Mögliche Fehlerquellen der Kalibrierungsmethoden.....	67

## Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
ATKIS	Amtliches Topografisch-Kartografisches Informationssystem
D1000W	Digitales Landschaftsmodell Wasser 1:1.000.000
FGN25	Fließgewässernetz 1:25.000
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
WGN25	Wasserwirtschaftliches Gewässernetz 1:25.000
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	I
Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit .....	II
Kurzfassung.....	III
Abstract.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
Inhaltsverzeichnis.....	IX
1 Einführung.....	1
1.1 Allgemeine Aufgabenstellung .....	1
1.2 Stand des Wissens.....	2
1.3 Zielsetzung.....	4
1.4 Einordnung und Abgrenzung der Arbeit .....	5
2 Methodische, fachliche und technische Grundlagen.....	6
2.1 Routensystematik .....	6
2.2 Lineare Referenzierung und dynamische Segmentierung.....	6
2.3 Grundlagendaten .....	7
2.3.1 FGN25 – linienhafte Gewässer .....	7
2.3.2 D1000W – linienhafte Gewässer .....	9
2.4 Software.....	10
3 Umsetzung der Kalibrierung.....	11
3.1 Vorbereitung der Daten .....	11
3.1.1 Reduktion des Datenbestandes auf korrespondierende Gewässerkennzahlen .....	11
3.1.2 Routenerstellung und Berechnung einer Basis-Stationierung am D1000W .....	12

3.2	Kalibrierung mittels Passpunkten.....	14
3.2.1	Fachliche Voraussetzungen an die Daten.....	14
3.2.2	Erstellung der Passpunkte.....	18
3.2.2.1	Quellpunkte .....	18
3.2.2.2	Stationspunkte.....	19
3.2.2.3	Negativpunkte.....	23
3.2.2.4	Mündungspunkte.....	25
3.2.3	Automatisierte Zuordnung.....	27
3.2.4	Qualitätskontrolle .....	29
3.2.4.1	Überprüfung der Gewässerkennzahlen-Zuordnung.....	29
3.2.4.2	Überprüfung der Distanz der Kalibrierungspunkte .....	29
3.2.4.3	Überprüfung der Measure-Werte.....	30
3.2.4.4	Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route .....	32
3.2.5	Umsetzung der Kalibrierung des D1000W .....	33
3.3	Kalibrierung mittels Schnittpunkten .....	35
3.3.1	Fachliche Voraussetzungen an die Daten.....	35
3.3.2	Erstellung der Schnittpunkte.....	35
3.3.3	Automatisierte Zuordnung.....	37
3.3.4	Qualitätskontrolle .....	37
3.3.4.1	Überprüfung der Gewässerkennzahlen-Zuordnung.....	37
3.3.4.2	Überprüfung der Distanz der Kalibrierungspunkte .....	37
3.3.4.3	Überprüfung der Measure-Werte.....	38
3.3.4.4	Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route .....	38
3.3.5	Umsetzung der Kalibrierung des D1000W .....	39
3.4	Kalibrierung mittels Intervallpunkten .....	41
3.4.1	Fachliche Voraussetzungen an die Daten.....	41

3.4.2	Erstellung der Intervallpunkte.....	41
3.4.3	Automatisierte Zuordnung.....	42
3.4.4	Qualitätskontrolle .....	43
3.4.4.1	Überprüfung der Gewässerkennzahlen-Zuordnung.....	43
3.4.4.2	Überprüfung der Distanz der Kalibrierungspunkte .....	43
3.4.4.3	Überprüfung der Measure-Werte.....	43
3.4.4.4	Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route .....	44
3.4.5	Umsetzung der Kalibrierung des D1000W .....	44
4	Ergebnisbewertung und Schlussfolgerungen .....	46
4.1	Ermittlung und Bewertung der Kalibrierungsgenauigkeit mittels Kontrollpunkten .....	46
4.1.1	Fachliche Voraussetzung an die Daten.....	46
4.1.2	Erstellung der Kontrollpunkte .....	48
4.1.3	Qualitätskontrolle .....	52
4.1.3.1	Überprüfung der Kontrollpunkt-Zuordnung.....	52
4.1.3.2	Überprüfung der Distanz der Kontrollpunkte .....	54
4.1.4	Bewertung der Kalibrierungsergebnisse .....	55
4.2	Schlussfolgerungen aus der Ergebnisbewertung .....	62
4.2.1	Fehlerpotentiale und fachliche Anforderungen an die Grundlagendaten.....	62
4.2.1.1	Fehlerquellen der Passpunktmethode .....	63
4.2.1.2	Fehlerquellen der Schnittpunktmethode .....	65
4.2.1.3	Fehlerquellen der Intervallpunktmethode .....	66
4.2.2	Zusammenfassung der Fehlerpotentiale.....	67
4.2.3	Handlungsempfehlungen und Beispielanwendungen.....	68
5	Zusammenfassung.....	70
6	Literaturverzeichnis.....	74

# 1 Einführung

## 1.1 Allgemeine Aufgabenstellung

Für wasserwirtschaftliche Planungs- und Dokumentationsaufgaben erstellt und pflegt die Bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung Geodaten linienhaft dargestellter Gewässernetze in digitaler Form, die für die Darstellung in den Maßstäben 1:25.000 und 1:1.000.000 optimiert sind.

Das Gewässernetz für die Darstellung im Maßstab 1:25.000 wird als Wasserwirtschaftliches Gewässernetz 25 (WGN25) bezeichnet und enthält mehrere inhaltliche Ebenen (z.B. Fließgewässer, Seen, Einzugsgebiete). Die für das vorliegende Vorhaben relevante thematische Ebene des WGN25 ist das Fließgewässernetz im Maßstab 1:25.000 (FGN25), das alle Fließgewässer in Bayern als linienhafte Geometrie darstellt. Die Gewässerverläufe sind vollständig mit Gewässerkennzahlen entsprechend der „Richtlinie zur Gebiets- und Gewässerverschlüsselung“ (LAWA 2005) codiert und sollen auf dieser Basis zu Routen zusammengefasst und entsprechend der geometrischen Länge der Gewässerroute mit einer automatisiert ermittelten Stationierung versehen werden, die im folgenden „Stationierung“ genannt wird. Die Lage von im Gelände eingemessenen Flusskilometersteinen wird als weiteres Bemaßungssystem im FGN25 geführt und als Kilometrierung bezeichnet, im Unterschied zur oben erläuterten Bemaßung nach geometrischer Lauflänge, der Stationierung. Sie kann von der Stationierung durch natürliche Laufveränderungen und Lageungenauigkeiten der Kilometersteine durchaus abweichen. Die Kilometrierung wird aber für die vorliegende Arbeit nicht berücksichtigt, da sich die Fragestellung der Arbeit zunächst nur mit der automatisiert ermittelten Stationierung befasst.

Das generalisierte Pendant zum Fließgewässernetz 1:25.000 ist das D1000W (Digitales Landschaftsmodell Wasser), das für die Darstellung im Maßstab 1:1.000.000 ausgelegt ist. Die Stationierung der Fließgewässer-Geometrien des D1000W soll an die Stationierung des FGN25 angepasst werden, d.h. sie soll entsprechend der GIS-Stationierung des FGN25 kalibriert werden.

Die Kalibrierung der digitalen Gewässerverzeichnisse beider Maßstabsebenen ist ein notwendiger Prozess, um die konsistente Verknüpfung der in beiden Datensätzen vorliegenden Routensysteme der Gewässer zu gewährleisten. Damit lassen sich Eigenschaften der Gewässer, die sich auf die Angabe einer Gewässerkennzahl und der Stationierung beziehen, auf eine gemeinsame Basis stellen, so dass trotz des Skalenunterschiedes der beiden Datenbestände (FGN25 mit 1:25.000 und D1000W mit 1:1.000.000) und der damit verbundenen Generalisierung im D1000W eine in beiden Gewässernetzen vergleichbare Stationierung der Fließgewässer vorliegt. Dies ist z.B. bei der Informationsübertragung im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) von Berichtsmaßstab (1:1.000.000 / D1000W) auf Arbeitsmaßstab

(1:25.000 / FGN25) notwendig. Zur Umsetzung der Stationierungsübertragung vom Maßstab 1:25.000 auf den Maßstab 1:1.000.000 sollen in der vorliegenden Arbeit verschiedene technische Methoden der Stationierungsübertragung durchgeführt und die Ergebnisse miteinander verglichen werden.

## 1.2 Stand des Wissens

Die lineare Referenzierung und die dynamische Segmentierung von Ereignissen und Eigenschaften linienhafter Elemente haben in der GIS-Praxis vielfachen Anwendungsbezug (z.B. bei Verkehrsnetzen oder Gewässernetzen). Sie sind hinsichtlich Datenmodellierung und -management dem absolut verorteten Raumbezug teilweise überlegen, da das lineare Referenzsystem auf Routen-Geometrien basiert, die nicht notwendigerweise mit absoluten Koordinaten verortet werden müssen, um sinnvoll verarbeitet werden zu können. Dies spiegelt sich auch in der Aussage von Scarponcini (2002, S. 35): *„It is not always necessary to physically locate the roadway on the earth’s surface to do meaningful work“*. Insbesondere Stationierungs- oder Kilometrierungsinformationen an Gewässern dienen in vielen Fragestellungen der räumlichen Verortung der Eigenschaften des Gewässers.

Vor dem theoretischen, wissenschaftlichen Hintergrund wird die Methode der linearen Referenzierung als Forschungsinhalt von verschiedensten Seiten beleuchtet, z.B. die Umwandlung verschiedener Bemaßungsmethoden zur Festlegung der linearen Referenz in der Arbeit von Scarponcini zu einem *„Generalized Model for Linear Referencing in Transportation“* (2002) ; auch der Faktor Zeit als vierte Dimension wurde im Zusammenhang mit linear referenzierten Informationen bereits wissenschaftlich bearbeitet, z.B. im Artikel *„Towards Temporal Dynamic Segmentation“* (Guo and Kurt 2004).

Zum allgemeinen Datenmanagement linear referenzierter Daten gibt es bereits etliche, für den Anwender interessante, nutzerspezifisch angepasste Anwendungen am GIS-Markt. Beispiele hierfür sind eine Erweiterungsentwicklung zur linearen Referenzierung von ESRI (Freeman 2010) oder 1Spatial mit einer Erweiterung zum Linear Asset Management, deren Entwicklung auf der Webseite der Zeitschrift *„Geoinformatics“* veröffentlicht wurde (Geoinformatics 2012). Beide Erweiterungen wurden insbesondere hinsichtlich vereinfachter Datenintegration und Datenfortschreibung entwickelt. Eine maßstabsübergreifende Stationierungsübertragung wurde als Anforderung bzw. Inhalt nicht explizit genannt.

Diese Quellennachweise belegen die Wichtigkeit der linearen Referenzierung im GIS-Kontext, behandeln aber das Thema der Stationierungsübertragung nicht. Weiterhin gibt es auch umfassende Arbeiten und Materialien zum Thema der automatisierten Generalisierung, wovon sich die vorliegende Arbeit aber

abgrenzen soll, da von fixierten generalisierten Geometrien in beiden Maßstabsebenen ausgegangen wird (siehe Kapitel 1.4).

Literatur zur Fragestellung, wie ein kleinmaßstäbliches Routensystem die Stationierungsinformation von großmaßstäblichen Systemen abgreifen kann (Stationierungsübertragung), ist bisher kaum vorhanden. Aussagen zu dieser Fragestellung wurden im Rahmen der Recherchen zur vorliegenden Arbeit in den gängigsten deutsch- und englischsprachigen Fachzeitschriften nur vereinzelt gefunden. So wurde z.B. die Übertragung von Stationierungen zwischen unterschiedlichen Maßstabsebenen bereits 1999 in der Umweltverwaltung Baden-Württemberg als notwendige Erweiterung eines GIS-Werkzeugkastens zur Fließgewässerbewirtschaftung genannt (Haase, Beuerle et al. 1999), ohne auf eine spezielle Methodik einzugehen. Weiterhin sind mittlerweile auch spezielle Softwareentwicklungen zur Unterstützung der Bearbeitung von linearen Referenzen vorhanden, die die Notwendigkeit einer Stationierungsübertragung von genauen auf generalisierte Maßstäbe bereits berücksichtigen. Ein Beispiel hierfür ist eine Entwicklung der Firma GISCON mit Namen HydroTools®, das eine Stationierungsübertragung zwischen zwei Maßstäben automatisiert löst (Sander, Riedel et al. 2006). Die HydroTools® nutzen hierzu die Passpunkt-Methode (vergleichbar mit Methode 1 der vorliegenden Arbeit). Sander (2006, S. 31) beschreibt das Kalibrierungswerkzeug der HydroTools® wie folgt: *„Zur Kalibrierung werden Fixpunkte in beiden Maßstabsebenen, wie z.B. Routenquellpunkte, Routenmündungspunkte und Uferschnittpunkte ermittelt und zusammen mit ihrem Stationierungswert im Datenmodell gespeichert. Anhand der Fixpunkte und der zugehörigen Stationierungswerte können die Routen aufeinander kalibriert werden.“*

Es ist unklar, ob andere Methoden der Stationierungsübertragung überhaupt getestet wurden bzw. lediglich keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferten. Zumindest wurden keine veröffentlichten Ergebnisse hierzu gefunden. Da Veröffentlichungen zu diesem speziellen Thema fehlen, wird zunächst davon ausgegangen, dass der Quasi-Standard einer Stationierungsübertragung die Passpunktmethode darstellt, da dies auch intuitiv die korrekte Herangehensweise ist. In der vorliegenden Arbeit wird dieser Annahme auch dadurch entsprochen, dass die Ermittlung der Soll-Kalibrierungswerte der Kontrollpunkte, um die Kalibrierungsergebnisse der verschiedenen Methoden bewerten zu können, ebenfalls auf Passpunkten beruht (vgl. Kapitel 4.1.2). Die zum Vergleich durchgeführten Schnittpunkt- und Intervallpunktmethoden stellen also entsprechend der Annahme und der vorliegenden Literaturauswertungen bisher keine allgemein geläufigen Verfahren der Stationierungsübertragung dar.

Dem Vergleich dieser (hypothetisch weniger aufwändigen) Methoden mit der intuitiv „richtigen“ Methode der Stationierungsübertragung mittels Passpunkten widmet sich daher die vorliegende Arbeit.

### 1.3 Zielsetzung

Das fachliche Leitziel ist die generalisierungsunabhängige Darstellung der Stationierung von Gewässerrouten, um Gewässereigenschaften oder Ereignisse am Gewässer, die sich auf Gewässerkennzahl und Stationierungswerte beziehen (lineare Referenzen), maßstabsunabhängig verorten zu können.

Stationierungsabweichungen zwischen Netzen unterschiedlicher Maßstäbe aufgrund von Generalisierung der Geometrien in kleineren Maßstäben führen ohne Kalibrierung des generalisierten Netzes zu „Verschiebungen“ von linearen Referenzen. Eine maßstabsunabhängige dynamische Verortung von Eigenschaften der Gewässer kann ohne Anpassung der Stationierung des generalisierten Netzes nicht erreicht werden.

Eine Kalibrierung ist also bei einem Maßstabssprung unumgänglich. Die Stationierung der generalisierten Geometrien muss zur Stationierung der genaueren Geometrien passen und auf diese kalibriert werden. Hierfür werden drei unterschiedliche Kalibrierungsmethoden durchgeführt und anschließend die Ergebnisse verglichen.

Zu den unterschiedlichen Kalibrierungsmethoden wurden in der einschlägigen Literatur keine relevanten Referenzen gefunden (vgl. Stand des Wissens, Kapitel 1.2). Daher führt vorliegende Arbeit für die unterschiedlichen Methoden folgende Definitionen und Begrifflichkeiten ein:

- **Passpunktmethode**

Diese Methode der Übertragung basiert auf der maßstabsübergreifenden Zuordnung von topologischen Passpunkten (wie z.B. Quell-, Mündungs- und Stationspunkten).

- **Schnittpunktmethode**

Die Schnittpunktmethode beruht auf der Übernahme der Stationierungswerte des genauen Netzes auf das generalisierte Netz an jedem Schnittpunkt der Gewässer-Geometrien beider Maßstäbe.

- **Intervallpunktmethode**

Bei der Intervallpunktmethode werden die jeweils vollen Stationierungskilometer des genauen Gewässernetzes auf den jeweils nächstgelegenen Punkt des Referenzgewässers im generalisierten Maßstab übertragen.

**Die Forschungsfrage lautet:**

Führt die automatisierte Kalibrierung des bayerischen D1000W-Gewässernetzes mittels Schnittpunkten oder Intervallpunkten zu einer vergleichbaren Lagegenauigkeit wie die Kalibrierung mittels Passpunkten?

Die Ergebnisse und der Arbeitsaufwand der drei Methoden sollen fachlich gegenübergestellt und bewertet werden. Dadurch sollen größere Fehlerpotentiale identifiziert und daraus die fachlichen Anforderungen an die Grundlagendaten abgeleitet werden. Die Ergebnisse sollen zu Handlungsempfehlungen für Beispielanwendungen der Kalibrierung in der wasserwirtschaftlichen Praxis führen.

**1.4 Einordnung und Abgrenzung der Arbeit**

Zunächst ist wichtig, dass es nicht um Generalisierungsmethoden von großen zu kleinen Maßstäben geht, da dies nur praktikabel ist, wenn die generalisierten Geometrien automatisiert abgeleitet werden können und nicht schon fixiert und unveränderlich vorliegen. Es geht stattdessen um die Übertragung von Eigenschaften (Segmente bzw. lineare Referenzen) von genauen, fixierten Routen-Geometrien auf generalisierte, fixierte Routen-Geometrien.

Ein Beispiel für generalisierte, fixierte Geometrien ist das D1000W (Digitales Landschaftsmodell Wasser 1:1.000.000), das Grundlage für die Meldungen z.B. zu Zustandsbewertung und Maßnahmenplanung zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist. Arbeitsgrundlage für z.B. die Maßnahmenplanung in den Ländern ist der Maßstab 1:25.000, EU-weiter Meldemaßstab aber 1:1.000.000. Bundesweit liegen die Geometrien beider Maßstäbe fest und unveränderlich vor und sind abgestimmt; Änderungen sind zentral durch das Bundesamt für Kartografie und Geodäsie einzuarbeiten.

Inhalt der geplanten Arbeit ist die Übertragung einer Stationierung von genauen zum generalisierten Maßstab für vorliegende, fixierte Geometrien, ohne eine Änderung an der generalisierten Geometrie zu erlauben, sondern nur deren Stationierung zu beeinflussen. Für diese Stationierungsübertragung bieten sich die in Kapitel 1.3 beschriebenen Methoden an, die alle an einem Beispieldatenbestand durchgeführt werden sollen.

## 2 Methodische, fachliche und technische Grundlagen

### 2.1 Routensystematik

Ein routenbezogenes Datenmodell bildet eine Entität der realen Welt als linienhaftes Objekt mit einem eindeutigen Identifikator (Route-ID) und einer entsprechenden Bemaßung ab. Beispiele hierfür sind z.B. Transportwege mit Straßenummer und Fahrzeitenangabe oder Gewässernetze mit Gewässerkennzahlen und einer Stationierung.

Für die vorliegende Arbeit wird die Routensystematik auf die Gewässernetze angewandt, hierbei werden die Gewässerläufe mit einer eindeutigen Gewässerkennzahl nach der LAWA-Richtlinie für die Gebiets- und Gewässerverschlüsselung (LAWA 2005) codiert und entgegen der Fließrichtung von der Mündung bis zur Quelle mit einer Bemaßung, die auf der geometrischen Länge der Gewässergeometrie basiert, in der Einheit Kilometer stationiert.

Die Stationierung der Gewässer ist eindeutig und entsprechend der Fließrichtung und fortschreitenden Lauflänge der Geometrie stets ansteigend. Sie wird automatisiert ermittelt.

### 2.2 Lineare Referenzierung und dynamische Segmentierung

Eigenschaften an linienhaften Objekten lassen sich auf verschiedene Weise darstellen. Die absolute Verortung von linienhaften Eigenschaften kann durch die Zuweisung eines Attributwertes an der Gewässergeometrie erfolgen. Dies hat den Nachteil, dass zur Darstellung der Eigenschaft die Geometrien an den Punkten, an denen sich die Eigenschaft ändert, unterteilt werden. Will man mehrere Eigenschaften am Gewässer darstellen, kann dies schnell zu einer vielfachen Unterteilung der Geometrien führen, die aufwändig zu bearbeiten und in vielen Fällen für die tägliche Arbeit nicht praktikabel ist. Außerdem ist zu beachten, dass bei einer geometrischen Änderung des Gewässernetzes eine Nachführung aller Einzelteile der Geometrie notwendig wird. Dies kann hohe Aufwände verursachen.

Die bessere Lösung ist die dynamische Verortung der Eigenschaften über die Angabe der Gewässerkennzahl und der Stationierungswerte des Ereignisses. Die Gewässergeometrie bleibt als zusammenhängende Geometrie erhalten, lediglich die Eigenschaft wird dynamisch auf das Gewässer projiziert. Eigenschaften werden auch als Ereignisse am Gewässer bezeichnet, Beispiele hierfür sind z.B. Kläranlagenstandorte (punktuelles Ereignis) oder Gewässergüte (linienhaftes Ereignis). Für die

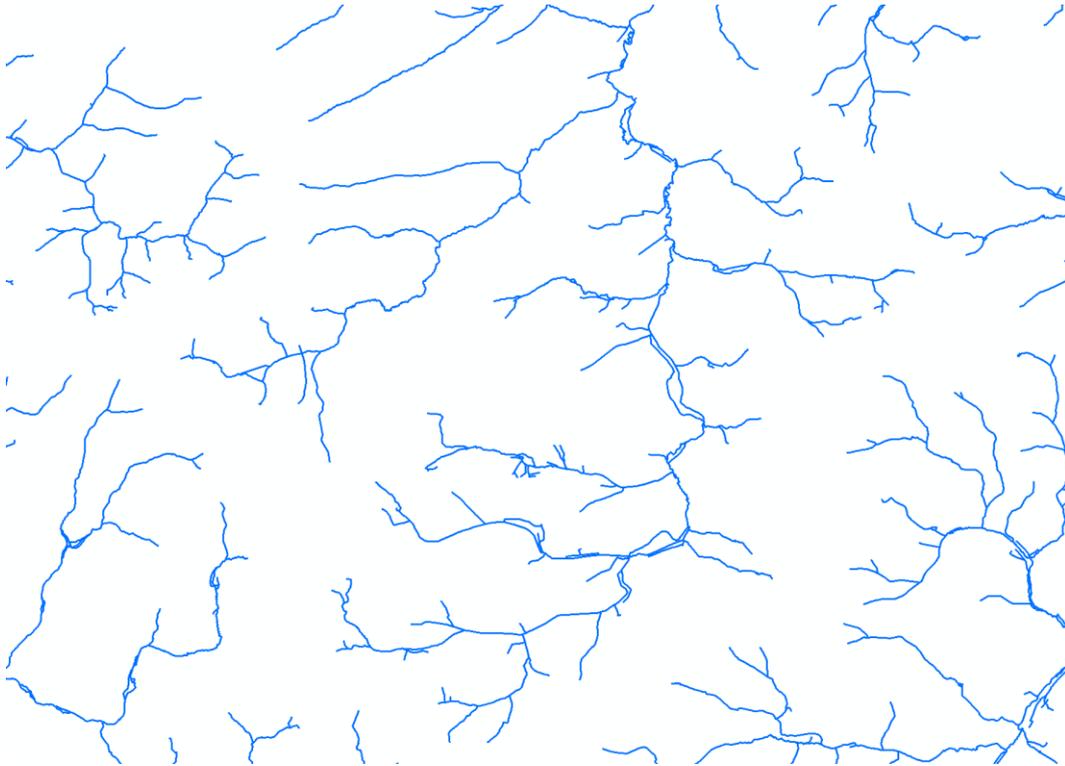
Darstellung eines punktuellen Ereignisses reicht die Angabe eines Stationierungswertes. Für die Darstellung eines Ereignisses, das sich auf einen Abschnitt des Gewässers bezieht (linienhaftes Ereignis), werden Anfangs- und End-Stationierungswert angegeben. Der Bezug zum Routensystem unter Angabe von Gewässerkennzahl und Stationierungswert(en) wird als lineare Referenzierung bezeichnet. Werden abschnittsweise Eigenschaften des Gewässers mit dieser Technik dargestellt, so spricht man von dynamischen Segmenten. Ändert sich eine Eigenschaft des Gewässers, so reicht es aus, die Start- und Endwerte der Stationierung anzupassen, ohne dass die zugrundeliegende Geometrie unterteilt werden muss, da die Eigenschaft dynamisch entsprechend der angepassten Werte auf der Gewässergeometrie aktualisiert wird.

