



Annexe 1

Revitalisation des cours d'eau - Planification stratégique
Un module de l'aide à l'exécution « Renaturation des eaux ». État 2023

Méthode de priorisation pour l'élimination d'obstacles artificiels à la migration piscicole dans des réseaux hydrographiques

Impressum

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Groupe de travail

Peter Reichert (Agenda 21 pour l'eau, <https://peterreichert.github.io>)

Isabelle Ambord (OFEV)

Kuno von Wattenwyl (canton de Schwytz)

Sandro Schläppi (canton de Berne)

Manuel Pompini (canton de Fribourg)

Werner Dönni (Fischwerk, <https://fischwerk.ch>)

Gregor Thomas (OFEV)

Rosi Siber (Eawag)

Nele Schuwirth (Eawag)

Accompagnement par l'institut de recherche Eawag

Rosi Siber (Eawag, GIS Support)

Ambuj Sriwastava (Eawag)

Experts consultés :

Jakob Brodersen (Eawag)

Conor Waldock

Bernhard Wegscheider (Eawag – Université de Berne)

Pascal Vonlanthen et Nicole Egloff (Aquabios, <https://aquabios.ch>)

Armin Peter (FishConsulting, <https://fishconsulting.ch>)

Christian Hossli (Aqua Viva, <https://aquaviva.ch>)

Eva Baier (Fischwanderung, <https://fischwanderung.ch>)

Christine Weber (Eawag)

Stefan Vollenweider (Agenda 21 pour l'eau, <https://wa21.ch>)

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uv-1208-f

© OFEV 2023

Table des matières

Résumé	4
1. Introduction et objectifs	8
2. Concept	10
3. Description de la méthode	12
3.2 Analyser la fragmentation	13
3.2.1 Exigences en matière de données	13
3.2.2 Analyse du réseau	14
3.2.3 Exemple	14
3.3 Identifier des variantes de revitalisation	15
3.3.1 Manière de procéder	15
3.3.2 Exemple	17
3.4 Quantifier et évaluer l'état de fragmentation	17
3.4.1 Quantification de l'état de fragmentation	18
3.4.2 Évaluation de l'état de fragmentation	24
3.4.3 Estimation des coûts	26
3.4.4 Exemple	28
3.5 Analyser globalement tout le réseau hydrographique considéré	29
3.5.1 Agrégation des attributs	30
3.5.2 Exemple	31
3.6 Présélectionner des variantes de revitalisation sur la base de leur rapport coût-bénéfice	33
3.7 Faire des contrôles de plausibilité basés sur des connaissances de terrain	34
3.7.1 Évaluation par des spécialistes connaissant les lieux ou visite des endroits critiques des bonnes variantes	34
3.7.2 Finalisation de la planification stratégique des barrières	34
4. Conclusions	35

Résumé

Dans le cadre de la mise à jour du module « Revitalisation des cours d'eau. Planification stratégique » de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux, des adaptations ont été apportées. Ces dernières sont principalement axées sur des sujets tels que la connectivité longitudinale aquatique, les données de base et la coordination avec d'autres planifications. Le présent document propose une méthode permettant d'évaluer la connectivité longitudinale conformément aux spécifications de ce module.

Les expériences faites par les cantons sur la base du module paru en 2012¹ ont montré que ce document pouvait être utilisé avec succès pour prioriser des revitalisations de tronçons de cours d'eau, mais qu'il serait très utile – dans la perspective de la planification de 2026 – d'y intégrer un complément relatif à l'amélioration de la connectivité longitudinale aquatique.

Le présent rapport a pour but de proposer une méthode d'évaluation de la connectivité longitudinale. Pour définir les priorités permettant d'améliorer le franchissement des obstacles à la migration piscicole, il faut adopter une approche utilisant le bassin versant comme périmètre de référence. Cette approche permet, d'une part, d'obtenir une vue d'ensemble des régions d'un bassin versant dont la contiguïté permet la migration des poissons et, d'autre part, d'identifier les obstacles dont l'élimination ou la franchissabilité permettra d'agrandir ces régions au maximum avec un minimum de moyens. Tel est le cœur de la méthode proposée ici.

Dans les très grands cours d'eau de Suisse, les obstacles à la migration piscicole sont principalement les centrales hydroélectriques. Comme la décision d'améliorer le franchissement des centrales hydroélectriques est déjà entérinée², le présent document se concentre plutôt sur les bassins versants des affluents des grands cours d'eau et des lacs, dans lesquels la plupart des obstacles ne sont pas liés à l'utilisation de la force hydraulique. Comme les grands cours d'eau et les lacs se distinguent généralement par leur diversité d'espèces et leur importance pour la migration des poissons, notamment sur de longues distances, l'accessibilité à de bons habitats piscicoles dans les bassins versants de leurs affluents est particulièrement importante pour l'extension d'une communauté piscicole diversifiée. Il importe également de promouvoir de grands habitats piscicoles contigus dans les affluents, même si ceux-ci ne sont pas naturellement accessibles aux poissons depuis l'embouchure.

La présente méthode aide à prioriser dans l'espace les obstacles dont le franchissement par les poissons doit être amélioré. L'idéal serait d'effectuer cette planification sur le long terme afin d'obtenir une planification stratégique axée sur les objectifs de biodiversité et de résilience de la communauté piscicole. Les taux de subventionnement sont ensuite définis sur la base de cette planification stratégique, et les priorités temporelles (calendrier) sont fixées en tenant compte des synergies avec d'autres projets d'aménagement de cours d'eau.

La méthode élaborée comprend sept étapes :

1. Déterminer le réseau hydrographique dans lequel des obstacles doivent être priorisés

Cette étape tient compte de l'état actuel de la situation. Un tel réseau est typiquement un grand bassin versant ou un ensemble de petits et moyens affluents d'un lac ou d'un tronçon de cours d'eau.

¹ Göggel W. (2012) : Revitalisation des cours d'eau. Planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1208 : 43 p.

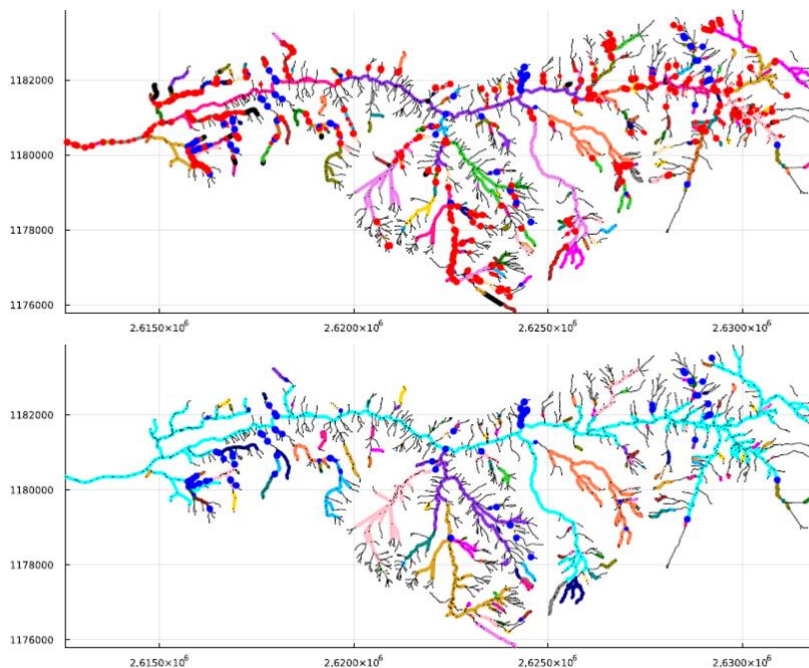
² OFEV (2016) : Assainissement écologique des centrales hydrauliques existantes : Financement des mesures requises. Un module de l'aide à l'exécution « Renaturation des eaux ». Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1634 : 51 p.

2. Analyser la fragmentation des bassins versants des affluents des grands cours d'eau et des lacs

Il s'agit d'une analyse en trois temps : préparation des données, analyse SIG pour la détermination des régions accessibles aux poissons, création d'une vue d'ensemble graphique (fig. 1).

Figure 1

Illustration prenant l'exemple de la Zulg (affluent de l'Aar entre Thoune et Berne). Les régions contiguës sont signalées par des couleurs, celle accessible depuis l'embouchure étant colorée en turquoise. Les barrières artificielles sont signalées par des points rouges et les barrières naturelles par des points bleus. Les tronçons mis sous terre sont en noir. En haut : état actuel ; en bas : état proche de la nature (sans obstacles artificiels). Voir les détails au chapitre 3 et d'autres exemples à l'annexe A1.