## **2.3 Grundlagendaten**

### **2.3.1 FGN25 – linienhafte Gewässer**

Das Fließgewässernetz des Bundeslandes Bayern im Maßstab 1:25.000 (FGN25) ist der zentrale Datenbestand für die vorliegende Aufgabe. Es stellt die am höchsten aufgelöste Datengrundlage für die vollständigen Fließgewässer in linienhafter Modellierung dar. Eine höhere Auflösung ist mit dem flurstücksbezogenen Maßstab 1:5.000 zwar auch flächendeckend für Bayern verfügbar, dieser liegt aber nicht als geschlossenes Linien-Netz vor, sondern ist als flächendeckende, flächenscharf aneinandergrenzende Polygone modelliert, so dass Gewässer nur dann analysierbar sind, wenn sie eigene Gewässergrundstücke vereinnahmen. Unterbrechungen des Gewässergrundstückes wie z.B. bei Straßenüberführungen erschweren zusätzlich die Verwendung als hydrologische Planungsgrundlage, da somit keine durchgehenden Geometrien für die Gewässerverläufe vorhanden sind. Die Verwendung des Maßstabes 1:5.000 für hydrologische Planungsaufgaben erfolgt also höchstens zusätzlich zum FGN25 bzw. in großmaßstäblichen Planungen mit Bezug zu den Flurstücksgrenzen. Für Auswertungen und Planungen der bayernweiten Gewässer ist das FGN25 die geeignete Grundlage.

Das Fließgewässernetz im Bezugsmaßstab 1:25.000 ist als topologisch geschlossenes Liniennetz aufgebaut. Kartografische Unterbrechungen wie z.B. verrohrte Bereiche und durchflossene Seen wurden durch eine Modellierung von Gewässerachsen entsprechend der Vorgaben der LAWA-Richtlinie für die Gebiets- und Gewässerverschlüsselung (LAWA 2005, S. 15 ff.) verbunden. Das FGN25 ist die genaueste linienhafte und geschlossene Darstellung der bayerischen Fließgewässer und bildet die Basis zur Routenerstellung und Stationierung der Gewässer nach geometrischer Lauflänge.



**Abbildung 1: Linienhaft dargestellte Gewässer des ATKIS®-Basis-DLM**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung

Die Inhalte des FGN25 leiten sich aus den linienhaften Geometrien des Objektbereiches Gewässer des ATKIS®-Basis-DLM ab. Die Erfassungsgrenze entspricht den Vorgaben des Objektartenkataloges des ATKIS®-Basis-DLM, es werden alle dauerhaft wasserführenden Gewässer dargestellt, und temporär wasserführende Gewässer werden ab einer Länge von 500 m in das Gesamtnetz aufgenommen und mit einem Attributwert entsprechend gekennzeichnet (AdV 2008). Im FGN25 sind alle bayerischen Gewässer sowie nach Verfügbarkeit Gewässeranteile der angrenzenden Bundesländer und Staaten enthalten. Nach der Zusammenfassung zu Routen und der Verschlüsselung mit Gewässerkennzahlen ergeben sich im FGN25 153.792 Objekte, die die Gewässerläufe von der Mündung bis zur Quelle repräsentieren und gut 130.000 km Fließlänge darstellen (einschließlich außerbayerischer Gewässeranteile sowie modellierter Gewässerachsen, z.B. Stationierungsachsen in durchflossenen Seen).

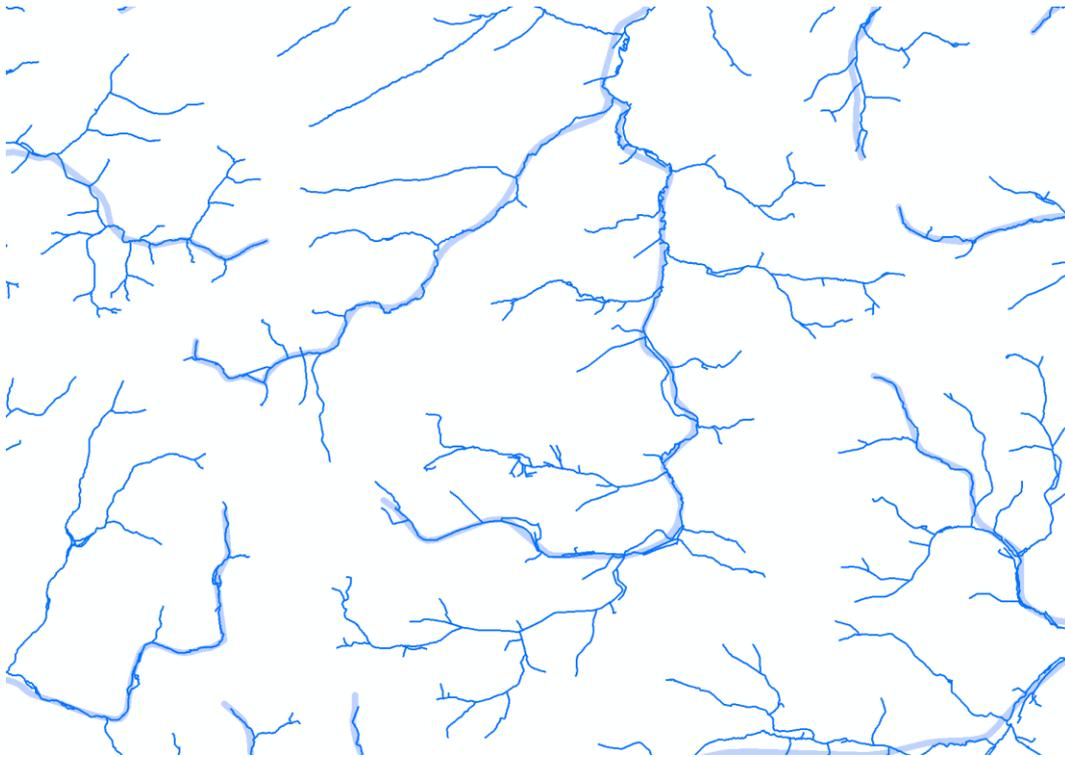
### 2.3.2 D1000W – linienhafte Gewässer

Die linienhaften Fließgewässer des Digitalen Landschaftsmodells Wasser (D1000W) sind ein Datenbestand für Darstellungen im Zielmaßstab 1:1.000.000. Daher sind die Liniengeometrien im Vergleich zu höher auflösenden Maßstäben (z.B. ATKIS®-Basis-DLM / Fließgewässernetz 1:25.000) sowohl von der Dichte her reduziert als auch je nach Linienführung des Gewässers mehr oder weniger stark generalisiert. Für bundesweite oder auch Staatsgrenzen übergreifende Aufgabenstellungen ist dieser Maßstab aber hinreichend genau und daher z.B. auch als Berichtsmaßstab für die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) festgelegt. Das linienhafte Gewässernetz des D1000W enthält alle im Sinne der WRRL berichtspflichtigen Gewässer, die Erfassungsgrenze liegt bei einer Einzugsgebietsgröße von ca. 10 km<sup>2</sup> (in begründeten Einzelfällen – z.B. bei besonderer naturschutzfachlicher oder wasserwirtschaftlicher Bedeutung eines Gewässers – kann von dieser Grenze abgewichen werden).

Das linienhafte Gewässernetz des D1000 ist derjenige Datenbestand, der die Stationierung mittels einer maßstabsübergreifenden Kalibrierung vom FGN25 aufnehmen soll, so dass trotz Generalisierungsunterschieden Eigenschaften am Gewässer (z.B. die Bewertung der Gewässer nach WRRL) in beiden Maßstäben lagerichtig vorliegen. Das D1000W soll also kalibriert werden.

Im D1000W sind bundesweit 10.793 mit Gewässerkennzahlen verschlüsselte Gewässerläufe mit ca. 130.000 km Fließlänge erfasst. Hinzu kommen weitere 25.000 km unverschüsselte Gewässerläufe (außerhalb Deutschlands).

Die folgende Abbildung zeigt den Vergleich von D1000W-Gewässern (hellblau) mit FGN25-Gewässern (dunkelblau) bezüglich Lage und Dichte sowie deren Generalisierungsunterschiede.



**Abbildung 2: Fließgewässer im Maßstab 1:25.000 und 1:1.000.000**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

## 2.4 Software

Die Umsetzung der maßstabsübergreifenden Kalibrierung erfolgt mittels ESRI ArcGIS-Desktop-Standardwerkzeugen in der Version 10.1. Damit alle verwendeten Werkzeuge verfügbar sind, ist die Lizenzierungsstufe „Advanced“ notwendig.

## 3 Umsetzung der Kalibrierung

### 3.1 Vorbereitung der Daten

#### 3.1.1 Reduktion des Datenbestandes auf korrespondierende Gewässerkennzahlen

Nur Gewässerkennzahlen, die in beiden Datenbeständen vorhanden sind, werden in die Kalibrierung einbezogen. Dies reduziert die Daten auf Gewässer, die im bayerischen Datenbestand des FGN25 vorkommen. Dies sind Gewässer, die Anteile der Fließstrecke in Bayern haben (und je nach Verfügbarkeit Gewässer der angrenzenden [Bundes-]Länder) und gleichzeitig ein Einzugsgebiet über 10 km<sup>2</sup> aufweisen (Erfassungsgrenze D1000W).

Die Gewässerkennzahl wird im D1000W entsprechend des ATKIS1000-Modells im Feld GWK geführt (AdV 2008, S. 62 ff.), im FGN25 wird die Gewässerkennzahl entsprechend der LAWA-Richtlinie im Feld GEWKZ geführt (LAWA 2005, S. 5).

Über die Verknüpfung der Felder GWK und GEWKZ der Attributtabelle werden diejenigen Gewässerobjekte selektiert, die in beiden Datenbeständen vorkommen. Objekte ohne Gewässerkennzahl werden aus der Selektion entfernt, ebenso solche Objekte, die nach dem Routing noch als Multipart-Objekte vorliegen (unterbrochene Routen). Für die Kalibrierung werden nur durchgehende, in beiden Datenbeständen vorkommende Routen mit einer eindeutigen Gewässerkennzahl berücksichtigt.

Nach der Selektion verbleiben in den beiden Maßstabsebenen je 2.315 Gewässerläufe. Die weiteren Bearbeitungen und folgende Auswertungen beziehen sich jeweils nur auf diese reduzierten Datenbestände.

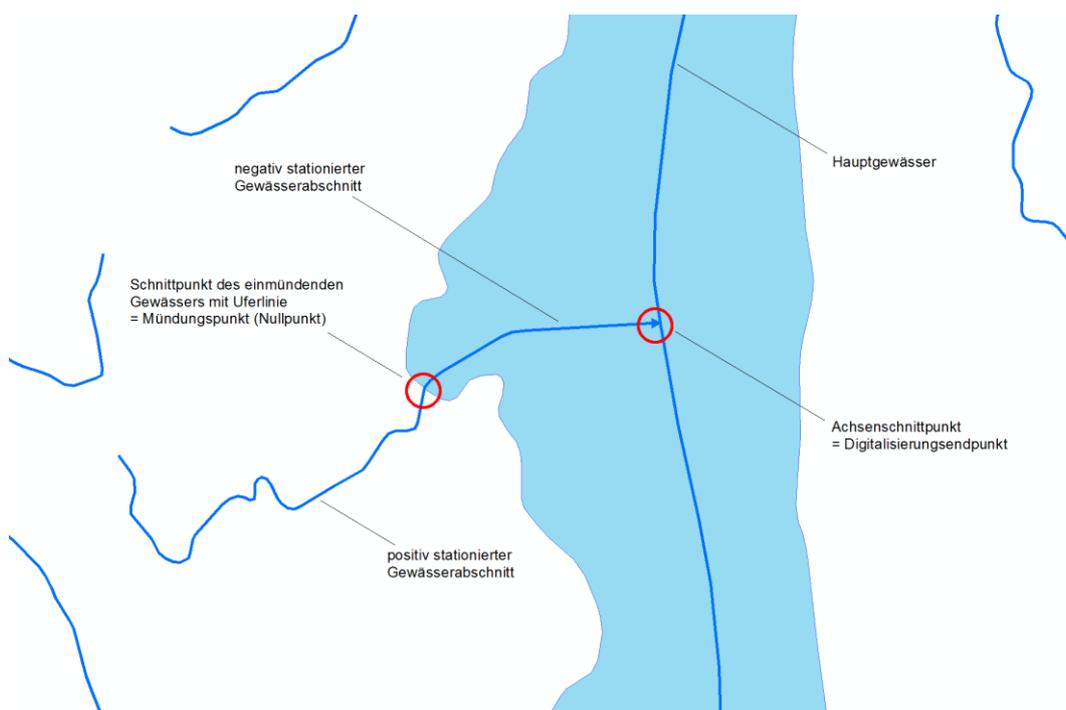
Bei den 2.315 selektierten Gewässern reduziert sich die Fließlänge von ca. 33.000 km im FGN25 auf ca. 30.000 km im D1000W. Das bedeutet, dass durch die Generalisierung aufgrund des Maßstabssprunges ca. 3.000 km Fließlänge im D1000W entfallen. Diese Unterschiede sollen durch die Kalibrierung der D1000W-Stationierung auf die FGN25-Stationierung ausgeglichen werden, so dass die repräsentierte Fließlänge des D1000W der FGN25-Stationierung entspricht.

### 3.1.2 Routenerstellung und Berechnung einer Basis-Stationierung am D1000W

Die in Fließrichtung digitalisierten Objekte im Datenbestand des D1000W sind noch nicht geroutet, daher muss nach der Selektion noch die Routenbildung auf Basis der Gewässerkennzahl (GWK) und die Bemaßung nach der geometrischen Lauflänge der generalisierten Routen durchgeführt werden. Die Bemaßung ist die fachliche Stationierung der Gewässerrouten. Jeder Punkt der Gewässerroute hat einen von der Mündung zur Quelle aufsteigenden Stationierungswert in der Einheit Kilometer, der im Folgenden auch Measure-Wert genannt wird.

Für die Routenbildung ist es zunächst notwendig, ein räumliches „Dissolve“ auf Basis der Gewässerkennzahl durchzuführen, um eine zusammenhängende, in Fließrichtung digitalisierte Geometrie als Grundlage für die Erstellung der Routen zu haben.

Für die Stationierung nach Lauflänge wird – wie in der LAWA-Richtlinie gefordert – auch im D1000W, der Nullpunkt (Mündungspunkt) der Route auf den Schnittpunkt mit der Uferlinie der flächenhaften D1000W-Gewässer gelegt, d.h. *„mündet ein Gewässer in ein stehendes Gewässer, liegt der Mündungspunkt auf dem Schnittpunkt der Gewässerachse des einmündenden Gewässers mit der Uferlinie des stehenden Gewässers“* (LAWA 2005, S.18).



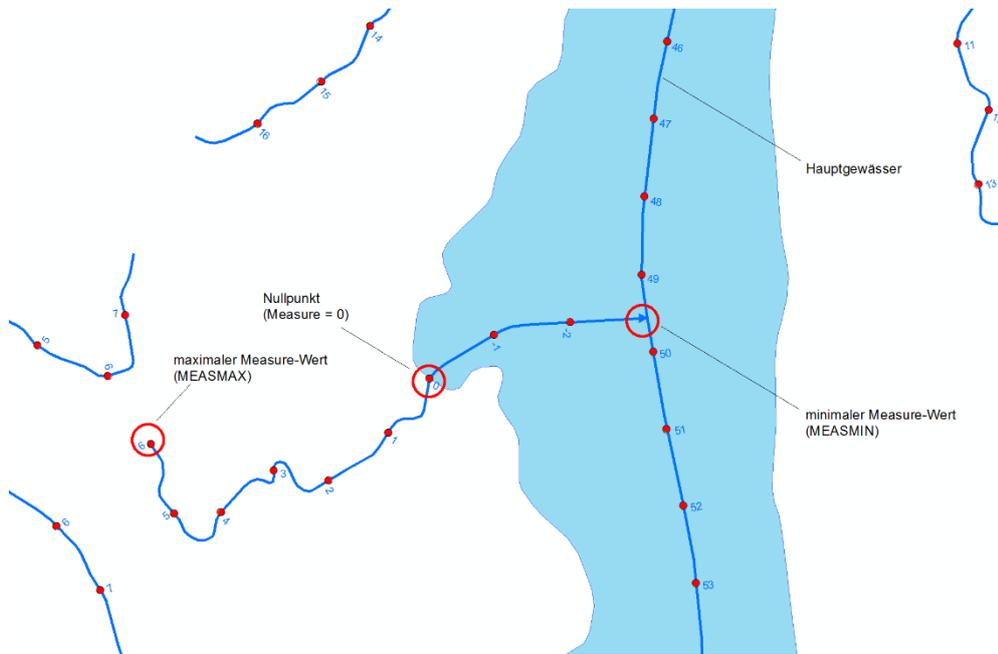
**Abbildung 3:** Lage von Mündungs- und Achsenschnittpunkt eines in einen See mündenden Fließgewässers  
© Geobasisdaten: BKG

Dies betrifft geodatentechnisch betrachtet alle Gewässer, deren Digitalisierungsendpunkt (bei Digitalisierung in Fließrichtung) innerhalb eines flächenhaften Gewässers des D1000W liegt und gleichzeitig auf eine andere Gewässerachse mit abweichender Gewässerkennzahl trifft (78 Gewässer). Die zwischen Nullpunkt und Digitalisierungsendpunkt liegende negative geometrische Länge stellt den ermittelten Minimumwert der Stationierung dar.

Im D1000W werden die flächenhaften Gewässer erst ab einer größeren Gewässerfläche als Polygon repräsentiert als im FGN25. Daraus resultiert, dass im D1000W weniger flächenhafte Gewässer als im FGN25 vorhanden sind und daher ist die Anzahl der Gewässer, deren Digitalisierungsendpunkt innerhalb eines flächenhaften Gewässers liegt und die somit in Teilbereichen negativ stationiert werden, im D1000W wesentlich geringer als im FGN25 (D1000W: 78 Gewässer, FGN25: 1.328 Gewässer).

Um die korrekten Nullpunkte zu generieren, wird für alle 78 Gewässer, die in einem flächenhaft dargestellten Gewässer enden, der ermittelte Minimumwert der Negativstationierung in der Attributtabelle am entsprechenden Gewässerobjekt hinterlegt (Feld MEASMIN). Für alle Gewässer ohne Negativstationierung beträgt dieser Wert 0 (Mündungspunkt). Als maximaler Stationierungswert (Quellpunkt, Digitalisierungsstartpunkt) wird im D1000W die geometrische (generalisierte) Länge des Gewässers bis zum Nullpunkt in km angegeben (Feld MEASMAX).

Die Routenbildung erfolgt anschließend auf Basis der Gewässerkennzahl als Routen-Identifikator und mit Hilfe der beiden Felder für Minimal- und Maximal-Stationierungswerte als Messwertquellen. Vor der Routenerstellung ist die Gewässerachse noch in Fließrichtung digitalisiert, daher muss der maximale Stationierungswert (MEASMAX) als „FROM-Feld“ und der minimale Stationierungswert (MEASMIN) als „TO-Feld“ angegeben werden. Dadurch wird die Routen- und Stationierungsrichtung entgegen der Fließrichtung festgelegt. Somit haben die D1000W Routen wie die FGN25-Routen die korrekte Stationierungsrichtung (entgegen der Fließrichtung) und Stationierungseinheit (in Kilometern geometrischer Lauflänge).



**Abbildung 4: Stationierung eines in einen See mündenden Fließgewässers mit Lage von Minimal-, Maximal- und Null-Measure-Wert**  
© Geobasisdaten: BKG

Diese nach geometrischer Lauflänge automatisiert stationierte Routenbasis des D1000W stellt die unkalibrierte Version des D1000W dar und bildet die Grundlage für die Kalibrierung auf Basis der FGN25-Stationierung.

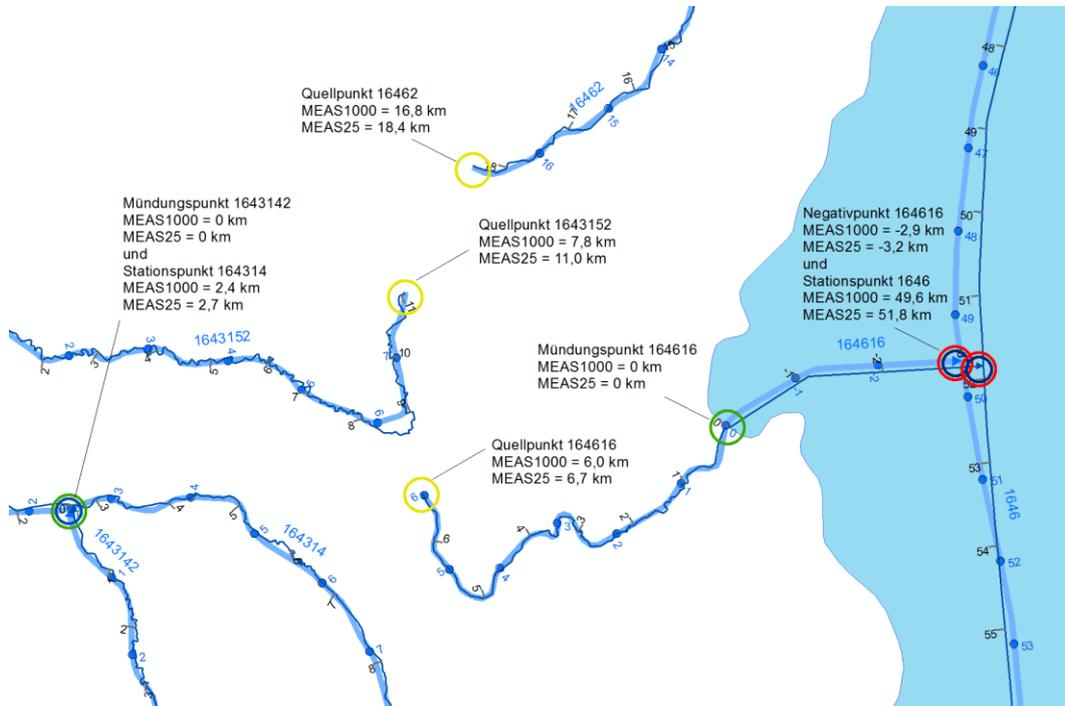
## 3.2 Kalibrierung mittels Passpunkten

### 3.2.1 Fachliche Voraussetzungen an die Daten

Für die Kalibrierung mittels Passpunkten werden in beiden Maßstabsebenen topologisch vergleichbare Punkte generiert, die über die Gewässerkennzahl und den Passpunkt-Typ (Quell-, Stations-, Mündungs- und Negativpunkt) unabhängig von der räumlichen Lage einander zugeordnet werden sollen und der Übertragung der Stationierungswerte von FGN25 auf D1000W dienen.