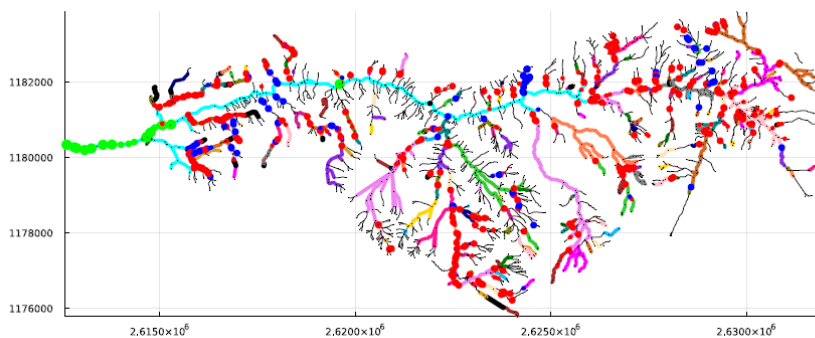


3. Identifier les obstacles qui sont déterminants pour réduire la fragmentation

Grâce à la vue d'ensemble des bassins versants, il est possible d'identifier des variantes de revitalisation (appelées ci-après « variantes ») proposant différentes combinaisons d'obstacles clés dont l'élimination ou la franchissabilité permettra d'améliorer l'accessibilité à des habitats depuis l'embouchure et/ou d'agrandir la taille des régions déjà accessibles aux poissons (fig. 2).

Figure 2

Représentation (exemple de la Zulg) montrant les régions qui deviendront contiguës si les obstacles signalés par des points vert clair sont rendus franchissables (la plupart des obstacles se trouvent dans le tronçon le plus en aval ; connexion également des deux grandes régions dans le tronçon moyen). Voir les détails au chapitre 3 et d'autres exemples à l'annexe A1.



4. Quantifier le bénéfice pour la nature et estimer le coût des variantes dans les bassins versants

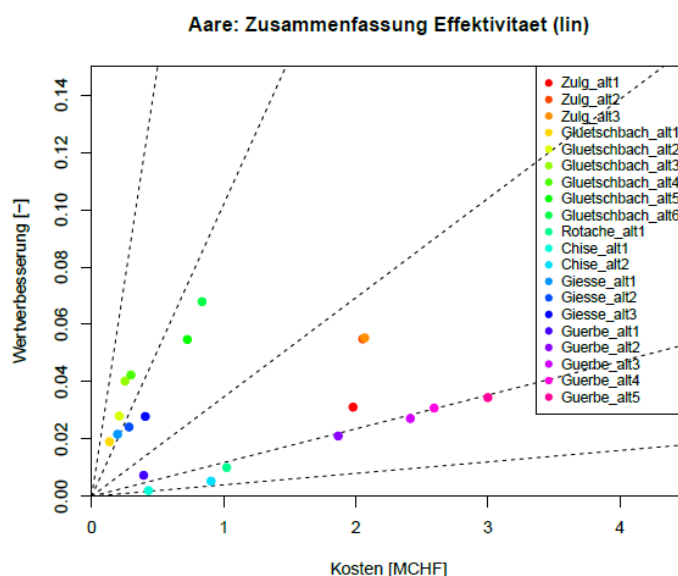
Cette étape consiste à évaluer la fragmentation dans l'état actuel ainsi que pour les variantes choisies (par rapport à l'état proche de la nature, c'est-à-dire sans obstacles artificiels) puis à estimer approximativement les coûts (par extrapolation à partir des coûts de projets déjà réalisés).

5. Évaluer les variantes et le bénéfice pour la nature relativement aux coûts, à l'échelle du réseau hydrographique considéré

Il faut ensuite procéder à l'évaluation globale des bassins versants de tous les affluents du tronçon considéré d'un grand cours d'eau et montrer le bénéfice qui est attendu des variantes ou des combinaisons de variantes dans les bassins versants, par rapport aux coûts (fig. 3).

Figure 3

Illustration prenant l'exemple de l'Aar, entre Thoune et Berne. La quantification du bénéfice mesure le *gain de valeur* par rapport aux coûts estimés, pour des variantes dans les affluents. On observe que les variantes sur le Glütschbach et sur la Giesse ont un rapport coût-bénéfice particulièrement élevé. Voir les détails au chapitre 3 et l'exemple concret à l'annexe A1.



6. Présélectionner provisoirement des variantes et leur attribuer un niveau de bénéfice

Cette étape consiste à classer une présélection de variantes dans des catégories de bénéfice (élevé, moyen, faible) en considérant leur bénéfice par rapport aux coûts estimés ou, pour des obstacles considérés isolément, leur contribution à la planification stratégique à long terme.

7. Procéder à la sélection définitive grâce à des contrôles de plausibilité réalisés avec des spécialistes connaissant les lieux

Pour finir, il faut consulter des spécialistes connaissant les lieux ou, au besoin, visiter les endroits clés des meilleures variantes afin de vérifier les obstacles, d'évaluer leur franchissabilité, de collecter des données complémentaires et d'améliorer l'estimation des coûts. La planification stratégique de la connectivité longitudinale doit être revue et finalisée.

La présente étude sur la connectivité longitudinale vient compléter l'aide à l'exécution pour la revitalisation des tronçons de cours d'eau. Il est important de coordonner la planification relative à la revitalisation des tronçons de cours d'eau et la planification relative à l'amélioration du franchissement des obstacles par les poissons. Les étapes d'évaluation 4 et 5 de la présente méthode prennent en considération l'état écomorphologique des tronçons de cours d'eau. Si un projet de revitalisation prévoit d'améliorer l'état d'un tronçon situé en amont, l'évaluation doit en tenir compte en attribuant un niveau de bénéfice plus élevé (c'est-à-dire un plus grand gain de valeur) aux obstacles donnant accès à ce tronçon.

Puisqu'une approche par bassin versant ne peut pas s'arrêter aux frontières cantonales, il est essentiel que les différents cantons concernés par la planification de la connectivité longitudinale collaborent entre eux. L'accent étant mis sur les bassins versants des affluents des grands cours d'eau et des lacs (et non sur les bassins versants des grands cours d'eau et des lacs eux-mêmes), le nombre de cantons concernés par une même planification est généralement faible, de sorte que les efforts de coordination devraient être gérables. L'étude et la réalisation des projets peuvent en revanche avoir lieu au niveau cantonal.

1. Introduction et objectifs

En raison de leur mauvais état écomorphologique, près de 10 800 km de cours d'eau et environ 50 000 obstacles artificiels en Suisse ont besoin d'être revitalisés³. Dans le cadre du programme de revitalisation sur 80 ans qui a été lancé suite à la révision en 2011 de la loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (RS 814.20), les cantons ont élaboré en 2014 leur première planification stratégique pour la revitalisation des cours d'eau. La base de cette planification est le module d'aide à l'exécution pour la planification stratégique.

Conformément à l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (RS 814.201), l'actualisation de la planification stratégique des revitalisations de cours d'eau est prévue en 2026. Les expériences faites sur la base du module paru en 2012 ont montré que ce dernier pouvait être utilisé avec succès pour prioriser les tronçons à revitaliser, mais qu'il serait très utile – dans la perspective de la planification de 2026 – d'y intégrer un complément relatif à l'amélioration de la connectivité longitudinale. Le présent rapport propose une méthode permettant d'évaluer cette connectivité longitudinale.

Les objectifs fondamentaux en faveur de la communauté piscicole (cf. glossaire à l'annexe A3) sont les suivants :

- préserver ou restaurer la diversité biologique naturelle de la communauté piscicole ;
- améliorer la résilience de la communauté piscicole (c'est-à-dire son rétablissement après une perturbation).

Les moyens à disposition étant limités, il est très important de planifier des mesures qui présentent un bon rapport coût-efficacité, c'est-à-dire prioriser l'assainissement des ouvrages qui apportent un important bénéfice pour la nature au regard des efforts engagés (coûts).

S'agissant des obstacles à la libre migration du poisson, les objectifs fondamentaux énoncés ci-dessus peuvent être concrétisés par les objectifs intermédiaires suivants (cf. glossaire à l'annexe A3). Les objectifs intermédiaires sont des jalons qui contribuent à atteindre les objectifs fondamentaux ; leur lien avec les objectifs fondamentaux est indiqué entre crochets :

- **bonne connectivité d'habitats propices aux différents cycles de vie des poissons** (frayères, habitats des larves, habitats des juvéniles, habitats des adultes, zones de repos, etc. pour des espèces présentes naturellement) [favoriser le maintien autonome des populations de poissons] ;
 - **connectivité d'habitats aux structures variées** (refuges en cas de crue, refuges à eau froide, refuges avec moins de prédateurs, etc.) [promouvoir la diversité grâce à des habitats convenant à différentes espèces de poissons et favoriser la résilience grâce à des refuges plus sûrs depuis lesquels d'autres tronçons peuvent être colonisés après une perturbation] ;
 - **bonne connectivité d'habitats plus petits ayant des populations sources plus fournies**, en particulier à partir de cours d'eau plus grands, généralement plus riches en espèces [favoriser la résilience en rendant la recolonisation possible après une perturbation et promouvoir la diversité génétique grâce à des (méta)populations plus fournies] ;
- rattachement de tronçons qui, dans l'état actuel, sont dépourvus de communauté piscicole naturelle** [favoriser le rétablissement (partiel) de la diversité biologique naturelle et la résilience par l'extension des habitats].

³ Zeh Weissmann Heiko, Könitzer Christoph, Bertiller Anita (2009) : Écomorphologie des cours d'eau suisses. État du lit, des berges et des rives. Résultats des relevés écomorphologiques (avril 2009). État de l'environnement n° 0926. Office fédéral de l'environnement, Berne. 100 p.