Folgende Abbildung zeigt korrespondierende Passpunkte mit den entsprechenden Measure-Werten. Die beiden Maßstabsebenen sind übereinander dargestellt, FGN25 in dunkelblau mit schwarzer Stationierung, D1000W in hellblau mit blauer Stationierung. Die Gewässerkennzahlen sind zur besseren Lesbarkeit ohne Nullen dargestellt. Die räumliche Lage der Passpunkte zueinander ist in diesem Beispiel sehr gut, da die Passpunkte der beiden korrespondierenden Maßstabsebenen sich jeweils in

unmittelbarer Nähe befinden. Lediglich die Entsprechungen der beiden Negativpunkte und der beiden Stationspunkte im See weichen geringfügig voneinander ab (rechter Bildbereich):

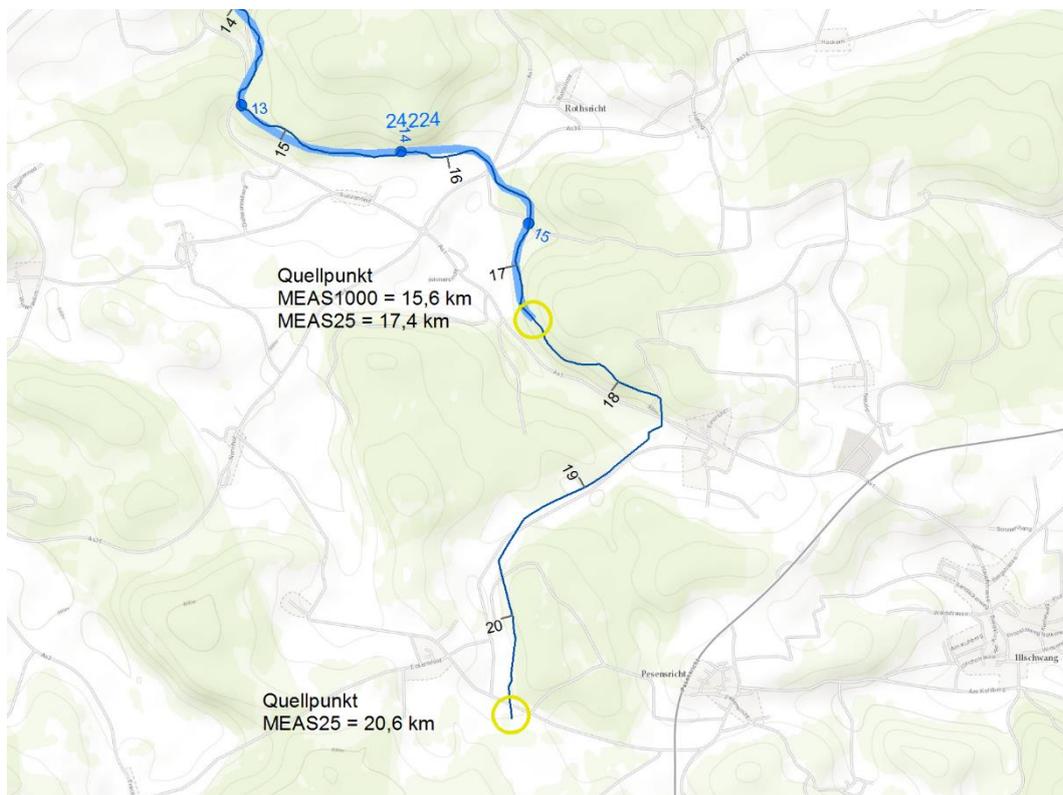


**Abbildung 5: Schematische Darstellung der Kalibrierungspunkte nach Passpunkt-Methode (Quellpunkte gelb, Mündungspunkte grün, Stationspunkte dunkelblau, Negativpunkte rot)**  
©Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

Da die räumliche Nähe der Punkte zueinander zunächst nicht berücksichtigt wird, ist es zur korrekten Übernahme der Stationierung notwendig, dass die Geometrien in beiden Maßstäben das repräsentierte Gewässer in gleicher realweltlicher Ausdehnung abbilden. Dies erfordert maßstabsübergreifend konsistente Daten und vergleichbare Modellierungsregeln. Dazu gehören z.B. realweltlich lagekonsistente Quellpunkte der Gewässerläufe. Das bedeutet, dass die kleinmaßstäbliche Darstellung die gleichen Erfassungsgrenzen der Gewässerläufe aufweisen soll wie die großmaßstäbliche, genauere Darstellung. In den vorliegenden Daten des FGN25 und des D1000W gibt es teilweise Unterschiede im Erfassungsbereich der Gewässer. Die Repräsentation im Maßstab 1:25.000 umfasst teilweise längere Quellbereiche als im D1000W, weil z.B. temporär wasserführende Abschnitte oder Sickerstrecken im FGN25 auch erfasst wurden. Das Gewässer im D1000W ist nicht nur aufgrund von Generalisierungseffekten kürzer dargestellt, sondern der Quellpunkt im D1000W bildet einen anderen realweltlichen Punkt ab als der Quellpunkt im FGN25. Dies führt zu semantischen Fehlinterpretationen bei der

Übernahme der Stationierung, da zwei nicht vergleichbare realweltliche Quellpunkte einander zugeordnet werden.

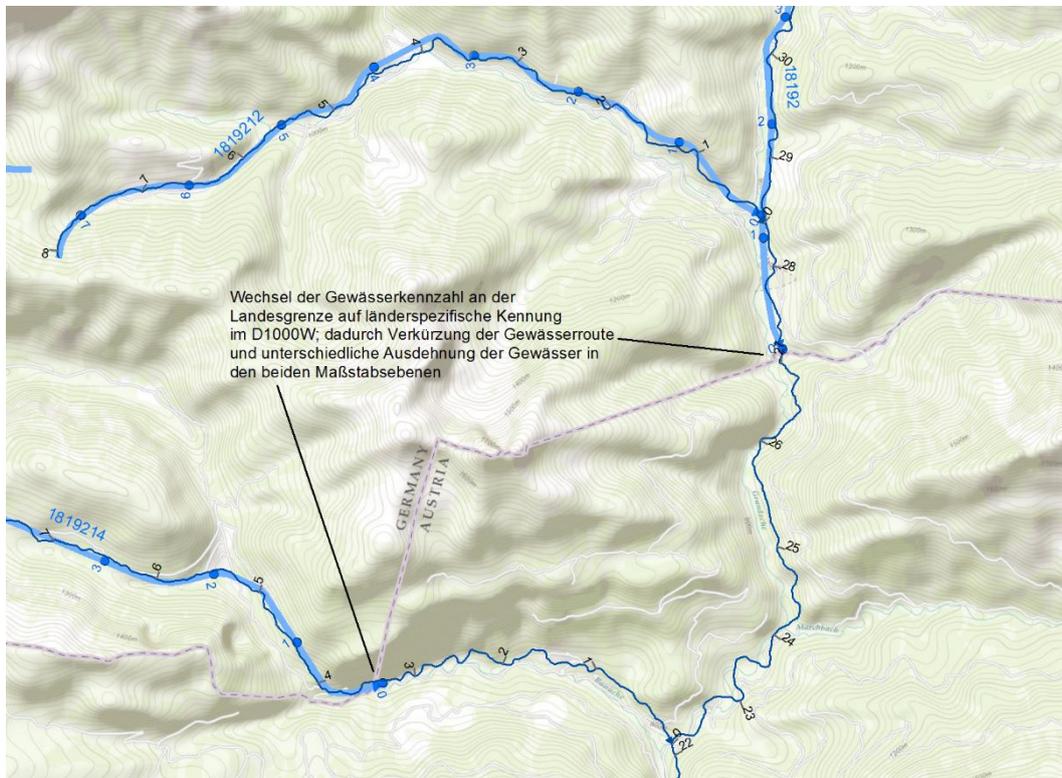
In folgender Abbildung ist das Gewässer des FGN25 aufgrund des Unterschiedes in der Erfassungsgrenze wesentlich länger dargestellt als das Gewässer des D1000W. Die Zuordnung des Measure-Wertes des Quellpunktes des FGN25 zum topologischen Passpunkt des D1000W ist fachlich nicht korrekt; der nächstgelegene Measure-Wert des topologischen Passpunktes des D1000W ist über 3 km geringer als der tatsächlich zugeordnete. Modellunterschiede zwischen den Maßstabsebenen wirken sich also auf die Korrektheit der Kalibrierung mittels Passpunkten aus. Hier ist eine manuelle Angleichung der Datenerfassungsgrenzen notwendig. Auf manuelle Anpassungen wird allerdings in allen drei Methoden verzichtet. Die Ergebnisse gehen unkorrigiert in die Bewertung mit ein, um den manuellen Aufwand aus den daraus folgenden Fehlern im Methodenvergleich ebenfalls bewerten zu können.



**Abbildung 6: Unterschiedliche Quellpunkte von Gewässern aufgrund von unterschiedlichen Erfassungsgrenzen der Maßstabsebenen**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung; BKG

Weiterhin ist aufgrund eines Modellunterschiedes zwischen FGN25 und D1000W die Darstellung der grenzüberschreitenden Gewässer nicht vergleichbar, da im D1000W die Gewässerkennzahlen an der Landesgrenze auf eine länderspezifische Kennung (z.B. AT, CZ...) wechseln, während die deutsche

Gewässerkennzahl in einem separaten Feld weitergeführt wird. Im FGN25 hingegen ist die deutsche Kennzahl auch außerhalb von Deutschland beibehalten worden, so dass die Gewässerrouten auf Basis der Kennzahl im FGN25 wesentlich länger dargestellt werden als im D1000W. Die automatisierte Ableitung der Gewässerkennzahlen führt also bei Gewässern des FGN25 und D1000W, die die Grenze überschreiten, zu unterschiedlichen Ergebnissen, da die D1000W-Gewässer die deutsche Kennzahl im Ausland nicht fortführen und die deutschen Kennzahlen an der Grenze enden.



**Abbildung 7: Unterschiedliche Ausdehnung von Gewässern aufgrund von Wechsel der D1000W-Gewässerkennzahlen an der Landesgrenze**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

Wie oben beschrieben wird auch hier auf eine manuelle Anpassung des Datenmodells des D1000W verzichtet, damit die Aufwände der verschiedenen Kalibrierungsmethoden vergleichbar bleiben.

Die oben genannten Gegebenheiten führen bei der Kalibrierung dazu, dass fachlich falsche Stationierungswerte von FGN25 auf D1000W übernommen werden. Für die Durchführung der Kalibrierung werden zunächst dennoch alle Punkte einander zugeordnet. Anhand der Qualitätsprüfung kann anschließend festgestellt werden, wo die oben genannten Modellunterschiede zu falschen Stationierungswerten im D1000W führen und welche Punkte daher von der Kalibrierung ausgeschlossen werden sollten bzw. wo manueller Nachbearbeitungsbedarf besteht.

### 3.2.2 Erstellung der Passpunkte

Als Passpunkte sollen aus beiden Maßstabsebenen Quellpunkte, Stationspunkte, Negativpunkte und Mündungspunkte einander zugeordnet werden.

#### 3.2.2.1 Quellpunkte

Quellpunkte sind geodatentechnisch die Endpunkte der Gewässerroute und tragen den Maximal-Measure-Wert einer Gewässerroute.

Für die Erstellung der Geometrie der Quellpunkte werden die Stützpunkte der Geometrie in Punkt-Features umgewandelt. Da die stationierte Route des Gewässers von Mündung zu Quelle gerichtet ist, entspricht der Quellpunkt dem Routenendpunkt. Das Punktfeature des Quellpunktes wird nach der Geometrieerstellung auf der Gewässerroute verortet und mit dem Measure-Wert der Stationierung der entsprechenden Maßstabsebene versorgt. In Fällen, in denen der Quellpunkt einer Route mit dem Mündungspunkt einer oder mehrerer anderer Routen identisch ist (z.B. Donau Quellpunkt = Zusammenfluss / Mündungspunkt von Brigach und Breg) liefert dieser Arbeitsschritt auch ohne Suchradius mehrere Treffer. Die relevanten Quellpunkte der Routen können selektiert werden, da die getroffenen Routen-Gewässerkennzahlen mit den Gewässerkennzahlen der Routen-Endpunkte übereinstimmen müssen. Das Ergebnis ist eine Event-Tabelle mit 2.315 Einträgen (ein Quellpunkt pro Gewässer), die anschließend wieder als persistentes Shapefile gespeichert wird. Für die Zuordnung der Quellpunkte des Maßstabes 1:25.000 ist als eindeutiges Attribut die Gewässerkennzahl notwendig, außerdem wird natürlich der Measure-Werte des Maßstabes 1:25.000 zur Kalibrierung benötigt. Am Datenbestand der D1000W-Quellpunkte wird neben der Gewässerkennzahl außerdem der Measure-Wert des D1000W-Gewässernetzes zur Qualitätskontrolle mitgeführt.

Das Ergebnis der Quellpunkterstellung ist pro Maßstab ein Datenbestand mit folgenden Attributen:

#### Quellpunkte des D1000W:

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des Quellpunktes des unkalibrierten D1000W-Gewässernetzes)

#### Quellpunkte des FGN25:

- GEWKZ (Gewässerkennzahl FGN25)
- MEAS25 (Measure-Wert des Quellpunktes des FGN25-Gewässernetzes)

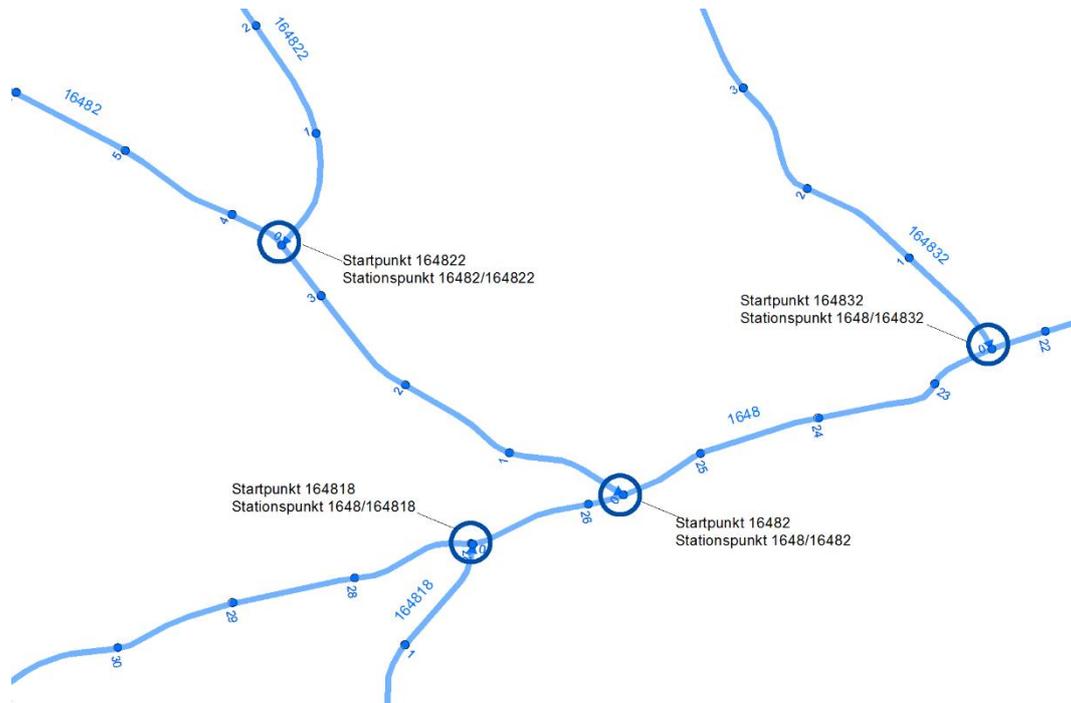
Insgesamt wird für jede zu Gewässerroute genau ein Quellpunkt erstellt. Es resultieren für jede Maßstabebene 2.315 Quellpunkte.

### **3.2.2.2 Stationspunkte**

Stationspunkte befinden sich am Schnittpunkt zweier Gewässerrouten und tragen den Stationierungswert des Hauptgewässers am Zuflusspunkt des einmündenden Gewässers.

Für die Erstellung der Stationspunkte werden wie bei den Quellpunkten zunächst die Geometrie-Stützpunkte in Punkt-Features umgewandelt. Die Stationspunkte entsprechen den Anfangspunkten der Route. Bei der Erstellung der Anfangspunkte der Route werden die Gewässerkennzahlen der zufließenden Gewässer als Attribut mitgeführt (GWK bzw. GEWKZ des Nebengewässers).

Wie bei den Quellpunkten wird das Punktfeature nach der Geometrieerstellung mit dem Measure-Wert der Stationierung der entsprechenden Maßstabebene versorgt, indem die Punktfeatures auf den Gewässerrouten verortet werden. Da die Anfangspunkte einer Route räumlich im Regelfall den Schnittpunkten der zufließenden Route mit dem Hauptgewässer entsprechen, werden bei diesem Prozess zwei Routen getroffen (Mündungs- bzw. Negativpunkt der zufließenden Route [Nebengewässer] und Stationspunkt der Hauptgewässerroute). Für die Stationspunkte relevant sind nur die Measure-Werte der Hauptgewässerroute, diese sind stets größer 0 und können somit selektiert werden. Weiterhin wird die Gewässerkennzahl der Hauptgewässerroute als Attribut übernommen.



**Abbildung 8: Erstellung der Stationspunkte des Hauptgewässers aus den Startpunkten der Nebengewässer am Beispiel des D1000W-Gewässernetzes**  
© Geobasisdaten BKG

Somit ergibt sich bei der Stationspunkterstellung pro Maßstab ein Datenbestand mit folgenden, für die eindeutige maßstabsübergreifende Zuordnung notwendigen Attributen:

#### Stationspunkte des D1000W:

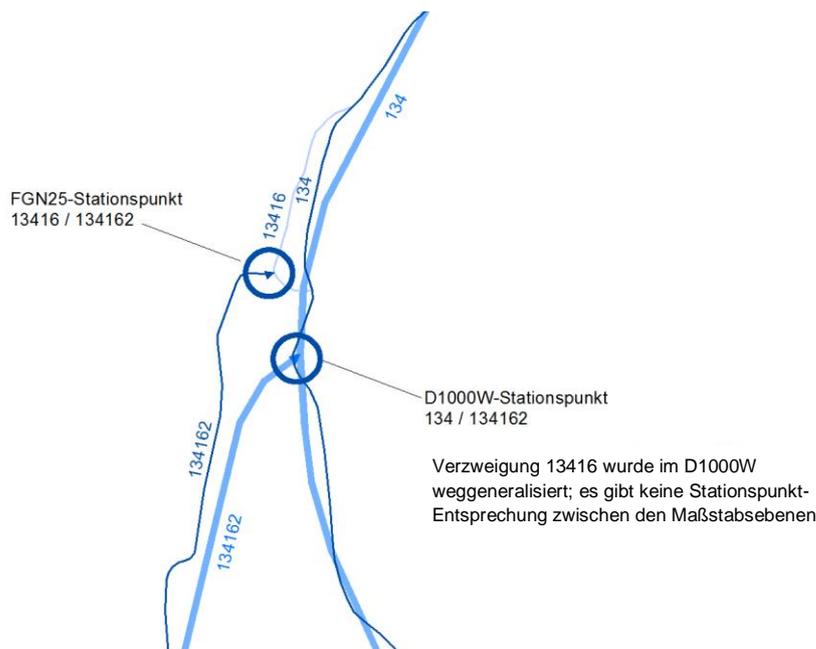
- GWK HG (Gewässerkennzahl Hauptgewässer)
- GWK NG (Gewässerkennzahl Nebengewässer = zufließendes Gewässer)
- MEAS1000 (Measure-Wert des Stationspunktes des unkalibrierten D1000W-Gewässernetzes)

#### Stationspunkte des FGN25:

- GEWKZ HG (Gewässerkennzahl Hauptgewässer)
- GEWKZ NG (Gewässerkennzahl Nebengewässer = zufließendes Gewässer)
- MEAS25 (Measure-Wert des Stationspunktes des FGN25-Gewässernetzes)

Eine zu kalibrierende Route kann zwischen 0 (bei keinem zufließenden Gewässer) und  $n$  Stationspunkten (bei  $n$  zufließenden Gewässern) haben. Für die Gewässerrouten der vorliegenden Datenbestände ergeben sich für das D1000W insgesamt 2.002 Stationspunkte, während das FGN25 nur 1.955 Stationspunkte aufweist. Die unterschiedliche Anzahl der erstellten Stationspunkte kann verschiedene fachliche Ursachen haben.

Unterschiede können daraus resultieren, dass im D1000W Generalisierungseffekte von Gewässerverzweigungen vollzogen werden. Diese führen dazu, dass Nebengewässer nicht direkt in das Hauptgewässer münden, sondern in eine Verzweigung des Hauptgewässers mit abweichender Gewässerkennzahl, die im D1000W maßstabsbedingt nicht dargestellt wird.



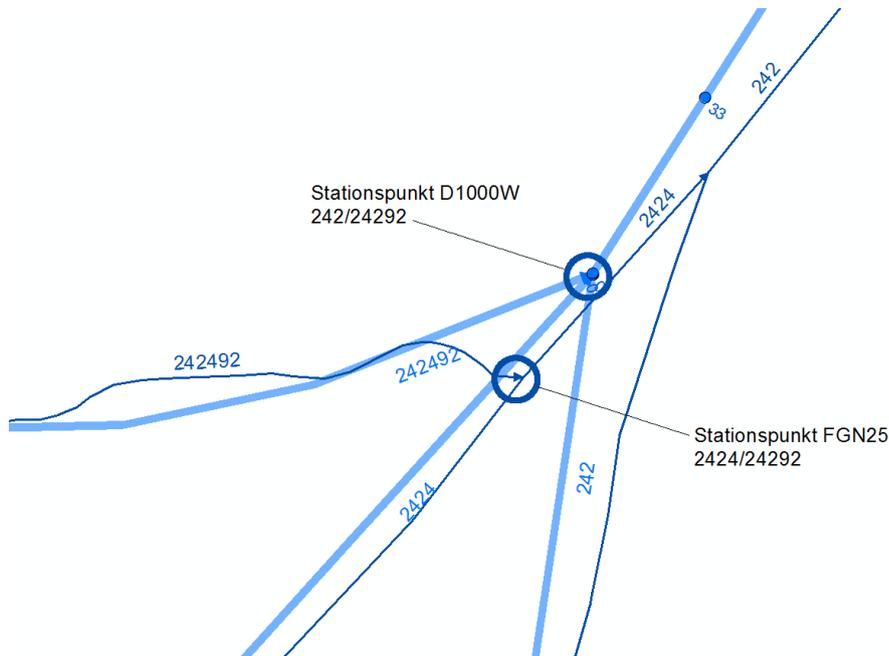
**Abbildung 9: Generalisierungsbedingte Unterschiede im Verzweigungsbereich eines Gewässers**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

Somit schneidet der Anfangspunkt der Nebengewässerroute die Hauptgewässerroute nicht und im FGN25 wird kein Stationspunkt erstellt.

Die Stationspunkte des D1000W, die keine Entsprechung im FGN25 haben, werden von der Kalibrierung ausgeschlossen; dies betrifft 71 Stationspunkte des D1000W.

Andererseits sind auch Stationspunkte im FGN25 erstellt worden, die keine Entsprechung im D1000W haben, da entweder die Darstellung der Gewässer des D1000W im Grenzbereich unvollständig ist (Beispiele werden im Kapitel 3.2.1 dargestellt) oder das Gewässernetz des D1000W aufgrund von

Generalisierungseffekten topologisch anders als im FGN25 abgebildet ist, so dass sich eine abweichenden Netztopologie und somit andere Kombinationen von Haupt- und Nebengewässerkennzahlen ergeben.



**Abbildung 10: Unterschiedliche Topologie der Gewässernetze der verschiedenen Maßstabsebenen**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

Gelegentlich existieren in den D1000W-Grundlagendaten fehlerhafte Fließrichtungen der Gewässer, die dazu führen, dass nach der Stationierung die Gewässerrouten am Quellpunkt mit dem Measure-Wert 0 beginnen und somit die falsche Stationierungsrichtung aufweisen. Stationspunkte können am Mündungspunkt dieser Routen nicht erstellt werden, da ja der Routenstartpunkt als Geometrie verwendet wird, der jedoch bei der Measure-Wert-Abfrage auf kein Hauptgewässer trifft. Diese Routen werden im Zuge der fachlichen Qualitätssicherung noch aussortiert und gehen dann unkalibriert in die Bewertung der Stationierungsqualität mit ein.