Le concept décrit au chapitre 2 entend aider les spécialistes de la protection des eaux à classer par ordre de priorité les obstacles à la libre migration du poisson dont l'amélioration peut contribuer à atteindre ces objectifs de la manière la plus efficace possible.

2. Concept

Le concept élaboré pour prioriser les obstacles dont l'élimination ou la franchissabilité doit faciliter la migration des poissons repose sur les principes de l'analyse décisionnelle⁴ et sur leur mise en application dans le domaine du management environnemental⁵, notamment pour l'évaluation des bassins versants⁶. La démarche est axée sur un état cible à atteindre ou à approcher. Le degré d'atteinte des objectifs est quantifié d'après l'état du réseau, puis des variantes de revitalisation (dans le cas présent, des obstacles à éliminer ou à rendre franchissables pour les poissons ; cf. glossaire à l'annexe A3) sont examinées au regard de la réalisation attendue. Considérant les objectifs intermédiaires énoncés au chapitre 1 (objectifs fondamentaux), l'objectif d'un bon état permettant la migration peut être divisé en deux sous-objectifs : (i) bonne accessibilité à de bons habitats depuis l'exutoire du bassin versant, et (ii) présence de grands habitats contigus de bonne qualité dans le bassin versant. Ces derniers ne doivent pas nécessairement être accessibles depuis le point le plus en aval.

Du fait que les capacités de nage et surtout de saut sont très différentes d'une espèce à l'autre, le présent concept fait le choix de distinguer très grossièrement deux groupes d'espèces de poissons, afin de simplifier les étapes de concrétisation décrites ci-après. Ces deux groupes sont les « salmonidés » et les « non-salmonidés ». Ils établissent une distinction générale entre les espèces dotées d'importantes capacités natatoires et de saut de celles dotées de faibles capacités natatoires et de saut. Cette distinction correspond souvent – mais pas toujours – aux salmonidés et aux non-salmonidés. La figure 4 montre la hiérarchie des objectifs, qui se décompose en objectifs supérieurs et en sous-objectifs. Bien que la hiérarchie des objectifs et l'analyse de la fragmentation distinguent seulement deux groupes d'espèces de poissons, les besoins d'espèces spécifiques peuvent être pris en compte dans l'évaluation grâce à une pondération fondée sur l'importance ichtyo-écologique.

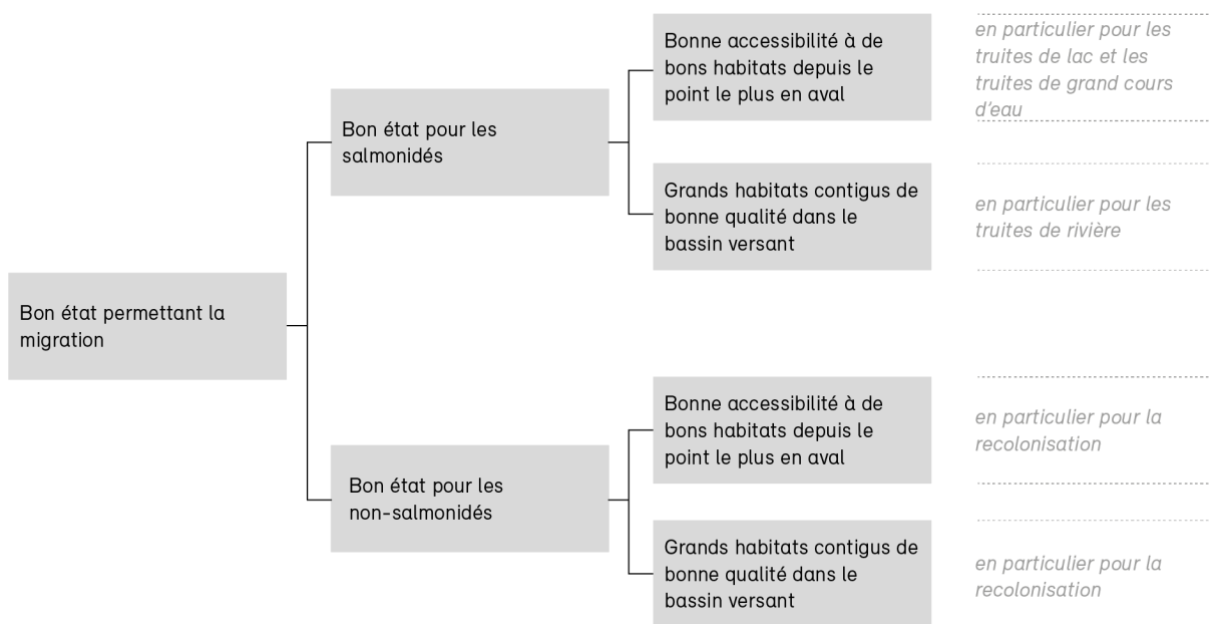
Les objectifs sont toujours évalués au regard de l'état proche de la nature, qui se caractérise par le bon état écomorphologique des tronçons de cours d'eau et par l'absence d'obstacles artificiels à la migration sous forme de barrières (chutes ou autres ouvrages) ou de mises sous terre.

⁴ Keeney et Raiffa, 1976 ; von Winterfeldt et Edwards, 1986 ; Keeney, 1992 ; Eisenführ et al., 2010

⁵ Linkov et Moberg, 2012 ; Gregory et al., 2012 ; Reichert et al., 2015

⁶ Kuemmerlen et al., 2019

Figure 4
Hiérarchie des objectifs visant la libre migration des poissons dans un ou plusieurs bassins versants



La priorisation des obstacles à la migration piscicole consiste à identifier ceux dont l'élimination ou la franchissabilité serait particulièrement bénéfique pour la connectivité longitudinale. À cet effet, analyser individuellement le potentiel de chaque obstacle n'est pas pertinent, puisque l'amélioration d'un obstacle ne peut apporter qu'une faible contribution si la suite du parcours est entravée par un autre obstacle. Seule l'amélioration combinée de plusieurs obstacles peut présenter un grand potentiel. Partant de ce constat, la méthode proposée ici consiste en premier lieu à analyser et à quantifier la fragmentation du bassin versant d'un cours d'eau – par rapport à sa fragmentation naturelle – puis à identifier des combinaisons d'obstacles dont l'élimination ou la franchissabilité entraînerait une réduction particulièrement importante de la fragmentation.

Ces analyses de connectivité ou de fragmentation sont effectuées pour les bassins versants des affluents de grands cours d'eau et de lacs, étant donné que la décision d'améliorer la franchissabilité des centrales hydroélectriques présentes dans les grands cours d'eau de Suisse est déjà prise et financée par d'autres sources⁷. L'analyse des différents bassins versants partiels est ensuite complétée par une analyse globale à l'échelle du réseau hydrographique considéré, qui tient alors compte de leur taille respective.

⁷ OFEV (2016) : Assainissement écologique des centrales hydrauliques existantes : Financement des mesures requises. Un module de l'aide à l'exécution « Renaturation des eaux ». Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1634 : 51 p.

3. Description de la méthode

Le concept esquissé au chapitre 2 est concrétisé par les sept étapes suivantes :

1. Déterminer le réseau hydrographique dans lequel des obstacles doivent être priorisés

Cette étape tient compte de l'état actuel de la situation. Un tel réseau est typiquement un grand bassin versant ou un ensemble de petits et moyens affluents d'un lac ou d'un tronçon de cours d'eau.

2. Analyser la fragmentation des bassins versants des affluents des grands cours d'eau et des lacs

Il s'agit d'une analyse en trois temps : préparation des données, analyse SIG pour la détermination des régions accessibles aux poissons, création d'une vue d'ensemble graphique.

3. Identifier les obstacles qui sont déterminants pour réduire la fragmentation

Grâce à la vue d'ensemble des bassins versants, il est possible d'identifier des variantes de revitalisation (appelées ci-après « variantes » ; cf. glossaire à l'annexe 3) proposant différentes combinaisons d'obstacles clés dont l'élimination ou la franchissabilité permettra d'améliorer l'accessibilité à des habitats depuis l'embouchure et/ou d'agrandir la taille des régions déjà accessibles aux poissons.

4. Quantifier le bénéfice pour la nature et estimer le coût des variantes dans les bassins versants

Cette étape consiste à évaluer la fragmentation dans l'état actuel ainsi que pour les variantes choisies (par rapport à l'état proche de la nature, c'est-à-dire sans obstacles artificiels) puis à estimer approximativement les coûts (par extrapolation à partir des coûts de projets déjà réalisés).

5. Évaluer les variantes et le bénéfice pour la nature relativement aux coûts, à l'échelle du réseau hydrographique considéré

Il faut ensuite procéder à l'évaluation globale des bassins versants de tous les affluents du tronçon considéré d'un grand cours d'eau et montrer le bénéfice qui est attendu des variantes ou des combinaisons de variantes dans les bassins versants, par rapport aux coûts.

6. Présélectionner provisoirement des variantes et leur attribuer un niveau de bénéfice

Cette étape consiste à classer une présélection de variantes dans des catégories de bénéfice (élevé, moyen, faible) pour la nature au regard des coûts estimés.