**Abbildung 11: Falsche Stationierungsrichtung im D1000W führt zu fehlender Stationspunkterstellung mit dem Hauptgewässer**  
© Geobasisdaten: BKG

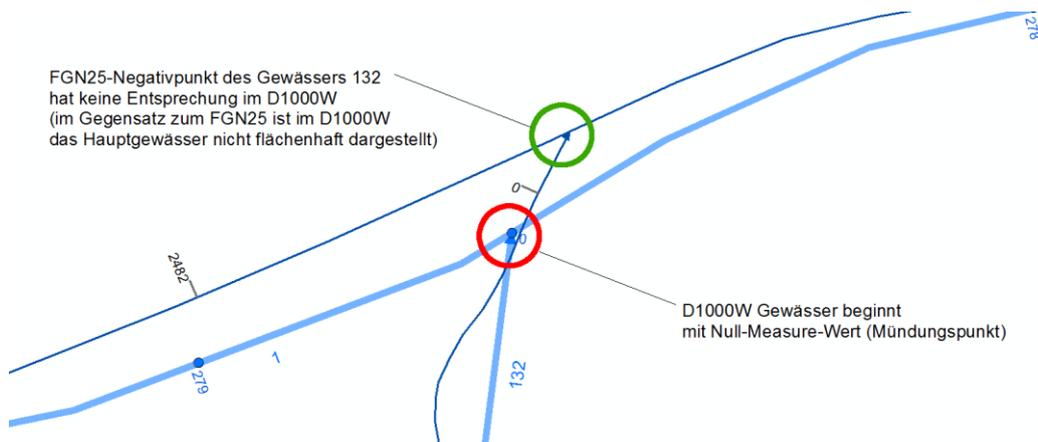
Im FGN25 konnten 24 Stationspunkte keiner Entsprechung im D1000W zugeordnet werden.

Nach Entfernung der D1000W-Stationspunkte und FGN25-Stationspunkte ohne Entsprechung im jeweils anderen Maßstab verbleiben in jedem Datenbestand 1931 eindeutig einander zugeordnete Stationspunkte.

### 3.2.2.3 Negativpunkte

Negativpunkte sind geodatentechnisch die Startpunkte der Route innerhalb von flächenhaften Gewässern und weisen den Minimal-Measure-Wert des Gewässers auf.

Die Erstellung der Negativpunkte erfolgt mit den gleichen Arbeitsschritten wie die Erstellung der Stationspunkte. Zunächst werden die Anfangspunkte der Routen als Punktfeature abgelegt. Nach Versorgung der Punkt-Geometrien mit den Measure-Werten durch die Verortung der Punkte an den Gewässerrouten können die Negativpunkte selektiert werden (negativer Measure-Wert). Negativpunkte werden nur dann kalibriert, wenn in beiden Maßstabsebenen eine negative Stationierung vorliegt. Aufgrund der unterschiedlichen Erfassungsgrenzen für flächenhaft dargestellte Gewässer sind dies im D1000W sehr viel weniger Gewässer als im FGN25 (D1000W: 78 Negativpunkte, FGN25: 1.328 Negativpunkte).



**Abbildung 12: Beispiel eines Negativpunktes im FGN25 ohne Entsprechung im D1000W**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

Im FGN25 fehlt zudem ein Negativpunkt, der im D1000W vorhanden ist, da der Punkt außerhalb Bayerns liegt. Im FGN25 werden außerhalb Bayerns die Modellierungsvorgaben der zuständigen Bundesländer übernommen, die teilweise keine flächenhaften Fließgewässer bei der Stationierung berücksichtigen, also fehlt dieser Negativpunkt. Für die Kalibrierung des D1000W werden nur die Negativpunkte, die in beiden Maßstabsebenen vorliegen, berücksichtigt. Bei der Negativpunkte-Erstellung wird je Maßstabsebene ein Datenbestand mit folgenden Attributen erstellt:

#### Negativpunkte des D1000W:

- GWK (Gewässerkennzahl)
- MEAS1000 (Measure-Wert des Negativpunktes des unkalibrierten D1000W-Gewässernetzes)

#### Negativpunkte des FGN25:

- GEWKZ (Gewässerkennzahl)
- MEAS25 (Measure-Wert des Negativpunktes des FGN25-Gewässernetzes)

Es gibt in den beiden Maßstabsebenen je 77 korrespondierende Negativpunkte, die in die Kalibrierung des D1000W eingehen.



Für Mündungspunkte (Nullpunkte der Route) ist es nicht notwendig, Measure-Werte aus dem FGN25 auf die Mündungspunkte des D1000W zu übertragen, denn der Wert eines Mündungspunktes ist stets 0. Die Mündungspunkte des D1000W gehen in die Kalibrierung mit fixiertem Measure-Wert 0 ein und dienen als feststehende Bezugsgrößen, damit nach der Kalibrierung die Nullpunkte einer Route auch exakt auf den Mündungen liegen, d.h. auf dem Schnittpunkt zweier Gewässerrouten bzw. dem Schnittpunkt einer Gewässerroute mit der Uferlinie eines flächenhaften Gewässers. Auch aus technischer Sicht ist dies notwendig, damit ein Gewässer, das weder Nebengewässer noch Negativstationierung aufweist, mindestens zwei Kalibrierungspunkte hat (Quell- und Mündungspunkt), da eine Kalibrierung mit nur einem Kalibrierungspunkt technisch nicht durchführbar ist. Für alle der insgesamt 2.315 zu kalibrierenden Gewässer ist ein Mündungspunkt (Routennullpunkt) zu erstellen.

Obwohl die Übertragung des Measure-Wertes des Nullpunktes von FGN25 auf D1000W nicht notwendig ist, werden auch die FGN25-Nullpunkte erstellt, um bei der Qualitätssicherung der Passpunktzurordnung zumindest die räumliche Komponente überprüfen zu können. Dies erfolgt über einen Distanzabgleich der einander zugeordneten Nullpunkte. Die Erstellung der Nullpunkte erfolgt über Eventtabellen, die alle vorkommenden Gewässerkennzahlen und den Measure-Wert 0 als Lageinformation enthalten. Anschließend werden die Punkte unter Bezug auf Gewässerkennzahl und Stationierungswert als Ereignis-Layer dargestellt.

Für jede Gewässerroute des D1000W wird ein Nullpunkt erstellt (2.315 Nullpunkte). Im FGN25 können nur für 2.313 der 2.315 Gewässerrouten Nullpunkte erstellt werden, da es zwei Gewässer gibt, die bereits eine fachliche Kalibrierung mit einem Measure-Wert-Versatz an der Landesgrenze aufweisen. Das bedeutet, dass der minimale Measure-Wert der Stationierung größer als 0 ist, da die dargestellte Gewässergeometrie nicht bis zur realweltlichen Mündung des Gewässers reicht. Hiervon betroffen sind die Donau (Mündung ins Schwarze Meer, Geometrie beginnt aber erst bei km 2160,939) und die Mies / Beraun (Mündung in die Moldau, Geometrie beginnt aber erst bei km 130,100).

Für die Kalibrierung werden für beide Maßstabsebenen die Nullpunkte mit folgenden Attributen erstellt:

**Nullpunkte des D1000W:**

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des Nullpunktes = 0)

**Nullpunkte des FGN25:**

- GEWKZ (Gewässerkennzahl FGN25)
- MEAS25 (Measure-Wert des Nullpunktes = 0)

Es gibt in beiden Maßstabsebenen 2.313 Nullpunkte, die einander zugeordnet werden können.

**3.2.3 Automatisierte Zuordnung**

Die automatisierte topologische Zuordnung der Measure-Werte der verschiedenen Maßstabsebenen zueinander erfolgt über die Verbindung der Attributtabelle der verschiedenen Passpunkt-Typen über das gemeinsame eindeutige Attribut der Gewässerkennzahl bzw. bei Stationspunkten über die Kombination der Gewässerkennzahlen. Die räumliche Lage der Passpunkte zueinander wird bei der Zuordnung zunächst nicht berücksichtigt, geht aber in die Qualitätskontrolle als Bewertungskriterium der fachlichen Verwendbarkeit der Punkte mit ein. Bereits bei der Erstellung der Passpunkte wird abgeglichen, welche Punkte in beiden Maßstabsebenen vorkommen und Punkte ohne Entsprechung im korrespondierenden Maßstab aus den Daten entfernt. Details hierzu sind in Kapitel 3.2.4.1 dargestellt.

Durch die Verknüpfung der Attributtabelle der verschiedenen Maßstäbe ergeben sich erweiterte Tabellen mit folgenden Informationen:

**Quellpunkte:**

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des Quellpunktes des unkalibrierten D1000W-Gewässernetzes)
- GEWKZ (Gewässerkennzahl FGN25)
- MEAS25 (Measure-Wert des Quellpunktes des FGN25-Gewässernetzes)

**Stationspunkte:**

Zur Verknüpfung der Stationspunkte wird aus den Feldern, die die Gewässerkennzahl des Hauptgewässers und die Gewässerkennzahl des Nebengewässers enthalten, ein neues Feld erstellt. Dieses Feld kombiniert die beiden Gewässerkennzahlen und dient als eindeutiges Identifikationsfeld.

- GWK HG\_NG (Gewässerkennzahl D1000W Hauptgewässer und Nebengewässer)
- MEAS1000 (Measure-Wert des Stationspunktes des unkalibrierten D1000W-Gewässernetzes)
- GEWKZ HG\_NG (Gewässerkennzahl FGN25 Hauptgewässer und Nebengewässer)
- MEAS25 (Measure-Wert des Stationspunktes des FGN25-Gewässernetzes)

**Negativpunkte:**

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des Negativpunktes des unkalibrierten D1000W-Gewässernetzes)
- GEWKZ (Gewässerkennzahl FGN25)
- MEAS25 (Measure-Wert des Negativpunktes des FGN25-Gewässernetzes)

**Nullpunkte:**

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des Nullpunktes = 0)
- GEWKZ (Gewässerkennzahl FGN25)
- MEAS25 (Measure-Wert des Nullpunktes = 0)

### 3.2.4 Qualitätskontrolle

#### 3.2.4.1 Überprüfung der Gewässerkennzahlen-Zuordnung

Die Zuordnung der Passpunkte erfolgt wie bereits erwähnt über die Gewässerkennzahlen ohne Berücksichtigung der räumlichen Lage der Punkte zueinander. Nur Punkte, deren Gewässerkennzahlen in beiden Maßstabsebenen vorkommen, werden zur Kalibrierung verwendet. Insgesamt werden im FGN25 7.911 und im D1000W 6.710 Passpunkte erstellt und soweit möglich einander zugeordnet. Bei fast jedem Passpunkttyp entfallen Punkte aus der Kalibrierung, wenn Punkttypen an Gewässerkennzahlen aufgrund von Modell- oder Erfassungsgrenzen-Unterschieden nur in einem Maßstab vorkommen (vgl. Tabelle 1).

Folgende Tabelle liefert einen Überblick über die erstellten und die für die Kalibrierung verwendbaren Punkte:

**Tabelle 1: Passpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Gewässerkennzahlen**

Passpunkt Typ	FGN25	D1000W	Punktpaare FGN25 und D1000W (für die Kalibrierung verwendbar)
Quellpunkt	2.315	2.315	2.315
Stationspunkt	1.955	2.002	1.931
Negativpunkt	1.328	78	77
Mündungspunkt	2.313	2.315	2.313

Fachliche Details bezüglich der fehlenden Entsprechung einzelner Punkte in der anderen Maßstabsebene, sind im Kapitel zur Erstellung der Passpunkte erläutert (siehe Kapitel 3.2.2).

#### 3.2.4.2 Überprüfung der Distanz der Kalibrierungspunkte

Um eine Maximaldistanz festlegen zu können, die zwei einander zugeordnete Passpunkte haben dürfen, wird der Zielmaßstab des D1000W herangezogen. Für die Darstellung einer D1000W-Geometrie im Zielmaßstab 1:1.000.000 auf einer Karte wird als Zeichnungsgenauigkeit 1 mm festgelegt, was in Realität 1.000 m entspricht. D.h. im Maßstab 1:1.000.000 werden Geometrieabweichungen ab 1.000 m als relevant eingestuft. Dies soll als Schwellenwert für die Qualität der Passpunktzuordnung dienen.

Distanzen über 1.000 m zwischen zwei Passpunkten führen dazu, dass der Passpunkt von der Kalibrierung ausgeschlossen wird. Die Berechnung der Distanz erfolgt über die Abweichungen der Koordinatenwerte x/y zwischen den Maßstabsebenen als einfache trigonometrische Berechnung (Satz des Pythagoras).

Folgende Tabelle zeigt die Anzahl der einander zugeordneten Passpunktpaare, die über eine größere Distanz als 1.000 m verfügen und daher von der Kalibrierung ausgeschlossen werden:

**Tabelle 2: Passpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Distanz**

Passpunkt Typ	Zugeordnete Passpunkte insgesamt FGN25-D1000W	Distanz FGN25-D1000W > 1.000 m	Distanz FGN25-D1000W ≤ 1.000 m (für die Kalibrierung verwendbar)
Quellpunkt	2.315	166	2.149
Stationspunkt	1.931	28	1.903
Negativpunkt	77	4	73
Mündungspunkt	2.313	62	2.253

Bei Abweichungen von mehr als 1.000 m sollte die semantische Identität der Gewässergeometrie überprüft werden, d.h. ob derselbe realweltlich Punkt abgebildet wird und die Daten einer Maßstabsebene (meist der generalisierten Maßstabsebene D1000W) ggf. angepasst werden sollten, um konsistente Datenbestände zu erhalten. Ein Beispiel eines nicht verwendbaren Mündungspunktes ist der Mündungspunkt der Eger zur Elbe, deren Geometrie im FGN25 bis zur tatsächlichen Mündung in Tschechien erfasst ist, im D1000W hingegen nur bis zur Landesgrenze reicht und somit nicht dem realweltlichen Punkt der Eger-Mündung entspricht. Diese Inkonsistenz im Grenzbereich zwischen den Maßstabsebenen hat bei verschiedenen Passpunktzuordnungen fachliche Auswirkungen und wurde in Kapitel 3.2.1 bereits erwähnt und dort auch mit einer Abbildung erläutert.

### 3.2.4.3 Überprüfung der Measure-Werte

Für die Überprüfung der zugewiesenen Measure-Werte müssen andere Qualitätskriterien festgelegt werden als ein pauschaler Abweichungs-Schwellenwert. Für die Measure-Werte-Abweichung kann kein Maximalwert von 1.000 m festgelegt werden, da insbesondere bei stark mäandrierenden Gewässern die

Abweichung aufgrund von Generalisierungseffekten im D1000W sehr viel höher ausfällt, ohne dass ein Qualitätsmangel der Zuordnung vorliegt. Dieser Generalisierungseffekt nimmt proportional zu Stationierung und Fließstrecke eines Gewässers zu.

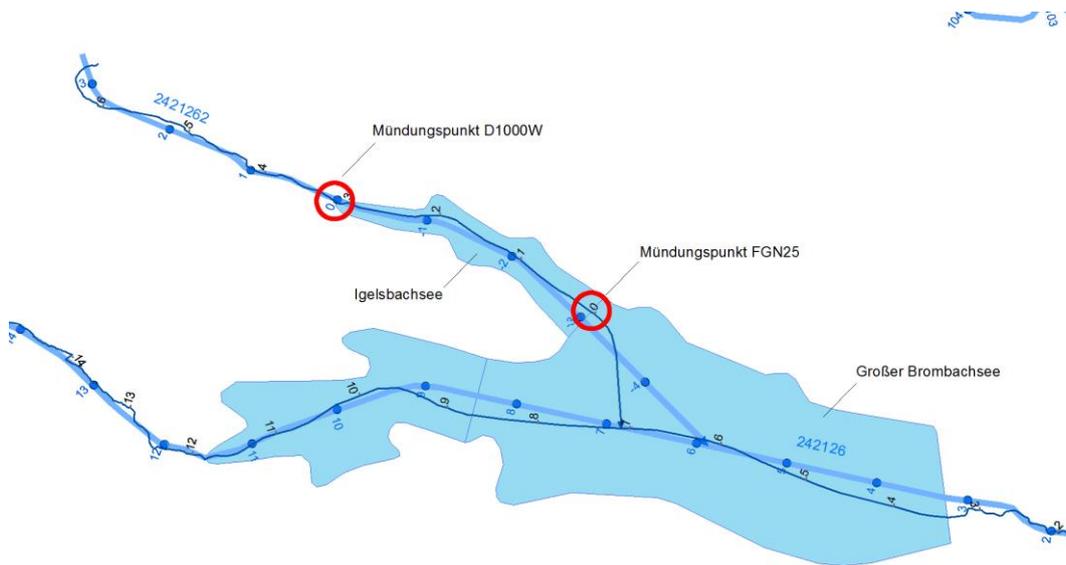
Ein Abgleich der Measure-Wert-Abweichung für Stations- oder Quellpunkte ist daher nicht sinnvoll, Mündungspunkte sind sowieso mit dem Measure-Wert 0 fixiert. Daher sollten bei der Überprüfung der Measure-Werte lediglich die Punktpaare des Typs Negativpunkt überprüft werden. Hier deuten höhere Abweichungen des Measure-Wertes darauf hin, dass ein fachlich begründeter Unterschied des Stationierungsstartwertes vorliegt (andere Modellierung der Gewässergeometrie).

Es gibt vier Negativpunkte, die aufgrund der Measure-Wert-Abweichung nicht verwendet werden:

**Tabelle 3: Passpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Measure-Wert-Abweichung**

Passpunkt Typ	Zugeordnete Passpunkte insgesamt FGN25-D1000W	Measure-Werte Abweichung FGN25-D1000W > 1.000 m	Measure-Werte Abweichung FGN25-D1000W $\leq$ 1.000 m (für die Kalibrierung verwendbar)
Negativpunkt	77	4	73

Ein Beispiel einer betroffenen Gewässerroute hat die Kennzahl 2421262 und bildet den Igelsbach ab. Die hohe Abweichung des Measure-Wertes begründet sich in der unterschiedlichen Lage des fachlichen Mündungspunktes im D1000W und im FGN25. Diese Abweichung wirkt sich auch auf die Measure-Werte der Negativpunkte der Gewässer aus. Im FGN25 wird der Igelsbachsee als durchflossener, durchstationierter Vorsee vor dem Großen Brombachsee gewertet und der Mündungspunkt befindet sich auf der Uferlinie des Großen Brombachsees, während im D1000W Igelsbachsee und Großer Brombachsee als ein einziger See dargestellt werden, so dass sich der Mündungspunkt auf der Uferlinie des Igelsbachsees befindet.



**Abbildung 15: Semantische Inkonsistenz der Gewässer-Modellierung zwischen D1000W und FGN25**  
 © Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

Dieser Lageunterschied der beiden Nullpunkte führt schon in der Distanzbewertung zu einem Ausschluss des Igelbach-Mündungspunktes. Nun zeigt sich auch bei der Überprüfung der Measure-Werte der Negativpunkte eine fachliche Inkonsistenz zwischen den Maßstabsebenen, die ebenfalls zum Ausschluss dieser Punkte führt.

#### 3.2.4.4 Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route

Nachdem die Passpunkte eliminiert wurden, die den fachlichen Qualitätsanforderungen nicht genügen, ist weiterhin zu prüfen, ob für jede zu kalibrierende Gewässerroute mindestens die technisch notwendigen zwei Kalibrierungspunkte verbleiben. Bei weniger Kalibrierungspunkten wird die gesamte Route von der Kalibrierung ausgeschlossen und muss manuell nachbearbeitet werden.

Insgesamt verbleiben bei der Passpunkt-Methode von 14.621 erstellten Passpunkten nach der fachlichen Qualitätsprüfung 6.374 einander zugeordnete Punkt-Paare für 2.285 Gewässerrouten. Von den ursprünglich 2.315 zu kalibrierenden Gewässern weisen 30 Gewässer gar keine einander sinnvoll zuzuordnenden Passpunkte auf. Entfernt man weiterhin die Gewässerrouten, die nach der fachlichen Qualitätskontrolle nur noch einen Kalibrierungspunkt aufweisen, so reduziert sich die Anzahl weiter auf 6.275 Punkt-Paare für 2.186 Gewässerrouten.

**Tabelle 4: Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route (Passpunktmethode)**

	vor fachlicher Qualitätssicherung	nach fachlicher Qualitätssicherung (FGN25 und D1000W)	Routen mit nur einem Kal.Pkt nach fachlicher Qualitätssicherung	Verwendbare Kal.Pkt (FGN25 und D1000W)
<b>Passpunkte</b>	7.911 (FGN25) 6.710 (D1000W)	6.374	99	6.275
<b>Routen</b>	2.315	2.285	99	2.186

### 3.2.5 Umsetzung der Kalibrierung des D1000W

Nach der fachlichen und technischen Qualitätskontrolle verbleiben für die Kalibrierung nur die Passpunkte, die alle Kriterien der fachlichen und technischen Qualitätsprüfung erfüllt haben.

Mit der Passpunkt-Methode können 2.186 von 2.315 Gewässerrouten automatisiert kalibriert werden. Die restlichen 129 müssen manuell nachbearbeitet werden, um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten. Die manuelle Nachbearbeitung wird nicht durchgeführt, die Routen verbleiben unkalibriert und gehen als Ergebnis in die Bewertung mit ein, um damit den potentiellen Aufwand für manuelle Nachbearbeitung zu bewerten.

Zur Durchführung der automatisierten Kalibrierung werden alle verwendbaren Kalibrierungspunkte in einer Feature-Class zusammengefügt und anschließend auf die Gewässerrouten des D1000W angewandt.

Es resultiert der mit Passpunkten kalibrierte Datenbestand der D1000W-Gewässer.

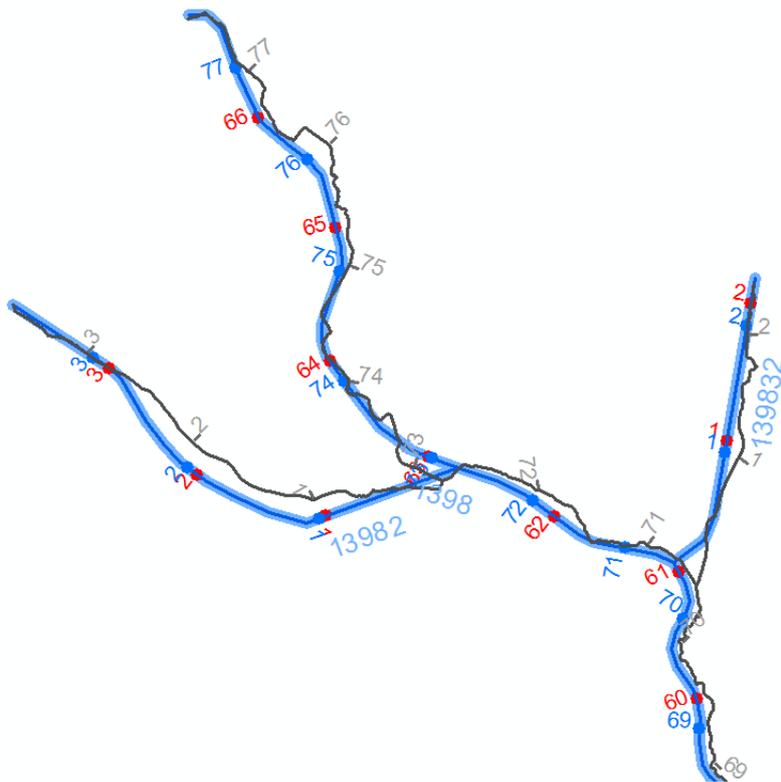


Abbildung 16: Ausschnitt D1000W – Vergleich ohne Kalibrierung (rote Stationierung) und nach der Kalibrierung mit Passpunkten (blaue Stationierung) im Vergleich zum FGN25 (grau)  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

### 3.3 Kalibrierung mittels Schnittpunkten

#### 3.3.1 Fachliche Voraussetzungen an die Daten

Die Kalibrierung mittels Schnittpunkten erfolgt anhand der räumlichen Nähe der Gewässerrouen beider Maßstabsebenen. An jedem Punkt, an dem sich die Gewässerrouen der unterschiedlichen Maßstäbe überschneiden, wird ein Kalibrierungspunkt gebildet. Anhand der Gewässerkennzahlen wird selektiert, welche Kalibrierungspunkte verwendet werden. Die Geometrie-Identität der sich entsprechenden Kalibrierungspunkte ist das entscheidende Zuordnungskriterium. Zwischen zwei Schnittpunkten wird interpoliert und außerhalb von Schnittpunkten extrapoliert. Uneinheitliche Erfassungsgrenzen zwischen den Maßstabsebenen haben daher für die Schnittpunktmethode (im Gegensatz zur Passpunktmethode, vgl. Kapitel 3.2.1) keine Relevanz.

Unterschiede in der Datenmodellierung führen dazu, dass sich die Gewässerkennzahlen einander nicht zuordnen lassen. Ein Beispiel hierfür ist, dass im FGN25 die Gewässerkennzahl im Ausland fortgeführt wird, wohingegen die Gewässerkennzahl im D1000W an der Landesgrenze auf eine länderspezifische Kennung wechselt. Die Inkonsistenz der Gewässerkennzahlen bedingt einen Ausschluss der Punkte am entsprechenden Gewässerabschnitt. Wie bei der Passpunktmethode verbleiben solche Modellunterschiede unkorrigiert im Datenbestand, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.