7. Procéder à la sélection définitive grâce à des contrôles de plausibilité réalisés avec des spécialistes connaissant les lieux

Pour finir, il faut consulter des spécialistes connaissant les lieux ou, au besoin, visiter les endroits clés des meilleures variantes afin de vérifier les obstacles, d'évaluer leur franchissabilité, de collecter des données complémentaires et d'améliorer l'estimation des coûts. La planification stratégique de la connectivité longitudinale doit être revue et finalisée.

La méthode doit être appliquée conformément à ces différentes étapes, mais elle peut éventuellement être interrompue avant la fin.

- Dans des cas simples, l'analyse du réseau par régions contiguës et l'identification d'obstacles clés selon les étapes 2 et 3 peuvent déjà suffire à identifier des obstacles particulièrement importants.
- Si les bassins versants sont plus grands ou plus complexes, il vaut la peine d'élaborer des variantes et d'en faire une évaluation quantitative selon l'étape 4. Cela permet de classer les variantes par ordre de priorité à l'intérieur du bassin versant.
- Si un lac ou le tronçon d'un grand cours d'eau est alimenté par plusieurs affluents importants, l'analyse globale à l'échelle du réseau hydrographique considéré selon l'étape 5 est importante en ce qu'elle permet une appréciation complète du rapport coût-bénéfice pour l'ensemble des bassins versants concernés.

La consultation de spécialistes connaissant les lieux (étape 7) est nécessaire dans tous les cas pour procéder à l'attribution des catégories de bénéfice (étape 6) et pour choisir les variantes hautement bénéfiques, car souvent les données disponibles ne sont pas suffisamment complètes pour permettre une appréciation définitive. Les sept étapes sont décrites en détail dans les sections suivantes. La méthode est illustrée par des exemples à l'annexe A1.

3.1 Déterminer le réseau hydrographique dans lequel des obstacles doivent être priorisés

La détermination du réseau dans lequel des obstacles doivent être priorisés dépend du réseau hydrographique du canton. Si le réseau est constitué d'un seul bassin versant, la priorisation peut se faire à l'intérieur de celui-ci. Si le canton est traversé par un grand cours d'eau, les priorités peuvent être fixées pour les affluents de ce cours d'eau ou les affluents d'un lac. Mais souvent la configuration est plus complexe que cela, et il peut être important dans le cas de bassins versants s'étendant sur plusieurs cantons de fixer les priorités à l'échelle supracantonale. Les projets de revitalisation peuvent tout de même être mis en œuvre au niveau cantonal.

3.2 Analyser la fragmentation

3.2.1 Exigences en matière de données

Pour l'analyse graphique de la fragmentation, pour la quantification et l'évaluation de la fragmentation et pour l'estimation des coûts, il faut disposer pour chaque bassin versant d'une cartographie numérique du réseau hydrographique, avec les tronçons de cours d'eau et les nœuds intermédiaires. Les tronçons de cours d'eau doivent présenter des attributs écomorphologiques homogènes et ne contenir ni ramifications ni barrières (s'il existe dans le réseau original des tronçons de cours d'eau avec des ramifications ou des barrières, ces tronçons doivent être subdivisés en sous-tronçons grâce à des nœuds).

Pour ce réseau hydrographique, les données requises sont les suivantes :

- pour chaque tronçon de cours d'eau :
 - coordonnées du tracé (dont découle la longueur du tronçon) ;
 - numéro d'ordre hydrographique ;
 - déclivité ;
 - analyse écomorphologique ou attributs à partir desquels l'analyse écomorphologique peut être faite ;
 - désignation en tant que tronçon à ciel ouvert ou tronçon mis sous terre (information déjà contenue dans le point précédent, mais à mentionner séparément ici en raison de son importance comme obstacle potentiel) ; dans le second cas, préciser si le tronçon se situe en milieu urbain ou non, afin de mieux estimer les coûts de sa remise à ciel ouvert ;

- pour chaque nœud entre les tronçons de cours d'eau :
 - présence ou absence d'une barrière (chute, barrage, centrale hydroélectrique, etc.) ;
 - le cas échéant, désignation en tant que barrière artificielle ou barrière naturelle ;
 - hauteur de la barrière ; s'il s'agit d'une barrière artificielle, indiquer également la largeur (si cette information n'est pas connue, elle peut être déduite de la largeur du cours d'eau) ;
 - identification du nœud qui matérialise l'embouchure du bassin versant dans le grand cours d'eau ou dans le lac.

Si le numéro d'ordre hydrographique est indiqué (p. ex. sur la base du réseau hydrographique de l'Office fédéral de l'environnement [OFEV]), l'indication des directions d'écoulement est superflue ; les boucles

dues à des ramifications et à des reconnections au niveau des centrales hydroélectriques ne sont pas gênantes, car l'analyse de la fragmentation ne s'intéresse qu'à des régions contiguës.