Es gibt keine weiteren fachlichen Voraussetzungen an die Daten, da nur im Bereich räumlicher Schnittpunkte kalibriert wird. Außerhalb von Schnittpunkten gelegene Bereiche werden aus der Stationierung zwischen den vorhandenen Schnittpunkten abgeleitet und extrapoliert.

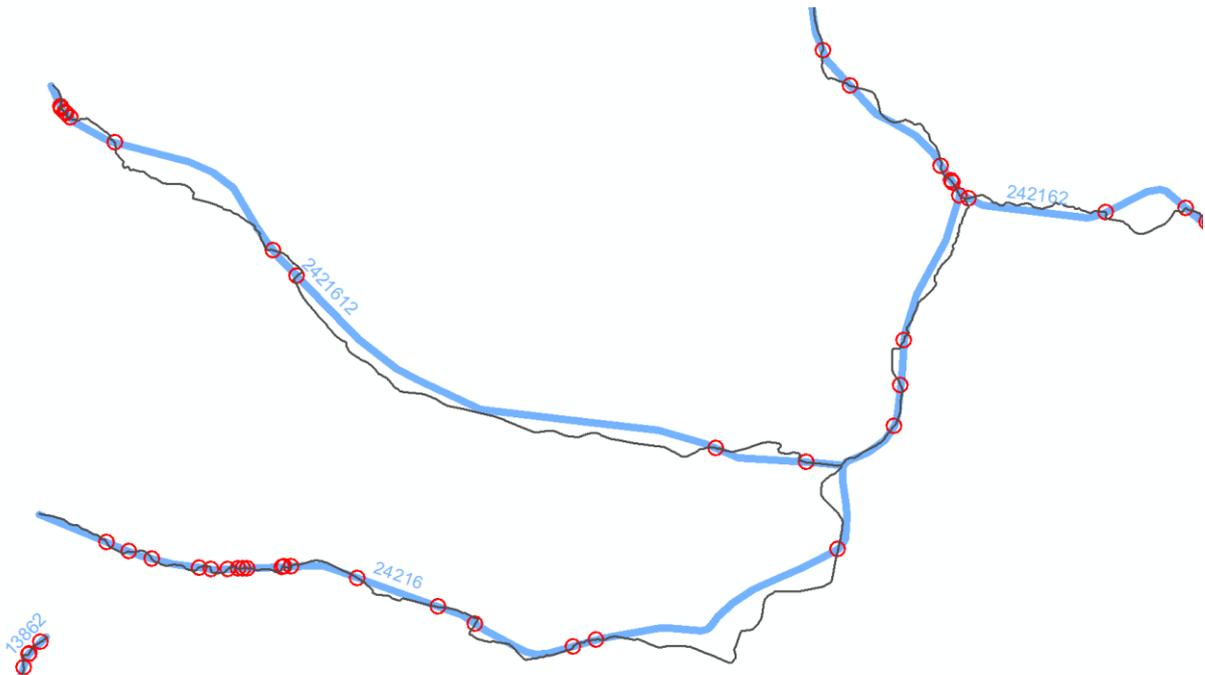
Besitzen zwei Gewässerrouen aufgrund von z.B. kartografischem Versatz keinerlei Schnittpunkte, verbleiben die Gewässerrouen des D1000W unkalibriert.

Kalibrierungspunkte aus unterschiedlichen, sich überschneidenden Gewässerrouen werden durch die Qualitätskontrolle der Gewässerkennzahlen-Zuordnung von der Kalibrierung ausgeschlossen.

#### 3.3.2 Erstellung der Schnittpunkte

Die Schnittpunkte werden durch eine geometrische Verschneidung der beiden Gewässerrouen-Datenbestände erzeugt, sofern als Ausgabe-Featuretype der Geometriety „Punkt“ gewählt wird. Alle

Attribute der beiden zugrundeliegenden Eingabedatenbestände werden übernommen. Aus der Verschneidung resultieren 66.193 Schnittpunkte.



**Abbildung 17:** Erstellung von Kalibrierungspunkten aus den Schnittpunkten (rot) der beiden Maßstabsebenen D1000W und FGN25  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

Anschließend werden die Schnittpunkte entlang der Gewässerrouten verortet und dadurch mit den Measure-Werten beider Maßstabsebenen versorgt.

Diese Arbeitsschritte liefern für die beiden Maßstabsebenen einen gemeinsamen Datenbestand mit folgenden Attributen:

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des D1000W)
- GEWKZ (Gewässerkennzahl FGN25)
- MEAS25 (Measure-Wert des FGN25)

### 3.3.3 Automatisierte Zuordnung

Die automatisierte Zuordnung der Measure-Werte der verschiedenen Maßstabsebenen erfolgt über die geometrische Identität der Schnittpunkte. Jeder Kalibrierungspunkt hat sowohl einen gemeinsamen Punkt mit den D1000W- als auch mit den FGN25-Gewässergeometrien und ist somit automatisch mit Measure-Werten aus beiden Maßstabsebenen versorgt.

### 3.3.4 Qualitätskontrolle

#### 3.3.4.1 Überprüfung der Gewässerkennzahlen-Zuordnung

Von den 66.193 erstellten Schnittpunkten können nur diejenigen für die Kalibrierung verwendet werden, die in beiden Maßstabsebenen die gleiche Gewässerkennzahl aufweisen. Schnittpunkte sich kreuzender Gewässer mit unterschiedlichen Gewässerkennzahlen werden ausgeschlossen.

Von 66.193 Schnittpunkten können 63.528 für die Kalibrierung des D1000W verwendet werden, 2665 Schnittpunkte an insgesamt 1239 zu kalibrierenden Gewässern werden aufgrund nicht übereinstimmender Gewässerkennzahlen ausgeschlossen. Aufgrund von Inkonsistenzen der Gewässerkennzahlen zwischen den Maßstabsebenen werden 69 Gewässer vollständig ausgeschlossen, da sie gar keine Kalibrierungspunkte mehr aufweisen.

**Tabelle 5: Schnittpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Gewässerkennzahlen**

	<b>Gesamt</b>	<b>Identische Gewässerkennzahl (für die Kalibrierung verwendbar)</b>
<b>Schnittpunkt</b>	66.193	63.528

#### 3.3.4.2 Überprüfung der Distanz der Kalibrierungspunkte

Die Überprüfung der Distanz entfällt bei der Schnittpunktmethode, da diese aufgrund der Geometrieidentität stets 0 beträgt.

### 3.3.4.3 Überprüfung der Measure-Werte

Eine Überprüfung der Measure-Werte-Abweichung kann wie bei den Passpunkten keinem festgesetzten Schwellenwert unterliegen, da sich mit zunehmender Lauflänge auch die Generalisierungseffekte auf die Measure-Werte aufsummieren können.

Stattdessen wird bei der Schnittpunktmethode überprüft, ob sich bei dicht aufeinanderfolgenden Kalibrierungspunkten aufgrund von Rundungsungenauigkeiten Measure-Werte des FGN25 wiederholen. Diese sind so zu reduzieren, dass jeder Kalibrierungspunkt einen eindeutigen FGN25-Measure-Wert besitzt. Gleiche FGN25-Measure-Werte an unterschiedlichen Kalibrierungspunkten resultieren in einer stagnierenden Stationierung, die bei der Abbildung von Ereignissen auf der Route zu Überlappungen führen kann, falls direkt an diesem Measure-Wert eine Änderung der Eigenschaft vorliegt. Daher werden alle Kalibrierungspunkte mit gleicher Gewässerkennzahl und gleichem FGN25-Measure-Wert so reduziert, dass nur ein Punkt erhalten bleibt (Reduktion nach aufsteigender Feature-ID, welcher Punkt erhalten bleibt, ist für den Maßstab D1000W unerheblich). Insgesamt gibt es von den Schnittpunkten mit identischer Gewässerkennzahl 297 Bereiche, in denen innerhalb von 1 m Stationierungsgenauigkeit zwei Schnittpunkte gebildet werden und denselben FGN25-Measure-Wert zugewiesen bekamen. Somit werden aufgrund gleicher FGN25-Measure-Werte 297 weitere Schnittpunkte von der Kalibrierung ausgeschlossen.

**Tabelle 6: Schnittpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Measure-Werte**

	Identische Gewässerkennzahl (für die Kalibrierung verwendbar)	Eindeutige Measure-Werte
<b>Schnittpunkte</b>	63.528	63.231

### 3.3.4.4 Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route

Ursprünglich sollten 2.315 Gewässer kalibriert werden. Für 69 Gewässer verbleiben nach der fachlichen Qualitätskontrolle gar keine Schnittpunkte, für die restlichen 2.246 Gewässerrouten sind 63.231 Kalibrierungspunkte vorhanden. Anschließend wird überprüft, ob es zu kalibrierende Gewässerrouten gibt, die nur einen einzigen Kalibrierungspunkt aufweisen. Wenn dies zutrifft, wird die gesamte Route von der Kalibrierung ausgeschlossen und muss manuell nachbearbeitet werden, da für die technisch korrekte Kalibrierung mindestens zwei Punkte notwendig sind.

48 Gewässerrouten haben nach der Entfernung der Schnittpunkte aufgrund der fachlichen Qualitätsprüfung nur einen einzigen Kalibrierungspunkt, diese werden von der Kalibrierung ausgeschlossen. Es verbleiben 63.183 Schnittpunkte für 2.198 Gewässerrouten.

**Tabelle 7: Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route (Schnittpunktmethode)**

	vor fachlicher Qualitätssicherung	nach fachlicher Qualitätssicherung	Routen mit nur einem Kal.Pkt nach fachlicher Qualitätssicherung	Verwendbare Kal.Pkt
<b>Schnittpunkte</b>	66.193	63.231	48	63.183
<b>Routen</b>	2.315	2.246	48	2.198

### 3.3.5 Umsetzung der Kalibrierung des D1000W

Insgesamt können wegen fehlender oder nur einzelner Kalibrierungspunkte 2.198 von 2.315 Gewässerrouten automatisiert mittels Schnittpunkten kalibriert werden, 117 müssen manuell nachbearbeitet werden. Wie bei der Passpunktmethode wird auf die manuelle Nachbearbeitung verzichtet; die Routen verbleiben unkalibriert im Datenbestand und die Ergebnisse gehen in die Bewertung der Kalibrierungsmethode mit ein.

Die automatisierte Kalibrierung erfolgt unter Verwendung der Schnittpunkte als Kalibrierungspunkte auf die Gewässerrouten des D1000W.

Es resultiert der mit Schnittpunkten kalibrierte Datenbestand der D1000W-Gewässer.

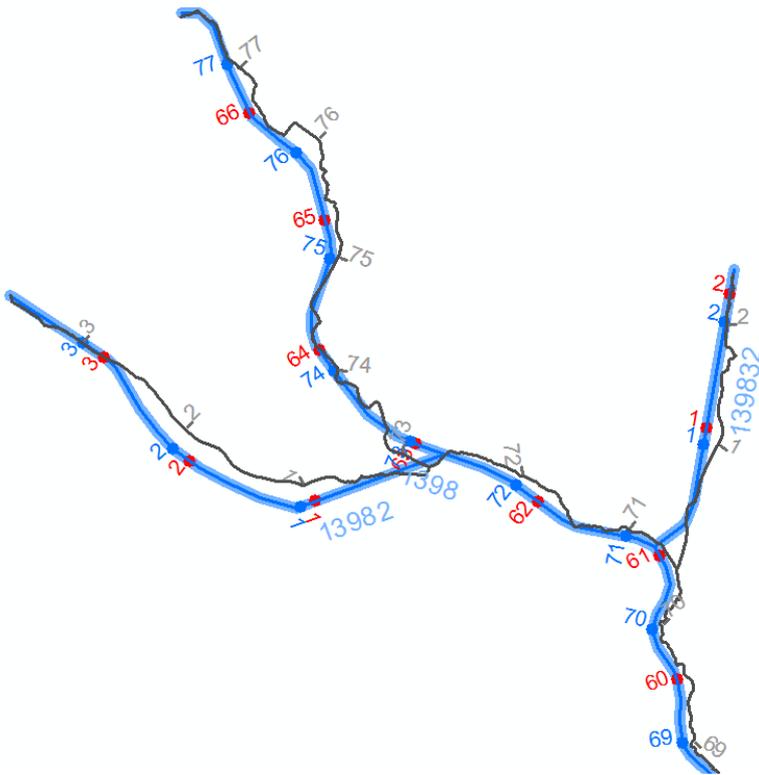


Abbildung 18: Ausschnitt D1000W – Vergleich ohne Kalibrierung (rote Stationierung) und nach der Kalibrierung mit Schnittpunkten (blaue Stationierung) im Vergleich zum FGN25 (grau)  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

## 3.4 Kalibrierung mittels Intervallpunkten

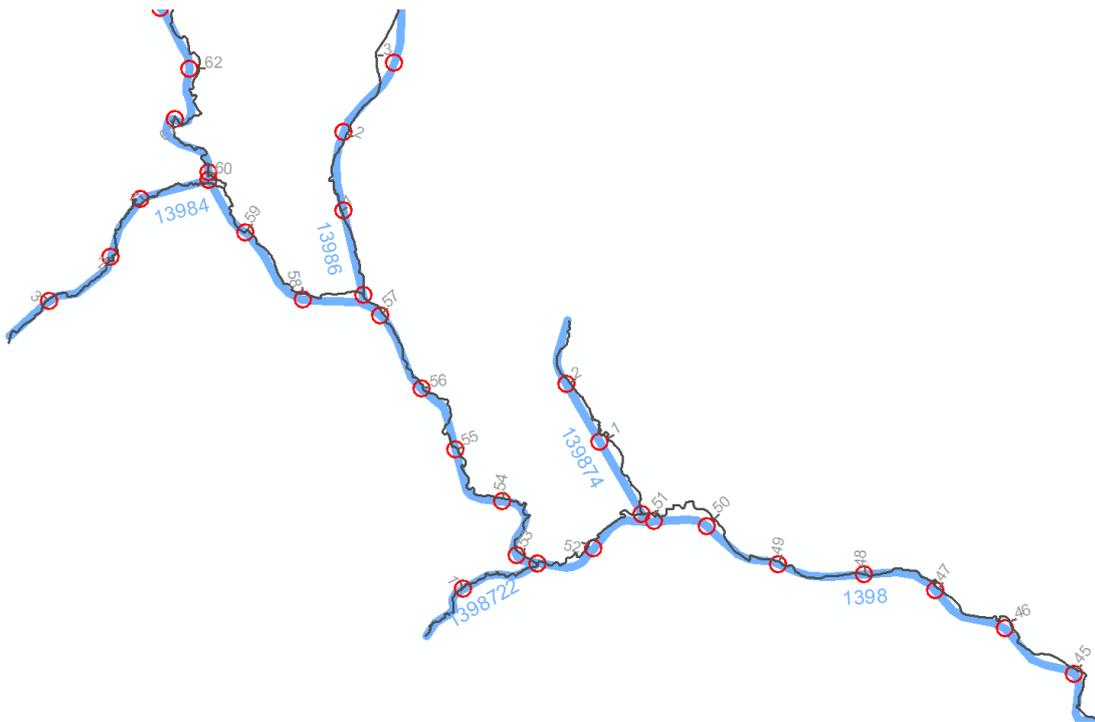
### 3.4.1 Fachliche Voraussetzungen an die Daten

Für die Kalibrierungsmethode mit Intervallpunkten wird zunächst an jedem ganzen Stationierungskilometer des FGN25 ein Punkt erstellt, der dem räumlich nächstgelegenen Punkt der D1000W-Gewässerroute zugeordnet werden soll. Die räumliche Nähe und eine übereinstimmende Gewässerkennzahl sind die entscheidenden Zuordnungskriterien. Erfassungsgrenzen-Unterschiede zwischen den Maßstabsebenen sind unkritisch, da vor und nach den letzten Kalibrierungspunkten extrapoliert wird.

Auch bei der Intervallpunktmethodode ist die korrekte Gewässerkennzahlen-Zuordnung ein Ausschlusskriterium für die Verwendbarkeit der Kalibrierungspunkte. Daher bedingen Modellunterschiede wie z.B. Wechsel der Gewässerkennzahl des D1000W an der Landesgrenze nicht zuzuordnende Punkte im Ausland, die dann von der Kalibrierung ausgeschlossen werden. Wie bei den beiden anderen Methoden werden solche Modellunterschiede nicht korrigiert, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

### 3.4.2 Erstellung der Intervallpunkte

Zunächst wird die Routen-Feature-Class des FGN25 mit einer Routenbeschriftung versehen, die an jedem Stationierungskilometer einen sogenannten „Hatch“ setzt. Hatch-Intervall und Hatch-Definition lassen sich interaktiv über das Kontext-Menü des Routenlayers festlegen. Anschließend werden die Hatches in Grafiken umgewandelt und die resultierenden Grafiken als Punkt-Features abgelegt. Somit existiert an jedem Stationierungskilometer des FGN25 eine persistente Punkt-Geometrie. Für 2.315 Gewässerrouten des FGN25 werden 32.618 Intervallpunkte erstellt. Da diese aus Grafiken abgeleitet werden, sind keinerlei Attributinformationen vorhanden. Die Attributinformationen werden durch Verortung der Features zunächst von den FGN25-Gewässerrouten abgefragt. Eine Suchdistanz ist hierbei unnötig, da die Punkte direkt aus den FGN25-Hatches generiert werden und sich somit exakt auf der Gewässergeometrie befinden. Durch diesen Schritt werden die Punkte mit Gewässerkennzahl und Stationierungswert des FGN25 versehen. Anschließend werden die Features entlang der D1000W-Routen verortet, wobei bei diesem Prozess ein relativ großer Suchradius notwendig ist, da die Distanz zur nächstgelegenen D1000W-Route nicht bekannt ist. Als Suchradius wird 1.000 m definiert, wobei mehrere Routentreffer innerhalb dieses Radius' zugelassen werden (die Selektion der korrekten Route erfolgt anschließend im Rahmen der Qualitätskontrolle durch Einschränkung auf übereinstimmende Gewässerkennzahlen).



**Abbildung 19:** Erstellung von Kalibrierungspunkten (rot) auf dem D1000W-Gewässernetz als lagenächste Punkte zu ganzen FGN25-Stationierungskilometern (grau)  
 © Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

Für die Intervallpunktmethod wird für die beiden Maßstabsebenen ein gemeinsamer Datenbestand mit folgenden Attributen erstellt:

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des D1000W)
- GEWKZ (Gewässerkennzahl FGN25)
- MEAS25 (Measure-Wert des FGN25)

### 3.4.3 Automatisierte Zuordnung

Die automatisierte Zuordnung der Measure-Werte der verschiedenen Maßstabsebenen erfolgt bei der Erstellung der Intervallpunkte über die Abfrage der nächstgelegenen Punkte der D1000W-Gewässer zu den Stationspunkten des FGN25. Dieser Schritt wurde im Kapitel 3.4.2 beschrieben, durch den hohen

Suchradius ist es wahrscheinlich, dass einem Stationspunkt des FGN25 mehrere innerhalb des Suchradius' liegende Punkte auf D1000W-Gewässern zugeordnet werden. Die Selektion der verwendbaren Punkte erfolgt im Zuge der Qualitätskontrolle.

### 3.4.4 Qualitätskontrolle

#### 3.4.4.1 Überprüfung der Gewässerkennzahlen-Zuordnung

Nach der automatisierten Zuordnung existieren für 32.618 Stationspunkte des FGN25 innerhalb des Suchradius von 1.000 Metern 46.019 korrespondierende Punkte auf D1000W-Gewässern. Bei nahe nebeneinander liegenden Gewässern im D1000W bzw. wenn das FGN25 zwischen zwei D1000W-Gewässern verläuft, werden im Suchbereich eines Stationspunktes des FGN25 mehr als ein D1000W-Gewässer gefunden. Hier ist festzuhalten, dass das korrekte Gewässer des D1000W durchaus weiter als ein anderes D1000W-Gewässer vom Stationspunkt des FGN25 entfernt sein kann. Durch die Einschränkung auf identische Gewässerkennzahlen in beiden Maßstabsebenen reduziert sich die Anzahl der zugewiesenen Kalibrierungspunkte auf 31.039. Bei 14.980 Punkten des D1000W ist keine Übereinstimmung der Gewässerkennzahlen gegeben. Diese werden aus dem Datenbestand entfernt.

**Tabelle 8: Intervallpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Gewässerkennzahlen**

	<b>Gesamt</b>	<b>Identische Gewässerkennzahl (für die Kalibrierung verwendbar)</b>
<b>Intervallpunkt</b>	32.618 (FGN25) 46.019 (D1000W)	31.039

#### 3.4.4.2 Überprüfung der Distanz der Kalibrierungspunkte

Durch die Einstellung eines Suchradius' von 1.000 m bei der Abfrage der Measure-Werte des D1000W werden außerhalb dieses festgelegten Bereiches keine Punkte zugewiesen. Die Überprüfung der Distanz erfolgt somit bereits bei der Erstellung der Intervallpunkte.

#### 3.4.4.3 Überprüfung der Measure-Werte

Wie bei der Schnittpunktmethode wird bei der Intervallpunktmethode geprüft, ob es identische FGN25-Measure-Werte gibt, die mehreren Kalibrierungspunkten zugeordnet werden. Dies passiert immer dann, wenn innerhalb des Suchradius' auf der korrespondierenden D1000W-Route zwei Punkte

gefunden werden, die gleichweit vom zuzuweisenden FGN25-Punkt entfernt liegen. Die Auswertung der Feldstatistik aus der Kombination vom GEWKZ und Measure-Wert des FGN25 zeigt, dass in 28 Bereichen unterschiedlichen Kalibrierungspunkten identische FGN25-Measure-Werte zugeordnet werden. Dies führt bei der Kalibrierung zu einer stagnierenden Stationierung. Daher werden wie bei den Schnittpunkten alle Kalibrierungspunkte mit gleicher Gewässerkennzahl und gleichem FGN25-Measure-Wert so reduziert, dass nur ein Punkt erhalten bleibt (Reduktion nach aufsteigender Feature-ID, welcher Punkt erhalten bleibt, ist für den Maßstab D1000W unerheblich). Insgesamt werden aufgrund identischer FGN25-Measure-Werte 28 Punkte von der Kalibrierung ausgeschlossen.

**Tabelle 9: Intervallpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen – Überprüfung der Measure-Werte**

	Identische Gewässerkennzahl (für die Kalibrierung verwendbar)	Eindeutige Measure-Werte
Intervallpunkte	31.039	31.011

#### 3.4.4.4 Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route

Von den 2.315 zu kalibrierenden Gewässern verbleiben nach der fachlichen Qualitätsprüfung für 2.298 Gewässerrouten 31.011 Kalibrierungspunkte. Für 17 Gewässer gibt es gar keine qualitätsgesicherten Kalibrierungspunkte. An 20 Gewässern sind nur einzelne Kalibrierungspunkte vorhanden, die für eine technische korrekte Kalibrierung nicht ausreichen. Daher reduziert sich die Anzahl der verwendbaren Kalibrierungspunkte weiter auf 30.991 für 2.278 Gewässer.

**Tabelle 10: Überprüfung der Anzahl der Kalibrierungspunkte je Route (Intervallpunktmethode)**

	vor fachlicher Qualitätssicherung	nach fachlicher Qualitätssicherung (FGN25 und D1000W)	Routen mit nur einem Kal.Pkt nach fachlicher Qualitätssicherung	Verwendbare Kal.Pkt (FGN25 und D1000W)
Intervall- punkte	32.618 (FGN25) 46.019 (D1000W)	31.011	20	30.991
Routen	2.315	2.298	20	2.278

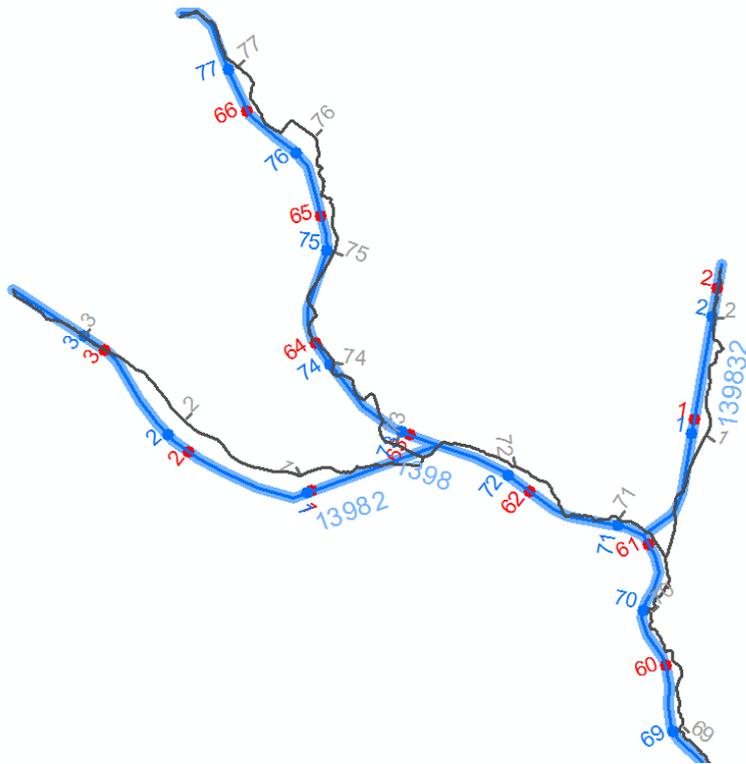
#### 3.4.5 Umsetzung der Kalibrierung des D1000W

Insgesamt können wegen fehlender oder nur einzelner Kalibrierungspunkte 2.278 von 2.315 Gewässerrouten mittels Intervallpunkten automatisiert kalibriert werden, 37 müssen manuell nachbearbeitet werden. Wie bei den anderen Methoden wird auf die manuelle Nachbearbeitung

verzichtet. Die Routen verbleiben unkalibriert um Datenbestand und die Ergebnisse gehen in die Bewertung der Kalibrierungsmethode ein.

Die automatisierte Kalibrierung wird mit den Intervallpunkten als Kalibrierungspunkte auf die Gewässerrouten des D1000W angewandt.

Es resultiert der mit Intervallpunkten kalibrierte Datenbestand der D1000W-Gewässer.



**Abbildung 20:** Ausschnitt D1000W – Vergleich ohne Kalibrierung (rote Stationierung) und nach der Kalibrierung mit Intervallpunkten (blaue Stationierung) im Vergleich zum FGN25 (grau)  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

## 4 Ergebnisbewertung und Schlussfolgerungen

### 4.1 Ermittlung und Bewertung der Kalibrierungsgenauigkeit mittels Kontrollpunkten

#### 4.1.1 Fachliche Voraussetzung an die Daten

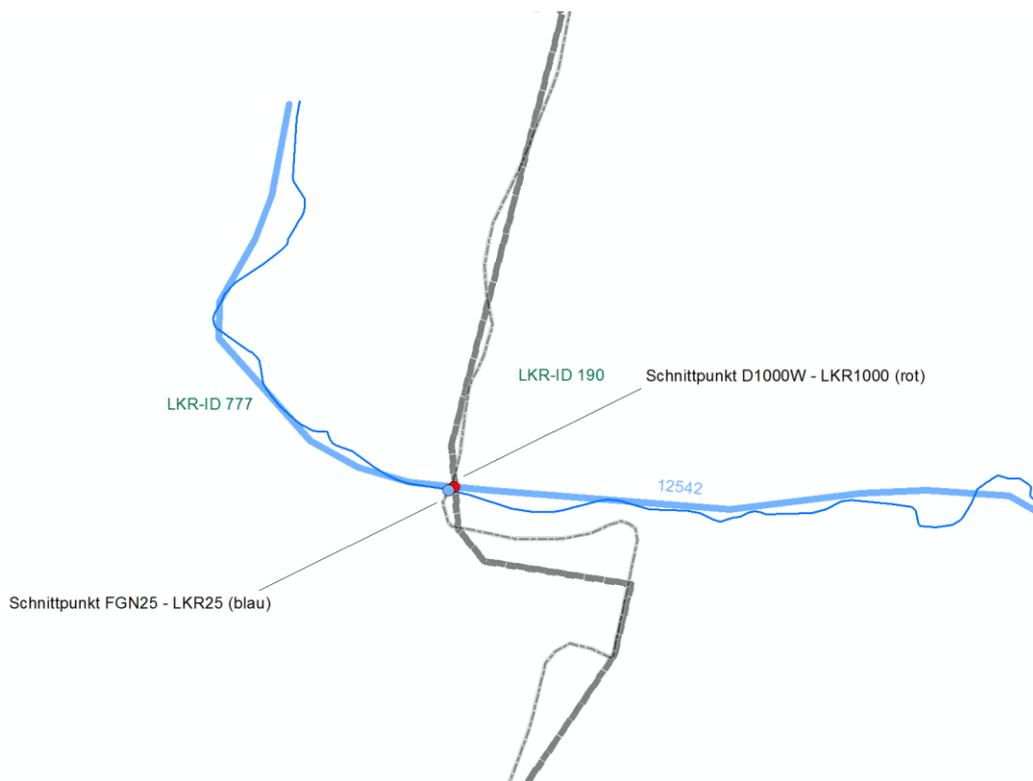
Zur Überprüfung der Genauigkeit der drei verschiedenen Kalibrierungsmethoden benötigt man Kontrollpunkte, für die der exakte Measure-Wert nach einer fehlerfreien Kalibrierung bekannt ist. Eine fehlerfreie Kalibrierung orientiert sich nicht an räumlicher Nähe der Gewässer-Geometrien zueinander (wie bei den Kalibrierungsmethoden mittels Schnitt- oder Intervallpunkten), sondern berücksichtigt die Topologie korrespondierender Karteninhalte des entsprechenden Maßstabes, so dass z.B. an in beiden Maßstäben auffindbaren Punkten der identische Measure-Wert vorliegt. Beispiele hierfür sind Knotenpunkte im Gewässernetz (= Mündungs- und Stationspunkte) oder Schnittpunkte mit anderen Karteninhalten, wie Straßen oder Verwaltungsgrenzen. Daher ist die gängige Kalibrierungsmethode auch diejenige, die Passpunkte zueinander in Beziehung stellt und z.B. an Quell- und Stationspunkten die Measure-Werte des maßgeblichen Maßstabes übernimmt. Es ist also festzuhalten, dass an Passpunkten die übernommenen Measure-Werte des Referenzmaßstabes als korrekt gelten und zur Bewertung der Genauigkeit der Kalibrierungsmethoden herangezogen werden. Um auch die Ergebnisse vergleichend bewerten zu können, ermittelt man die Abweichung des Measure-Wertes zum bekannten Soll-Measure-Wert des Kontrollpunktes. Es ist zur vergleichenden Bewertung der Passpunktmethode notwendig, als Kontrollpunkte ausschließlich Punkte zu definieren, die für die Kalibrierung selbst nicht verwendet werden. Andererseits würde die vergleichende Bewertung der Methoden auf jeden Fall zugunsten der Passpunktmethode ausfallen, da keine Abweichungen der Measure-Werte festgestellt werden könnten.

Als Kontrollpunkte sollen die Schnittpunkte der Gewässer-Geometrien mit den Landkreisgrenzen des jeweiligen Maßstabes dienen. Diese sind für beide Maßstabsebenen auffindbar und automatisiert zu erstellen sowie einander zuzuordnen. Außerdem ist die Anzahl der Kontrollpunkte hinreichend groß, so dass eine sinnvolle Bewertung der Ergebnisse möglich ist. Da nicht alle Gewässer der beiden Maßstabsebenen Schnittpunkte mit den zugehörigen Landkreisgrenzen aufweisen, werden die Kontrollpunkte nur für eine Auswahl der Gewässer generiert. Insbesondere längere Gewässer weisen aber meist Schnittpunkte mit den Landkreisgrenzen auf, so dass diese Einschränkung hingenommen wird, da davon ausgegangen werden kann, dass immer noch eine ausreichende Anzahl von Gewässern und Kontrollpunkten für die Bewertung herangezogen werden kann.

Für die Kontrollpunkte ist die korrekte Zuordnung des Referenzpunktes aus der anderen Maßstabsebene essentiell, um auch den korrekten Soll-Measure-Wert zu erhalten. Bei unsicherer Zuordnung des Referenzpunktes wird dieser als Kontrollpunkt verworfen. Für die Zuordnung ist für jeden Punkt ein Identifikationsfeld zu erstellen, das sich aus der Gewässerkennzahl und den Landkreiskennungen zusammensetzt.

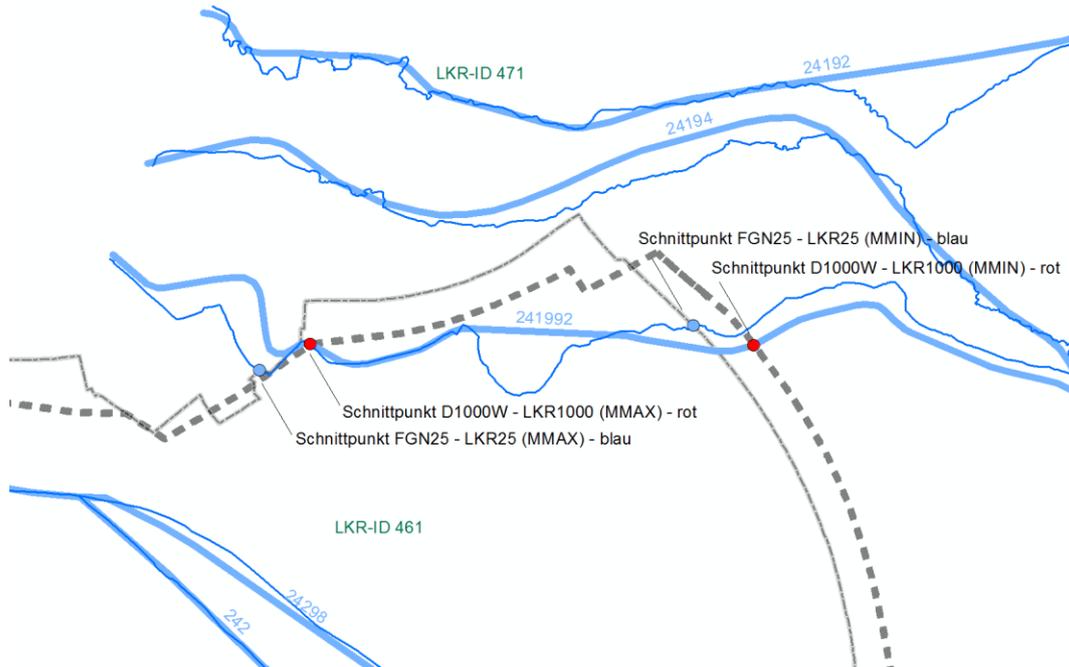
Für die Kontrollpunkte gelten für die sichere Zuordnung der Referenzpunkte der verschiedenen Maßstabsebenen folgende Festlegungen und Einschränkungen:

- Eindeutige, einzelne Schnittpunkte mit der Landkreisgrenze sind unproblematisch und werden nicht gesondert überprüft (vgl. Abbildung 21).



**Abbildung 21: Schnittpunkt eines Gewässers mit der Landkreisgrenze in beiden Maßstabsebenen (Gewässer schneidet Landkreisgrenze nur einmal)**  
 © Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

- Bei Mehrfachschnittpunkten zwischen einer Gewässergeometrie und einer Landkreisgrenze (Landkreisgrenze wird vom Gewässer mehrfach überschritten oder Landkreisgrenze verläuft auf dem Gewässer) müssen die Schnittpunkte auf diejenigen mit geringstem und höchstem Measure-Wert reduziert werden, um eindeutige Identifikatoren aus Gewässerkennzahl und Landkreis-ID erstellen zu können (vgl. Abbildung 22).



**Abbildung 22: Schnittpunkt eines Gewässers mit der Landkreisgrenze in beiden Maßstabsebenen (Gewässer schneidet Landkreisgrenze mehrfach)**  
 © Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

#### 4.1.2 Erstellung der Kontrollpunkte

Zur Erstellung der Kontrollpunkte erfolgt als erster Schritt eine geometrische Verschneidung der Gewässer mit den Landkreisgrenzen des jeweiligen Maßstabes. Definiert man als Ausgabegeometrietyp „Punkt“ und lässt sich das Ergebnis als Singlepart-Geometrien erstellen, so wird an jeder Stelle, an der ein Gewässer eine Landkreisgrenze kreuzt oder berührt, eine einzelne Punkt-Geometrie erstellt. Diese Geometrie kennzeichnet die Lage möglicher Kontrollpunkte. Da die Landkreise als Polygone modelliert sind, ergeben sich an Landkreisgrenzen, die gleichzeitig Landesgrenzen des Freistaates Bayern sind, nur einfache Schnittpunkte, während an zwei aneinandergrenzenden Landkreis-Polygonen jeweils zwei deckungsgleiche Punkte erstellt werden (vgl. Abbildung 23).



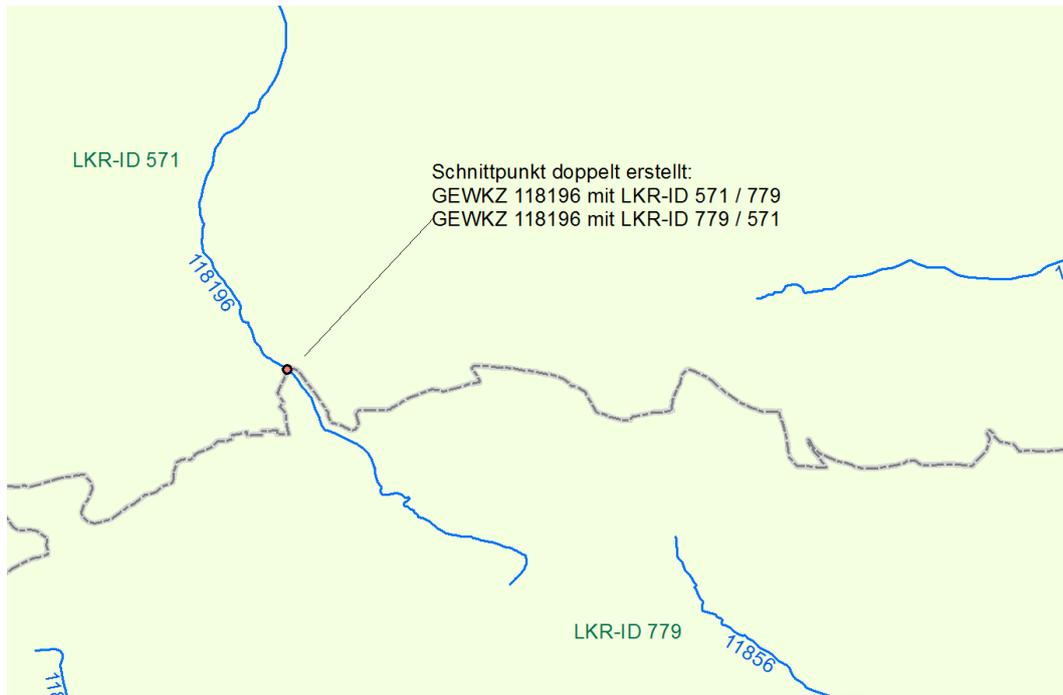
**Abbildung 23: Einfach- und Mehrfachschnittpunkte eines FGN25-Gewässers mit den Landkreisgrenzen**  
 © Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung

Nach der Verschneidung der Gewässer-Geometrien mit den Landkreisgrenzen des jeweiligen Maßstabes ergeben sich für den Maßstab 1:25.000 insgesamt 19.755 Schnittpunkte und für den Maßstab 1:1.000.000 insgesamt 3.763 Schnittpunkte (jeweils als Singlepart-Geometrien modelliert).

Um eindeutige Identifikatoren zu erstellen, die der Zuordnung der beiden Kontrollpunkte der beiden Maßstabebenen dienen sollen, wird ein Feld benötigt, das die Kombination von Gewässerkennzahl und Landkreis-ID beinhaltet. Schneidet ein Gewässer eine Landkreisgrenze mehrfach, ist zusätzlich die Angabe notwendig, ob es sich um den Minimal-Measure-Wert oder den Maximal-Measure-Wert des Schnittpunktes handelt. Zwischen den Minimal- und Maximal-Measure-Werten liegende Punkte werden als Kontrollpunkte ausgeschlossen.

Zunächst müssen also die Landkreis-IDs kombiniert werden. Dies erfolgt dadurch, dass über die Auswertung der Rechts- und Hochwerte der Schnittpunkte mittels einer Feldstatistik ermittelt wird, welche Schnittpunkte lagegleich mehrfach vorkommen. Für das FGN25 liegen nach der Schnittpunkterstellung 11.254 Einzelschnittpunkte und 4.245 Doppelschnittpunkte vor. Es gibt außerdem Mehrfachschnittpunkte (zwei Vierfach- und ein Dreifach-Treffer), die direkt an drei aneinandergrenzenden Landkreisen erstellt werden bzw. an denen Gewässer genau auf einer Landkreisgrenze zusammenfließen. Da man nicht davon ausgehen kann, dass dies im generalisierten Maßstab 1:1.000.000 ebenfalls der Fall ist, werden die Mehrfachtreffer von der weiteren Verwendung

ausgeschlossen und nur mit den Einfach- und Doppeltreffern weiter gearbeitet. Für die Einfach- und Doppeltreffer wurde bereits bei der Erstellung der Feldstatistik die jeweils erste und letzte Landkreis-ID der Koordinatenlage mit abgefragt. Bei Eintreffern sind diese beiden Felder identisch. Die Doppeltreffer tragen somit in einer Tabellenzeile die beiden angrenzenden Landkreise, die nun über eine einfache Tabellenverbindung auf Basis des Rechts-/Hochwertes an die Schnittpunkte übernommen werden kann. Jeder doppelt vorkommende Schnittpunkt ist nun mit der jeweils fehlenden Landkreis-ID als weiteres Attribut versorgt (vgl. Abbildung 24).



**Abbildung 24: Übernahme von Landkreis-IDs an Doppel-Schnittpunkten**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung

Weitere Verwendung findet jeweils nur einer der Doppel-Schnittpunkte. Der andere der lagegleichen Schnittpunkte wird aus der Verwendung als Kontrollpunkt ausgeschlossen.

Nach der Reduktion der lagegleichen Doppel-Schnittpunkte auf einen einzelnen Schnittpunkt sowie dem Ausschluss der Mehrfach-Schnittpunkte verbleiben im FGN25 noch 15.499 Schnittpunkte, die weiter verwendet werden. Im D1000W verbleiben von ursprünglich 3.763 Schnittpunkten für die weitere Verwendung 2.020 Schnittpunkte, es werden 1.683 Doppel-Treffer reduziert und 60 Mehrfachtreffer (15 Vierfach-Treffer) ausgeschlossen.

Die verbleibenden Schnittpunkte werden an den Routen des entsprechenden Maßstabes lokalisiert und der Measure-Wert abgefragt. Es resultieren zwei Ereignistabellen, die anschließend als Shapefile persistiert abgelegt werden.

Diese Daten stellen ein wichtiges Zwischenergebnis dar und enthalten folgende Attribute:

**Schnittpunkte des D1000W mit Landkreisgrenzen 1000:**

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des unkalibrierten D1000W)
- GWK\_LKR1\_2 (Kombinationsfeld aus Gewässerkennzahl und ID der vom Gewässer geschnittenen Landkreisgrenze[n])

**Schnittpunkte des FGN25 mit Landkreisgrenzen 25:**

- GEWKZ (Gewässerkennzahl FGN25)
- MEAS25 (Measure-Wert des FGN25)
- GEWKZ\_LKR1\_2 (Kombinationsfeld aus Gewässerkennzahl und ID der vom Gewässer geschnittenen Landkreisgrenze[n])

Anschließend wird überprüft, wie oft ein Gewässer die Landkreisgrenze schneidet. Über eine Feldstatistik des Kombinationsfeldes „GEWKZ\_LKR1\_2“ erhält man die Anzahl der ermittelten Kombinationen aus Gewässerkennzahl und Landkreis-ID. Gewässer, die eine Landkreisgrenze nur einmal schneiden, werden attributiv gekennzeichnet („Simple“) und gehen in die weitere Verwendung als mögliche Kontrollpunkte mit ein. Im FGN25 gibt es 592 Schnittpunkte, deren Kombinationsfeld aus Gewässerkennzahl und Landkreisgrenze nur einmal vorkommt; im D1000W sind es 636 Schnittpunkte.

Mehrfach vorkommende Kombinationen aus Gewässerkennzahl und Landkreisgrenze werden auf den jeweils minimalen und maximalen Measure-Wert reduziert, um eindeutige maßstabsübergreifende Zuordnungen zu ermöglichen. Für diesen Arbeitsschritt ist es bei der Erstellung der Feldstatistik notwendig, die je Kombination vorkommenden Minimal- und Maximal-Measure-Werte mit ausgeben zu

lassen. Die in der Feldstatistik ermittelten Minimal- und Maximal-Measure-Werte dienen gemeinsam mit dem Kombinationsfeld aus Gewässerkennzahl und Landkreisgrenze der Identifikation der entsprechenden Schnittpunkte, die über eine einfache Tabellenbeziehung erfolgt. Die Schnittpunkte mit Maximal- und Minimal-Measure-Wert der Gewässer, die eine Landkreisgrenze mehrfach schneiden, werden attributiv gekennzeichnet („MMin“ und „MMax“) und gehen in die weitere Verwendung als Kontrollpunkte ein. Liegen mögliche Kontrollpunkte so nah beieinander, dass identische Measure-Werte abgefragt werden, so reduziert man die doppelt bzw. mehrfach vorkommenden Kontrollpunkte auf nur einen Punkt. Welcher Punkt erhalten bleibt ist aufgrund der räumlichen Nähe der Punkte zueinander unerheblich.

Im D1000W gibt es 365 Gewässer, die eine Landkreisgrenze mehrfach schneiden. Im FGN25 sind dies 460 Gewässer. Daraus resultieren dann für das D1000W je 365 Schnittpunkte mit Minimal- und Maximal-Measure-Wert, für das FGN25 je 460 Schnittpunkte mit Minimal- und Maximal-Measure-Wert.

Berücksichtigt man für die weitere Verwendung als Kontrollpunkte jeweils nur noch die mit „Simple“, „MMIN“ und „MMAX“ markierten Geometrien, verbleiben im D1000W insgesamt 1.366 und im FGN25 insgesamt 1.512 mögliche Kontrollpunkte.

### **4.1.3 Qualitätskontrolle**

#### **4.1.3.1 Überprüfung der Kontrollpunkt-Zuordnung**

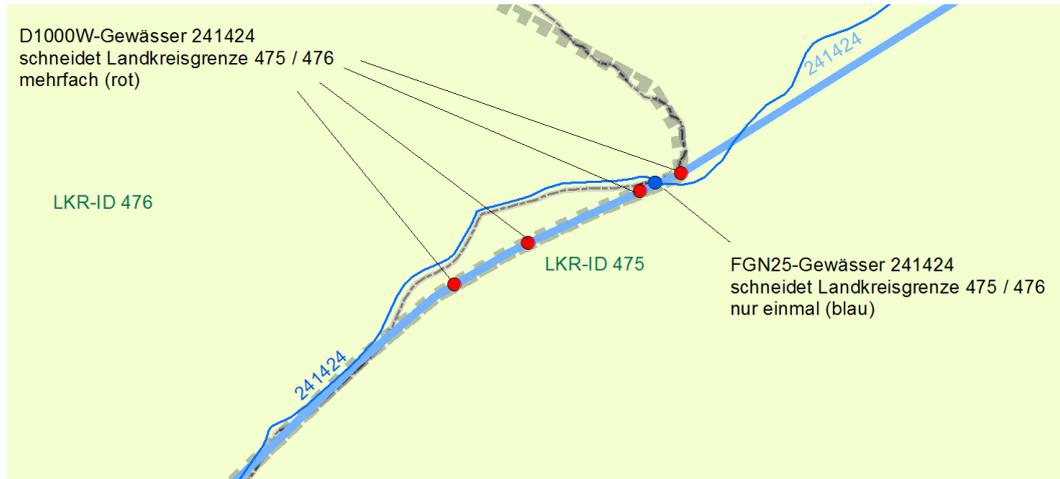
Vergleichbar mit der fachlichen Qualitätssicherung der Kalibrierungspunkte, die über die Entsprechung der Gewässerkennzahlen in beiden Maßstabsebenen erfolgt ist, wird die Verknüpfung der Kontrollpunkte über ein Verbindungsfeld erzeugt, das aus einer Kombination der Gewässerkennzahl, der geschnittenen Landkreis-ID(s) und des Schnittpunkttyps („Simple“, „MMIN“ oder „MMAX“) besteht. Kontrollpunkte ohne Entsprechung in der anderen Maßstabsebene werden ausgeschlossen.

Von 1.366 möglichen Kontrollpunkten im D1000W und 1.512 möglichen Kontrollpunkten im FGN25 finden sich 948 Punkte in beiden Maßstabsebenen, die in die weitere Verwendung eingehen. 418 Punkte des D1000W und 564 Punkte des FGN25 haben im jeweils anderen Maßstab keine Entsprechung.

Gründe hierfür können sein:

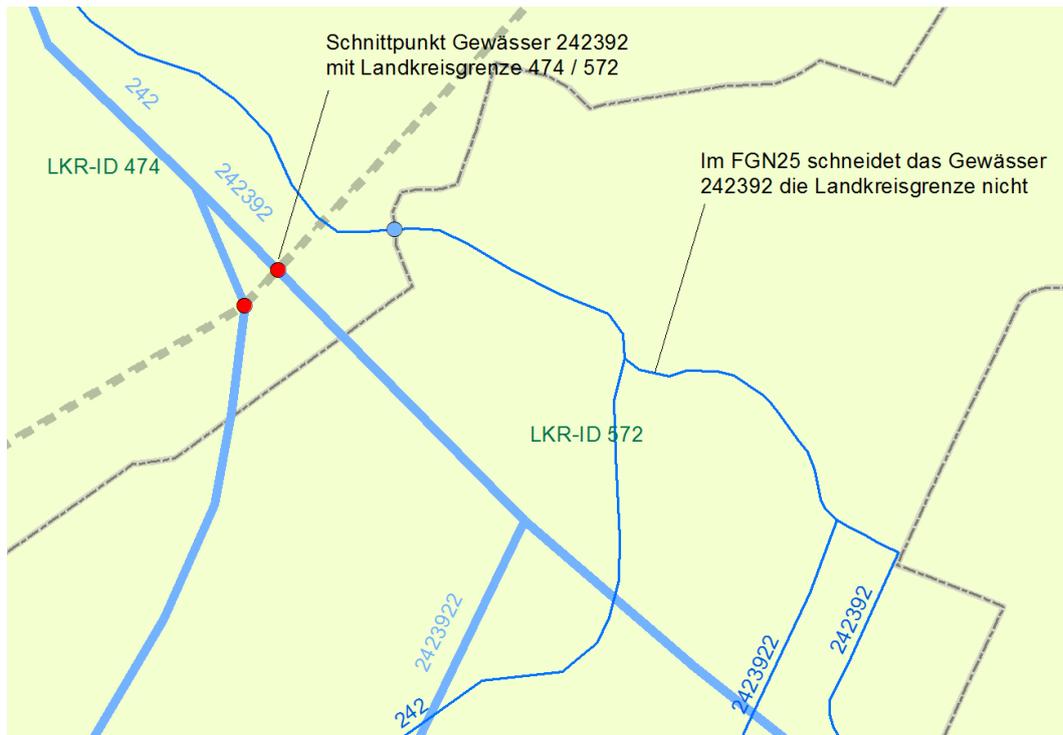
- In einem Maßstab schneidet ein Gewässer eine Landkreisgrenze mehrfach, während sie im anderen Gewässer nur einfach geschnitten wird. Dies hat zur Folge, dass keine sich

entsprechenden Schnittpunkte erzeugt werden, da sich unterschiedliche Kontrollpunkttypen („Simple“ im Gegensatz zu „MMIN“ bzw. „MMAX“) ergeben (vgl. Abbildung 25).



**Abbildung 25: Gewässer der verschiedenen Maßstabsebenen schneiden die Landkreisgrenzen unterschiedlich oft**  
© Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

- Die Gewässernetztopologie ist zwischen den Maßstabsebenen so verschoben, dass verschiedene Gewässerkennzahlen die Landkreisgrenzen schneiden. Dadurch existieren aufgrund abweichender Gewässerkennzahlen keine sich entsprechenden Schnittpunkte (vgl. Abbildung 26).



**Abbildung 26: Verschiebung der Netztopologie zwischen den Maßstabsebenen**  
 © Geobasisdaten: Bayerische Landesvermessung, BKG

#### 4.1.3.2 Überprüfung der Distanz der Kontrollpunkte

Wie bei den Kalibrierungspunkten sollen bei den Kontrollpunkten semantische Abweichungen zwischen den Maßstabsebenen ausgeschlossen werden. Als Indiz hierfür können größere Distanz-Abweichungen zwischen den entsprechenden Punkten der beiden Maßstabsebenen dienen. Auch bei den Kontrollpunkten wird mit Bezug zur Zeichnungsgenauigkeit die Distanz von weniger als 1.000 m (1 mm auf einer Karte im Maßstab 1:1.000.000) als tolerierbare Abweichung festgelegt. Die Berechnung der Distanz erfolgt wie in Kapitel 3.2.4.2 beschrieben mittels einer trigonometrischen Berechnung. Kontrollpunkte, die mehr als 1.000 m voneinander entfernt liegen, werden von der weiteren Verwendung ausgeschlossen. Von den 948 einander zugeordneten Kontrollpunkten liegen 860 innerhalb einer Distanz von 1.000 m. 88 Punkte liegen weiter als 1.000 m voneinander entfernt und werden als Kontrollpunkte ausgeschlossen.

#### 4.1.4 Bewertung der Kalibrierungsergebnisse

Nach der Qualitätssicherung entsprechend Kapitel 4.1.3 sind 860 Kontrollpunkte an 534 Gewässern des D1000W-Gewässernetzes vorhanden, für die durch eine eindeutige Zuordnung der Soll-Measure-Wert des FGN25 bekannt ist. Für 1.781 Gewässer kann keine Bewertung der Kalibrierungsergebnisse durchgeführt werden, da diese entweder die Landkreisgrenzen nicht schneiden oder die Kontrollpunkte in der Qualitätsprüfung aufgrund nicht eindeutiger Zuordnung oder zu großer Distanz ausgeschlossen werden. Die 534 bewerteten Gewässer machen mit mehr als 13.400 km realer Fließstrecke mehr als ein Drittel der gut 33.000 km Gesamt-Fließstrecke der relevanten Gewässer im FGN25 aus, daher wird diese Auswahl der Gewässer als hinreichend für eine vergleichbare Bewertung der Kalibrierungsergebnisse angenommen.

Um die Ergebnisse der drei Kalibrierungsmethoden nun bewerten zu können, muss jeder Kontrollpunkt mit dem errechneten Measure-Wert des jeweiligen kalibrierten Gewässernetzes versorgt werden. Jeder Kontrollpunkt erhält für jede Kalibrierungsmethode den Measure-Wert vom entsprechend kalibrierten D1000W-Gewässernetz. Dies erfolgt jeweils mittels der Verortung der Kontrollpunkte entlang der kalibrierten Routengeometrie der entsprechenden Kalibrierungsmethode. Der Measure-Wert der jeweiligen Methode wird als Attribut am Datenbestand der Kontrollpunkte als Attribut abgelegt. Aus diesem Arbeitsschritt resultiert ein Datenbestand, der u.a. folgende Attribute aufweist:

- GWK (Gewässerkennzahl D1000W)
- MEAS1000 (Measure-Wert des unkalibrierten D1000W-Gewässernetzes)
- MEAS25 (Measure-Wert des FGN25, der Soll-Measure-Wert des kalibrierten D1000W-Gewässernetzes)
- MEAS\_PASS (Measure-Wert des mittels Passpunkten kalibrierten D1000W-Gewässernetzes)
- MEAS\_SCHNITT (Measure-Wert des mittels Schnittpunkten kalibrierten D1000W-Gewässernetzes)
- MEAS\_INTERV (Measure-Wert des mittels Intervallpunkten kalibrierten D1000W-Gewässernetzes)

Durch den Abgleich des Soll-Measure-Wertes (MEAS25) mit den Measure-Werten der drei unterschiedlichen Kalibrierungsmethoden kann die vorhandene Abweichung ermittelt werden. Die Abweichung wird als Absolut-Wert in folgenden Attributfeldern abgelegt:

- Abw\_Pass (absolute Abweichung des Measure-Wertes des mit Passpunkten kalibrierten D1000W-Gewässernetzes zum Soll-Measure-Wert)
- Abw\_Schnitt (absolute Abweichung des Measure-Wertes des mit Schnittpunkten kalibrierten D1000W-Gewässernetzes zum Soll-Measure-Wert)
- Abw\_Interv (absolute Abweichung des Measure-Wertes des mit Intervallpunkten kalibrierten D1000W-Gewässernetzes zum Soll-Measure-Wert)

Die Measure-Werte haben die Einheit Kilometer. Abweichungen größer als 1 km werden entsprechend der Ausführungen in Kapitel 3.2.4.2 als relevant eingestuft.

Folgende Tabelle liefert einen Überblick zu den Abweichungen der Measure-Werte und die aufsummierten Abweichungen für die verschiedenen Kalibrierungsmethoden:

**Tabelle 11: Relevante Abweichungen der Measure-Werte der verschiedenen Kalibrierungsmethoden – Übersicht (inkl. nicht kalibrierter Gewässer)**

	Passpunktmethode	Schnittpunktmethode	Intervallpunktmethode
<b>Anzahl der Kontrollpunkte mit absoluter Abweichung &gt; 1 km</b>	38	25	22
<b>Anzahl Kontrollpunkte mit absoluter Abweichung &lt; 1 km</b>	822	835	838
<b>Summierte Abweichung über alle Kontrollpunkte (km)</b>	276,485	169,981	162,141

Insgesamt schneiden sowohl die Schnittpunktmethode als auch die Intervallpunktmethode besser ab als die Passpunktmethode. Insbesondere der Gesamtfehler (die summierte absolute Abweichung aller Kontrollpunkte) reduziert sich mit Schnittpunkten und Intervallpunkten im Vergleich zur Passpunktmethode deutlich. Auch die Anzahl der Kontrollpunkte mit relevanten, d.h. im Maßstab 1:1.000.000 sichtbaren Abweichungen größer als 1 km, ist bei Schnittpunkt- und Intervallpunktmethode geringer als bei der Passpunktmethode.

Für die Bewertung der Ergebnisse sollen im Weiteren die Maximal-Abweichungen der verschiedenen Methoden verglichen werden. Die folgende Tabelle listet die relevanten Abweichungen der Kalibrierungsmethoden nach absteigender Reihenfolge:

**Tabelle 12: Relevante Abweichungen der Measure-Werte der verschiedenen Kalibrierungsmethoden – Auflistung (inkl. nicht kalibrierter Gewässer)**

Abweichung (km) Passpunktmethode	Abweichung (km) Schnittpunktmethode	Abweichung (km) Intervallpunktmethode
14,985	3,966	1,383
14,223	1,401	1,334
4,779	1,350	1,290
4,436	1,340	1,230
4,336	1,229	1,225
4,171	1,224	1,198
3,321	1,204	1,160
3,126	1,194	1,158
2,784	1,180	1,152
2,634	1,177	1,149
1,895	1,146	1,143
1,836	1,122	1,094
1,620	1,116	1,089
1,604	1,098	1,073
1,481	1,089	1,053
1,465	1,083	1,048
1,363	1,078	1,047
1,358	1,060	1,044
1,317	1,058	1,033
1,298	1,044	1,016
1,260	1,041	1,009
1,241	1,039	1,007
1,203	1,031	
1,195	1,025	
1,159	1,022	
1,143		

Abweichung (km) Passpunktmethode	Abweichung (km) Schnittpunktmethode	Abweichung (km) Intervallpunktmethode
1,129		
1,128		
1,117		
1,116		
1,085		
1,080		
1,067		
1,039		
1,037		
1,028		
1,025		
1,012		

Diese Tabelle zeigt, dass bei der Passpunktmethode trotz fachlicher und technischer Qualitätssicherung zwei Kontrollpunkte Abweichungen von mehr als 14 km aufweisen. Dies lässt auf eine fehlerhafte Zuordnung der Passpunkte zueinander schließen, die trotz der Qualitätssicherungsmaßnahmen nicht erkannt wurde.

Die Kalibrierungsmethoden, die Schnittpunkte oder Intervallpunkte verwenden, schneiden wesentlich besser ab. Bei der Schnittpunktmethode gibt es nur an einem Kontrollpunkt eine Measure-Wert-Abweichung von knapp 4 km. Bei der Intervallpunktmethode gibt es gar keine Abweichungen von mehr als 2 km.

Bei jeder der zu vergleichenden Kalibrierungsmethoden gibt es Gewässer, für die nach der fachlichen und technischen Qualitätssicherung keine Kalibrierungspunkte verbleiben. Diese Gewässer gehen ohne Kalibrierung in den zu bewertenden Ausgabedatenbestand ein. Sie werden daher nicht gesondert bei der Ermittlung der Kalibrierungsgenauigkeit bewertet. Als Ergänzung zur Bewertung der Ergebnisse mittels Kontrollpunkten wird in folgender Tabelle zusammenfassend dargestellt, wie viele Gewässer je Kalibrierungsmethode nach der Qualitätssicherung keine Kalibrierungspunkte aufweisen und für eine korrekte Kalibrierung manuell nachbearbeitet werden müssen.

**Tabelle 13: Anzahl nicht kalibrierter Gewässer der verschiedenen Kalibrierungsmethoden**

	Passpunktmethode	Schnittpunktmethode	Intervallpunktmethode
<b>Anzahl nicht kalibrierter Gewässer</b>	129 von 2.315	117 von 2.315	37 von 2.315

Die Intervallpunktmethode weist mit Abstand die wenigsten Gewässer auf, für die keine qualitätsgesicherten Kalibrierungspunkte erstellt werden konnten.

Weiterhin ist relevant, wie viele nicht kalibrierte Gewässer der Ergebnisbewertung mittels Kontrollpunkten unterzogen werden:

**Tabelle 14: Anzahl nicht kalibrierter Gewässer mit Ergebnisbewertung**

	Passpunktmethode	Schnittpunktmethode	Intervallpunktmethode
<b>Anzahl nicht kalibrierter Gewässer</b>	17 von 129	5 von 117	0 von 37

Die obenstehende Tabelle zeigt, dass die nicht kalibrierten Gewässer nur teilweise und bei der Intervallpunktmethode gar nicht in die Ergebnisbewertung eingehen. Die ursprüngliche Annahme, dass sich über die nicht kalibrierten Gewässer bei der Ergebnisbewertung durch höhere Abweichungen der Ist-Measure-Werte zu den Soll-Measure-Werten der manuelle Nachbearbeitungsaufwand ermitteln lässt, muss also fallen gelassen werden. Die Ergebnisse in Tabelle 11 und Tabelle 12 sind nur bedingt aussagekräftig, da nur eine Auswahl nicht kalibrierter Gewässer in die Bewertung einfließt. Um vergleichbare Ergebnisse für die Kalibrierungsgenauigkeit zu erhalten, wird die Bewertung der kalibrierten Gewässer von der Bewertung des manuellen Nachbearbeitungsaufwandes der nicht kalibrierten Gewässer getrennt betrachtet.

Zunächst wird die Kalibrierungsgenauigkeit erneut bewertet. Hierfür werden die 534 bewerteten Gewässer weiter reduziert und diejenigen selektiert, die in allen drei Methoden qualitätsgesicherte Kalibrierungspunkte aufweisen. Insgesamt sind dies 512 Gewässer mit 835 Kontrollpunkten, die immer noch mit ca. 13.000 km mehr als ein Drittel der Gesamtließstrecke der relevanten Gewässer im FGN25 mit 33.000 km ausmachen. Die 835 Kontrollpunkte an 512 bewerteten Gewässern sind die Basis für die folgenden Auswertungen zur Kalibrierungsgenauigkeit.

Folgende Tabelle liefert einen Überblick zu den Abweichungen der Measure-Werte und die aufsummierten Abweichungen für die verschiedenen Kalibrierungsmethoden:

**Tabelle 15: Relevante Abweichungen der Measure-Werte der verschiedenen Kalibrierungsmethoden – Übersicht (exkl. nicht kalibrierter Gewässer)**

	Passpunktmethode	Schnittpunktmethode	Intervallpunktmethode
Anzahl der Kontrollpunkte mit absoluter Abweichung > 1 km	28	25	21
Anzahl Kontrollpunkte mit absoluter Abweichung < 1 km	807	810	814
Summierte Abweichung über alle Kontrollpunkte (km)	217,741	164,467	157,464

Die Anzahl der Kontrollpunkte mit Abweichungen > 1 km wird durch den Ausschluss der nicht kalibrierten Gewässer nur für die Passpunktmethode deutlich reduziert (von 38 auf 28 Kontrollpunkte). Insgesamt liegt nach dem Ausschluss der nicht kalibrierten Gewässer die Anzahl der Kontrollpunkte mit Abweichungen < 1 km relativ nah beieinander. Deutliche Unterschiede ergeben sich aber weiterhin bei der aufsummierten Abweichung. Hier schneiden sowohl Schnittpunktmethode als auch Intervallpunktmethode wesentlich besser ab als Passpunktmethode.

Betrachtet man die Maximal-Abweichungen der verschiedenen Methoden nach Ausschluss der nicht kalibrierten Gewässer, so ergibt sich folgende Auflistung (nach absteigender Reihenfolge):

**Tabelle 16: Relevante Abweichungen der Measure-Werte der verschiedenen Kalibrierungsmethoden – Auflistung (exkl. nicht kalibrierter Gewässer)**

Abweichung (km) Passpunktmethode	Abweichung (km) Schnittpunktmethode	Abweichung (km) Intervallpunktmethode
4,336	3,966	1,383
1,895	1,401	1,334
1,836	1,350	1,290
1,620	1,340	1,230
1,604	1,229	1,225
1,481	1,224	1,198
1,465	1,204	1,160
1,363	1,194	1,158
1,358	1,180	1,152
1,317	1,177	1,149
1,298	1,146	1,143
1,260	1,122	1,094
1,241	1,116	1,089
1,203	1,098	1,073
1,195	1,089	1,053
1,159	1,083	1,048
1,143	1,078	1,047
1,129	1,060	1,044
1,128	1,058	1,033
1,117	1,044	1,016
1,116	1,041	1,009
1,085	1,039	
1,080	1,031	
1,067	1,025	
1,037	1,022	
1,028		
1,025		
1,012		

Die beiden höheren Abweichungswerte von ca. 4 km bei Pass- und Schnittpunktmethode werden einzeln überprüft. Die semantische Zuordnung der entsprechenden Kalibrierungspunkte ist in beiden Fällen korrekt. Der Kontrollpunkt mit der hohen Measure-Wert-Abweichung liegt aber jeweils nicht zwischen, sondern außerhalb der Kalibrierungspunkte der zugehörigen Route. Das bedeutet, dass zur Ermittlung der Measure-Werte außerhalb der Kalibrierungspunkte extrapoliert werden muss. Dies ist anscheinend eine relevante Fehlerquelle, auf die in Kapitel 4.2.1 näher eingegangen wird.

Alle weiteren Abweichungen liegen nicht deutlich über der als relevant eingestuften Abweichung von 1 km. Keine der Abweichungen überschreitet den Wert von 2 km und damit eine Darstellungsgenauigkeit von 2 mm im Maßstab 1:1.000.000. Dies lässt den Schluss zu, dass mit einer entsprechenden Qualitätssicherung der Kalibrierungspunkte alle drei Methoden zur Kalibrierung durchaus geeignet sind und nur wenige Fehler bzw. nur Fehler von untergeordneter Relevanz resultieren.

Damit die Bewertung der Kalibrierungsergebnisse aussagekräftiger wird, wird zusätzlich zur Abweichung der Kontrollpunkte für die in allen drei Methoden kalibrierten Gewässer der Aufwand der notwendigen manuellen Nachbearbeitung der nicht kalibrierten Gewässer gewertet. Wie in Tabelle 13 dargestellt, schneidet die Intervallpunktmethode mit nur 37 nachzubearbeitenden Gewässern am besten ab. Die Passpunktmethode weist mit 129 Gewässern einen höheren Nachbearbeitungsbedarf auf, ebenso die Schnittpunktmethode mit 117 Gewässern.

Zusammenfassend dargestellt erzielt die Intervallpunktmethode von allen drei Kalibrierungsmethoden die besten Ergebnisse und den geringsten Nachbearbeitungsaufwand.

## **4.2 Schlussfolgerungen aus der Ergebnisbewertung**

### **4.2.1 Fehlerpotentiale und fachliche Anforderungen an die Grundlagendaten**

Jede der drei verschiedenen Kalibrierungsmethoden weist Vor- und Nachteile auf. Im Folgenden werden zunächst die möglichen Fehlerquellen identifiziert, wobei manche Fehlerquellen universell für alle drei Methoden gelten, während sich andere nur auf bestimmte Methoden auswirken.

Die Ermittlung der Fehlerquellen erfolgt entsprechend der in Kapitel 3.2, 3.3 und 3.4 beschriebenen Vorgehensweise anhand der nicht verwendbaren Kalibrierungspunkte, die im Zuge der Qualitätssicherung von der Kalibrierung ausgeschlossen werden. Beispiele der Fehlerquellen sind in den entsprechenden Kapiteln bereits exemplarisch und meist mit Abbildungen erläutert. Die folgende

Darstellung soll die einzelnen Fehlerquellen je Kalibrierungsmethode zusammenfassend und übersichtlich darstellen.

#### **4.2.1.1 Fehlerquellen der Passpunktmethode**

Folgende Fehlerquellen führen zu relevanten Abweichungen der Kalibrierungsergebnisse bzw. bedingen den Ausschluss von Passpunkten vom Kalibrierungsprozess und führen zu manuellem Nachbearbeitungsbedarf:

- Unterschiede in der Gewässerkennzahl

Bei fehlender Übereinstimmung der Gewässerkennzahlen fehlt das verbindende Element zwischen den Maßstabebenen und die Passpunkte können einander nicht zugeordnet werden. Die Gewässer werden von der Kalibrierung ausgeschlossen und müssen manuell nachbearbeitet werden (Anpassung der Gewässerkennzahlen). Abweichende Gewässerkennzahlen sind eine universelle Fehlerquelle, die für alle Kalibrierungsmethoden relevant ist.

- Unterschiede in der realweltlichen Abbildung der Gewässer

Für die Passpunktmethode ist die vergleichbare realweltliche Abbildung der Gewässer in beiden Maßstabebenen entscheidend, da sonst Measure-Werte an Punkte übertragen werden, die einander semantisch nicht entsprechen. Beispiele für unterschiedliche realweltliche Abbildungen sind:

- Unterschiedliche Erfassungsgrenzen (z.B. werden im genaueren Maßstab Gewässer auch dann repräsentiert, wenn die Gewässerstrecke nur temporär wasserführend ist, im generalisierten Maßstab werden nur permanent wasserführende Gewässer dargestellt)
- Unterschiedliche Abbildung der grenzüberschreitenden Gewässer (z.B. werden im genauen Maßstab die Gewässer inkl. der außerbayerischen Anteile dargestellt, im generalisierten Maßstab werden die Gewässer nur bis zur Landesgrenze dargestellt bzw. an der Landesgrenze wechselt der Identifikator des Gewässers [Gewässerkennzahl] , so dass die außerbayerischen Anteile nicht als Teil des innerbayerischen Gewässers erkannt werden)

- Unterschiede in der Datenmodellierung hinsichtlich der Darstellung flächenhafter Gewässer (z.B. werden im genauen Maßstab flächenhafte Gewässer als durchflossene Teiche dargestellt, die durchstationiert werden, während im generalisierten Maßstab eine Teichgruppe generalisiert zusammengefasst dargestellt wird, was den Mündungspunkt der zufließenden Gewässer verschiebt)
  - Unterschiede in der Netztopologie (z.B. werden im genauen Maßstab die Vorfluter-Verhältnisse aufgrund von Generalisierungseffekten anders dargestellt als im generalisierten Gewässernetz; somit tauchen andere Gewässerkennzahlen-Kombinationen der zufließenden Gewässer auf und die Punkte können einander nicht zugeordnet werden)
  - Fehlerhafte Fließrichtungen im generalisierten Netz (Vertauschung von Quell- und Mündungspunkten im generalisierten Netz und dadurch Ausschluss der Passpunkte vom Kalibrierungsprozess aufgrund zu großer Distanz zwischen den zugehörigen Passpunkten der beiden Maßstabsebenen)
- Ungenauigkeiten aufgrund fehlender Passpunkte über längere Gewässerabschnitte (Interpolation der Kalibrierung)

Fehlen über längere Gewässerstrecken Kalibrierungspunkte, so kann die resultierende Interpolation zu größeren Abweichungen vom korrekten Measure-Wert führen. Dies ist dann der Fall, wenn die Gewässerstrecke zwischen den Kalibrierungspunkten von der Linienführung nicht homogen ist, d.h. wenn Teilbereiche stark mäandrieren, während andere Bereiche geradlinig verlaufen. Durch die gleichförmige Aufteilung der Measure-Werte zwischen den Kalibrierungspunkten im Zuge der Interpolation kommt es zu Verschiebungen der Measure-Werte. Die Ungenauigkeit aufgrund der Interpolation der Kalibrierung ist eine universelle Fehlerquelle, die für alle Kalibrierungsmethoden relevant ist, sofern größere Abstände zwischen den Kalibrierungspunkten bestehen.

- Ungenauigkeiten aufgrund fehlender Passpunkte an Mündung oder Quelle (Extrapolation der Kalibrierung)

Measure-Werte am Beginn und am Ende der Gewässerrouten werden extrapoliert, wenn kein Passpunkt die Gewässerroute an Mündung oder Quelle abschließt. Die extrapolierten Werte werden auf Basis der Measure-Wert-Verteilung zwischen den beiden letzten Passpunkten berechnet, die der zu extrapolierenden Strecke am nächsten liegt. Bei abweichender Linienführung im Vergleich zum Abschnitt zwischen diesen beiden letzten Passpunkten können sich hier größere Abweichungen der Measure-Werte vom korrekten Wert ergeben. So führt z.B. eine stark mäandrierende Gewässerstrecke zwischen den letzten beiden Punkten für eine extrapolierte begradigte Strecke zu höheren Measure-Werten als tatsächlich korrekt ist. Die Ungenauigkeit aufgrund der Extrapolation der Kalibrierung ist eine universelle Fehlerquelle, die für alle Kalibrierungsmethoden relevant ist, sofern die kalibrierte Gewässerroute nicht mit einem Kalibrierungspunkt abgeschlossen wird.

#### **4.2.1.2 Fehlerquellen der Schnittpunktmethode**

- Unterschiede in der Gewässerkennzahl

Hier gilt das gleiche wie in Kapitel 4.2.1.1 beschrieben.

- Unterschiede in der realweltlichen Abbildung der Gewässer

Unterschiede in der realweltlichen Abbildung der Gewässer sind eigentlich nur für die Passpunktmethode relevant. Bei der Schnittpunktmethode werden die Gewässerabschnitte, die keine Entsprechung im anderen Maßstab haben, einfach über die Extrapolation mit in die Kalibrierung einbezogen. Die Extrapolation kann aber ebenfalls eine relevante Fehlerquelle für Ungenauigkeiten sein (siehe Erläuterungen zur Extrapolation in Kapitel 4.2.1.1). Allerdings sind die Abweichungen in jedem Falle von geringerer Auswirkung als wenn semantisch unterschiedliche Quell- oder Mündungspunkte einander zugeordnet werden, wie dies bei der Passpunktmethode der Fall ist.

- Fehlende Schnittpunkte zweier Gewässer

Wenn zwei einander entsprechende Gewässer so abgebildet sind, dass keine Schnittpunkte existieren, so müssen diese Gewässer einander manuell zugeordnet werden. Dies kann z.B. bei einem kartografischen Versatz eines Gewässers entlang einer Straße vorkommen und trotz Lagenähe und geometrischer Ähnlichkeit dazu führen, dass keine Schnittpunkte vorhanden sind.

- Ungenauigkeiten aufgrund fehlender Schnittpunkte über längere Gewässerabschnitte (Interpolation der Kalibrierung)

Hier gilt das gleiche wie in Kapitel 4.2.1.1 beschrieben.

- Ungenauigkeiten aufgrund fehlender Schnittpunkte an Mündung oder Quelle (Extrapolation der Kalibrierung)

Hier gilt das gleiche wie in Kapitel 4.2.1.1 beschrieben.

#### **4.2.1.3 Fehlerquellen der Intervallpunktmethod**

- Unterschiede in der Gewässerkennzahl

Hier gilt das gleiche wie in Kapitel 4.2.1.1 beschrieben.

- Unterschiede in der realweltlichen Abbildung der Gewässer

Hier gilt das gleiche wie in Kapitel 4.2.1.2 beschrieben.

- Ungenauigkeiten aufgrund fehlender Intervallpunkte über längere Gewässerabschnitte (Interpolation der Kalibrierung)

Hier gilt das gleiche wie in Kapitel 4.2.1.1 beschrieben. Allerdings wird durch die regelmäßig über die komplette Route vorhandenen Intervallpunkte der Interpolationsfehler nur dann relevant, wenn eine Zuordnung der Punkte über längere Gewässerabschnitte nicht gelingt, weil z.B. die Distanz der Gewässer zueinander zu groß oder weil die realweltliche Abbildung der Gewässer der einzelnen Maßstabsebenen unterschiedlich ist. In diesen Fällen ist die Lageentsprechung der Gewässer zu prüfen und die generalisierte Geometrie ggf. anzupassen.

- Ungenauigkeiten aufgrund fehlender Intervallpunkte an Mündung oder Quelle (Extrapolation der Kalibrierung)

Hier gilt das gleiche wie in Kapitel 4.2.1.1 beschrieben. Auch bei der Extrapolation gilt einschränkend, dass aufgrund der regelmäßig über die komplette Route vorhandenen Intervallpunkte der Extrapolationsfehler nur dann relevant wird, wenn eine Zuordnung der Punkte über längere Gewässerabschnitte nicht gelingt. In diesen Fällen ist wie beim Interpolationsfehler die Lageentsprechung der Gewässer zu prüfen und die generalisierte Geometrie ggf. anzupassen.

#### 4.2.2 Zusammenfassung der Fehlerpotentiale

Die folgende Tabelle zeigt mögliche Fehlerquelle je Methode als Überblick.

Tabelle 17: Mögliche Fehlerquellen der Kalibrierungsmethoden

	Passpunkt- methode	Schnittpunkt- methode	Intervallpunkt- methode
<b>Gewässerkennzahlen- Abweichung</b>	+	+	+
<b>Unterschiedliche realweltliche Abbildung</b>	+	O (Erläuterung siehe Kap. 4.2.1.2)	O (Erläuterung siehe Kap. 4.2.1.3)
<b>Interpolation der Kalibrierung</b>	+	+	O (Erläuterung siehe Kap. 4.2.1.3)
<b>Extrapolation der Kalibrierung</b>	+	+	O (Erläuterung siehe Kap. 4.2.1.3)
<b>Fehlende Schnittpunkte aufgrund des kartografischen Versatzes</b>	-	+	-

+ = relevant

-- nicht relevant

O= unter Umständen relevant

Die Übersicht zeigt, dass insbesondere Abweichungen der Gewässerkennzahlen, die den fachlichen und im Falle der Kalibrierung auch den technischen Schlüssel für den Prozess darstellen, grundsätzlich und bei jeder Methode nachbearbeitet werden müssen.

Unterschiede in der realweltlichen Abbildung der Gewässer sind für die Passpunktmethode relevant. Bei Intervall- und Schnittpunktmethoden gilt diese Fehlerquelle nur eingeschränkt und führt ggf. zu größeren Abweichungen von Soll-Measure-Werten aufgrund von Inter- oder Extrapolation. Weitere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 4.2.1.2 und 4.2.1.3.

Die Fehler aufgrund von Inter- und Extrapolation tauchen bei der Passpunktmethode genauso wie bei der Schnittpunktmethode immer dann auf, wenn längere Gewässerstrecken ohne Kalibrierungspunkte existieren. Bei der Intervallpunktmethoden hat diese Fehlerquelle aufgrund der regelmäßig verteilten Kalibrierungspunkte nur untergeordnete Bedeutung und wirkt sich nur dann aus, wenn auch im definierten Suchradius der Intervallpunkte (im vorliegenden Fall 1.000 Meter) keine Kalibrierungspunkte auf dem generalisierten Gewässernetz zugeordnet werden können.

Dass ein Gewässer trotz identischer Gewässerkennzahl, ähnlicher Abbildung und räumlicher Nähe nicht kalibriert werden kann, kommt nur bei der Schnittpunktmethoden vor, wenn die Gewässer einen gegenseitigen durchgängigen Versatz aufweisen, so dass es zu keinen Schnittpunkten zwischen den Geometrien kommt.

Zusammenfassend dargestellt weist die Intervallpunktmethoden die geringsten Fehlerpotentiale auf. Dies bestätigt die Bewertung der Ergebnisse aus Kapitel 4.1.4.

### **4.2.3 Handlungsempfehlungen und Beispielanwendungen**

Aus den bisherigen Erkenntnissen der Arbeit lassen sich nun für alle drei Kalibrierungsmethoden Handlungsempfehlungen ableiten.

Die Passpunktmethoden eignen sich zur Kalibrierung von Stationierungen insbesondere dann, wenn sichergestellt werden soll, dass an neuralgischen Punkten im topologischen Netz ein korrekter Kalibrierungswert vorliegt, denn nur die Passpunktmethoden berücksichtigt die Topologie der Gewässer. Ein Beispiel für eine solche fachliche Anforderung kann z.B. sein, dass an Netzknoten eine Veränderung einer Eigenschaft auftritt, die sich direkt aus der Netztopologie ableiten lässt. Dies ist z.B. bei Abflusswerten von Gewässern der Fall, die sich direkt am mündenden Nebengewässer durch dessen Zufluss erhöhen und ggf. kartografisch über die Linienstärke der Gewässergeometrie dargestellt werden

sollen. Eine Abweichung der Measure-Werte in diesem Bereich führt zu einer Verschiebung der Linienstärke entlang der Gewässer-Geometrien, wodurch die fachliche Interpretation der Abflusswerte mit Fehlern behaftet ist. Ein weiteres Beispiel ist die Geschwindigkeitsbegrenzung auf Verkehrsnetzen, die sich an Verwaltungsgrenzen ändert (innerörtlich und außerörtlich). Auch bei diesem Beispiel ist die exakte Übernahme der Measure-Werte am Übertrittspunkt der Route an der Verwaltungsgrenze für die fachliche Korrektheit notwendig.

Die Schnittpunktmethode eignet sich aufgrund der hohen Anzahl von Kalibrierungspunkten zur Anwendung immer dann, wenn eine hohe Genauigkeit der Measure-Wert-Übertragung erforderlich ist. Allerdings muss einschränkend erwähnt werden, dass bei automatisierter Kalibrierung geprüft werden muss, ob es längere Strecken ohne Kalibrierungspunkte gibt, für die dann die oben bereits erwähnten Fehlerquellen der Inter- und Extrapolation ohne ausreichender Anzahl von Kalibrierungspunkten relevant werden. Daher ist die Schnittpunktmethode mit dem Argument der hohen Anzahl der Kalibrierungspunkte auf jeden Fall der Intervallpunktmethode unterlegen, die eine ähnlich hohe Anzahl an Kalibrierungspunkten für exakte Measure-Wert-Übernahmen aufweist.

Insgesamt schneidet die Intervallpunktmethode von allen drei Methoden am besten ab. Dies gilt sowohl für die Kalibrierungsgenauigkeit, die manuellen Nachbearbeitungsaufwände und die Fehlerpotentiale. Wenn auf die exakte Übernahme von Measure-Werten an Netzknoten oder anderen, in beiden Maßstäben vorhandenen Punkten verzichtet werden kann, so ist die Intervallpunktmethode den anderen Kalibrierungsmethoden überlegen.

Wenn man mehrere Kalibrierungsmethoden kombinieren möchte, so ist die ideale Vorgehensweise der Kalibrierung die Anwendung der Intervallpunktmethode, die durch qualitätsgesicherte Passpunkte ergänzt wird. Dies können alle in beiden Maßstäben eindeutig identifizierbaren und identisch abgebildeten Passpunkte sein. Man erreicht durch die Kombination dieser beiden Methoden durch die hohe Anzahl der Intervallpunkte eine sehr hohe Kalibrierungsgenauigkeit, die durch die wichtigsten Passpunkte mit topologischem Bezug zur Maßstabsebene ergänzt wird.

## 5 Zusammenfassung

Die Übertragung der Stationierung von Routensystemen von genauen auf generalisierte Maßstäbe ist ein notwendiger Prozess, um Eigenschaften der Routen mittels linearer Referenzierung maßstabsunabhängig lagerichtig darstellen zu können. Stationierungsabweichungen zwischen Netzen unterschiedlicher Maßstäbe führen aufgrund von Generalisierung der Geometrien in kleineren Maßstäben ohne Kalibrierung des generalisierten Netzes zu „Verschiebungen“ der Eigenschaften.

In der vorliegenden Arbeit werden am Beispiel von Gewässernetzen drei unterschiedliche Methoden der Kalibrierung des generalisierten Maßstabes definiert und durchgeführt: die Passpunktmethode, die Schnittpunktmethode und die Intervallpunktmethode. Die Gewässernetze haben insgesamt je Maßstabsebene 2.315 einander zweifelsfrei zugeordnete Gewässerrouten. Auf die 2.315 Gewässerrouten des generalisierten Maßstabes werden die drei Kalibrierungsmethoden entsprechend der Stationierung des genauen Maßstabes angewandt.

Anschließend werden die drei Methoden hinsichtlich Nachbearbeitungsaufwand, Kalibrierungsgenauigkeit, und möglicher Fehlerquellen bewertet. Der Nachbearbeitungsaufwand wird anhand der Anzahl der nicht kalibrierten Gewässer, für die eine Erstellung qualitätsgesicherter Kalibrierungspunkte nicht möglich ist, erfasst. Für die Bewertung der Kalibrierungsgenauigkeit werden 835 qualitätsgesicherte Kontrollpunkte mit bekannten Soll-Measure-Werten an 512 kalibrierten Gewässern, die mehr als ein Drittel der relevanten Gesamt-Fließstrecke des FGN25 ausmachen, mit den erzielten Kalibrierungsergebnissen der drei Methoden verglichen. Die möglichen Fehlerquellen je Kalibrierungsmethode leiten sich aus der fachlichen Qualitätssicherung der Kalibrierungspunkte ab. In der Qualitätssicherung ausgeschlossene Punkte werden analysiert und die fachlichen Hintergründe erläutert.

### **Passpunktmethode:**

Die Kalibrierung mittels Passpunktmethode nutzt zur Übertragung der Measure-Werte topologisch zugeordnete Passpunkte, z.B. Quell-, Mündungs- und Stationspunkte (Punkt auf dem Hauptgewässer, an dem ein Seitengewässer einmündet). Im vorliegenden Beispieldatenbestand werden bei der Kalibrierung mittels Passpunktmethode insgesamt 6.275 qualitätsgesicherte Kalibrierungspunkte erstellt, die auf 2.186 Gewässerrouten angewandt werden können. 129 Gewässerrouten weisen keine qualitätsgesicherten Kalibrierungspunkte auf und müssen manuell nachbearbeitet werden.

Die Kalibrierungsgenauigkeit liegt bei 28 von 835 Kontrollpunkten außerhalb der tolerierbaren Fehlergrenze von 1 km Abweichung des Measure-Wertes. Bei zwei Kontrollpunkten beläuft sich die Abweichung mit mehr als 4 km deutlich oberhalb der relevanten Fehlergrenze. Alle anderen Kontrollpunkte mit einem Fehler von mehr als 1 km weisen Abweichungen von weniger als 2 km auf und sind daher weniger relevant. Die aufsummierte absolute Abweichung der erzielten Measure-Werte von den Soll-Measure-Werten der Kontrollpunkte ergibt 217,7 km.

Die Passpunktmethode weist von allen drei Methoden die meisten fachlichen Fehlerquellen auf, da sie maßstabsübergreifend konsistente Daten und vergleichbare Modellierungsregeln sowie die Identifizierung von topologisch zueinander gehörenden Passpunkten in beiden Maßstäben erfordert. Die ähnliche realweltliche Abbildung der einander zugeordneten Gewässer ist notwendig, um semantische Fehlinterpretationen auszuschließen. Ist dies nicht der Fall, z.B. an grenzüberschreitenden Gewässern, bei unterschiedlichen Erfassungsgrenzen oder bei falsch abgebildeten Fließrichtungen der Gewässer, bestehen relevante Fehlerquellen. Differenzen der Gewässerkennzahlen zwischen den Maßstabsebenen sowie zu wenige Passpunkte, die zu Interpolation der Kalibrierung über längere Gewässerstrecken bzw. Extrapolation an den Gewässerenden führen, stellen weitere Fehlerquellen dar. Dass die Passpunktmethode die meisten Fehlerquellen aufweist, zeigt sich in der hohen Anzahl der Gewässer, für die keine qualitätsgesicherten Kalibrierungspunkte erstellt werden können (129 von 2.315).

Insgesamt schneidet die Passpunktmethode hinsichtlich Nachbearbeitungsaufwand, Kalibrierungsgenauigkeit und Anzahl möglicher Fehlerquellen am schlechtesten ab.

### **Schnittpunktmethode:**

Die Kalibrierung mittels Schnittpunktmethode nutzt zur Measure-Wert-Übertragung alle geometrischen Schnittpunkte zwischen den Maßstabsebenen. Im vorliegenden Beispieldatenbestand werden bei der Kalibrierung mittels Schnittpunktmethode insgesamt 63.183 qualitätsgesicherte Kalibrierungspunkte erstellt, die auf 2.198 Gewässerrouten angewandt werden können. 117 Gewässerrouten weisen keine qualitätsgesicherten Kalibrierungspunkte auf und müssen manuell nachbearbeitet werden.

Durch die hohe Anzahl an Kalibrierungspunkten ergibt sich im Vergleich zur Passpunktmethode eine geringere Summe der absoluten Gesamtabweichung über alle Kontrollpunkte. Sie beträgt nur 164,5 km. Die Anzahl der Kontrollpunkte, die außerhalb der tolerierbaren Fehlergrenze von 1 km liegt, ist aber

kaum geringer als bei der Passpunktmethode und liegt bei 25 von 835. Allerdings sind alle Abweichungen kleiner als 2 km.

Die Schnittpunktmethode kann auch bei unterschiedlicher realweltlicher Abbildung der Gewässer angewandt werden, allerdings erhöht sich dadurch die Anzahl der Gewässerabschnitte, die über längere Strecke keine Kalibrierungspunkte aufweisen. Dadurch kommt es zu Ungenauigkeiten aufgrund von Inter- und Extrapolation der Kalibrierung. Der Fall, dass sich entsprechende Gewässer gar keine Schnittpunkte aufweisen und das Gewässer manuell nachbearbeitet werden muss, kann auch bei relativ kongruenter Abbildung der Gewässer vorkommen, wenn z.B. ein kartografischer Versatz im generalisierten Maßstab vorhanden ist. Diese Fehlerquelle wirkt sich nur bei der Schnittpunktmethode aus. Unterschiede in der Gewässerkennzahl sind relevant und müssen nachbearbeitet werden. Bei der Schnittpunktmethode können 117 Gewässer von 2.315 nicht kalibriert werden.

Die Schnittpunktmethode liegt hinsichtlich Nachbearbeitungsaufwand, Kalibrierungsgenauigkeit und Anzahl möglicher Fehlerquellen zwischen Pass- und Intervallpunktmethode.

### **Intervallpunktmethode:**

Für die Kalibrierung mittels der Intervallpunktmethode werden an jedem Stationierungskilometer des genauen Gewässernetzes Punkte erstellt, für die der jeweils nächste Punkt des entsprechenden Gewässers im generalisierten Maßstab gesucht und zur Übertragung des Measure-Wertes genutzt wird. Im vorliegenden Beispieldatenbestand werden bei der Kalibrierung mittels Intervallpunktmethode insgesamt 30.991 qualitätsgesicherte Kalibrierungspunkte erstellt, die auf 2.278 Gewässerrouten angewandt werden können. 37 Gewässerrouten weisen keine qualitätsgesicherten Kalibrierungspunkte auf und müssen manuell nachbearbeitet werden.

Durch die regelmäßige Verteilung und immer noch hohe Anzahl an Kalibrierungspunkten ergibt sich im Vergleich zur Passpunkt- und Schnittpunktmethode mit 157,5 km eine weiter reduzierte Summe der absoluten Gesamtabweichung über alle Kontrollpunkte. Die Anzahl der Kontrollpunkte, die außerhalb der tolerierbaren Fehlergrenze von 1 km liegt, liegt bei 21 von 835. Alle dieser Abweichungen sind kleiner als 2 km.

Wie bei der Schnittpunktmethode und im Gegensatz zur Passpunktmethode kann die Intervallpunktmethode auch bei unterschiedlicher realweltlicher Abbildung der Gewässer angewandt werden. Dadurch kommt es aber zu Gewässerabschnitten, die über längere Strecken keine

Kalibrierungspunkte aufweisen, was sich wiederum in Ungenauigkeiten aufgrund von Inter- und Extrapolation der Kalibrierung widerspiegelt. Unterschiedliche Gewässerkennzahlen zwischen den Maßstabebenen verhindern auch bei der Intervallpunktmethod eine korrekte Kalibrierung. Insgesamt sind die Fehlerpotentiale bei der Intervallpunktmethod am geringsten bzw. haben aufgrund der gleichmäßigen, aber zahlenmäßig hohen Verteilung der Kalibrierungspunkte die geringsten Auswirkungen auf die Kalibrierungsgenauigkeit (z.B. Inter- und Extrapolationsfehler). Dies zeigt sich auch in der geringen Anzahl nicht kalibrierter Gewässer (37 von 2.315).

Die Intervallpunktmethod schneidet hinsichtlich Nachbearbeitungsaufwand, Kalibrierungsgenauigkeit und Anzahl möglicher Fehlerquellen von allen drei Kalibrierungsmethoden am besten ab.

Abschließend ist zu erwähnen, dass insbesondere beim Anspruch auf topologische Identität der Eigenschaften zwischen zwei Maßstabebenen auf Passpunkte im Kalibrierungsprozess nicht verzichtet werden kann, da nur diese die Netztopologie berücksichtigen. Eine Kombination zwischen Intervall- und Passpunkten ist die Ideallösung für maximale Kalibrierungsgenauigkeit mit topologischem Bezug der Measure-Werte.

## 6 Literaturverzeichnis

AdV (2008). Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM. A. d. Vermessungsverwaltungen.

AdV (2008). Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) ATKIS-Objektartenkatalog DLM1000. A. d. Vermessungsverwaltungen.

Freeman, M. (2010). "Esri to Develop Highway Maintenance and Linear Referencing Solution." Retrieved 11.11.2014, from [http://www.esri.com/news/releases/10\\_2qtr/highway-maint.html](http://www.esri.com/news/releases/10_2qtr/highway-maint.html).

Geoinformatics (2012). "1Spatial Successfully Completes LAM Data Discovery Phase at United Utilities." Retrieved 11.11.2014, from <http://www.geoinformatics.com/blog/latest-news/1spatial-successfully-completes-lam-data-discovery-phase-at-united-utilities>.

Guo, B. and C. E. Kurt (2004). "Towards Temporal Dynamic Segmentation." GeoInformatica 8(3): 265-283.

Haase, M., et al. (1999). "GIS-GwD: GIS-basierte Aufgabenbearbeitung für die Fließgewässerbewirtschaftung." Rautenstrauch, C., Schenk, M.: Umweltinformatik 99.

LAWA (2005). Richtlinie zur Gebiets- und Gewässerverschlüsselung. L. Wasser.

Sander, M., et al. (2006). "HydroTools®–Flussgebietsmanagement im Zeichen der EU-WRR/L/ArcGIS-Erweiterung zur Bearbeitung." Kostengünstige Bausteine zur Umsetzung der EU-WRR/L: 30-33.

Scarponcini, P. (2002). "Generalized Model for Linear Referencing in Transportation." GeoInformatica 6(1): 35-55.