3.2.2 Analyse du réseau

Pour pouvoir quantifier la fragmentation, il faut qu'une analyse du réseau ait préalablement déterminé toutes les régions contiguës du bassin versant, non seulement pour l'état actuel ou l'état à étudier (où l'on admet typiquement que les obstacles artificiels sélectionnés sont devenus franchissables par les poissons) mais aussi pour l'état proche de la nature (où tous les obstacles artificiels sont supposés être franchissables).

Il faut par ailleurs définir ce qu'est un obstacle à la libre migration du poisson. La définition actuelle se fonde sur les paramètres du tableau 1.

Tableau 1
Critères de fragmentation des bassins versants

	Non-salmonidés	Salmonidés
Hauteur critique pour les barrières naturelles (les barrières jusqu'à cette hauteur peuvent être franchies)	50 cm	80 cm
Hauteur critique pour les barrières artificielles (les barrières jusqu'à cette hauteur peuvent être franchies)	20 cm	50 cm
Déclivité critique (les eaux avec une déclivité plus importante n'offrent pas d'habitats aux poissons ; les tronçons dépassant les valeurs critiques de déclivité et de longueur sont considérés comme des obstacles)	10%	20%
Longueur critique (les tronçons mis sous terre et les tronçons très raides sont considérés comme des obstacles s'ils dépassent la longueur critique)	30 m	30 m

Bien sûr, la hauteur de la barrière et la longueur de la mise sous terre ne sont pas les seuls facteurs qui déterminent la franchissabilité par les poissons. La situation n'est pas la même, par exemple, selon qu'il y a une dalle de béton ou une cuvette en bas d'une chute. Malheureusement, ce type d'informations ne figure pas dans la base de données nationale. Une planification grossière à partir de ces données incomplètes n'en demeure pas moins utile ; comme le montrent les exemples à l'annexe A1, il suffit parfois d'éliminer quelques obstacles dans des bassins versants partiels pour obtenir une nette amélioration, tandis que dans d'autres zones les efforts à déployer sont considérables : le manque de précision de l'analyse ne change pas fondamentalement cet état de fait. Après une première priorisation, il faut de toute façon consulter des spécialistes familiers des lieux ou faire une visite sur le terrain pour améliorer la base de données au niveau local.

3.2.3 Exemple

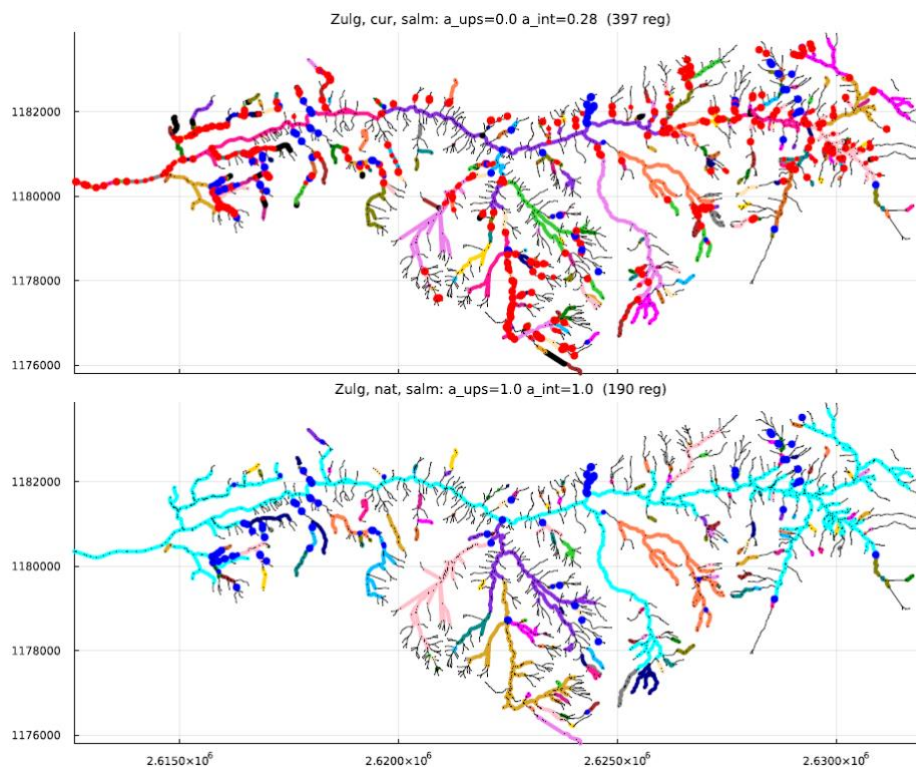
La figure 5 propose une représentation graphique de la fragmentation dans l'état actuel puis dans l'état proche de la nature. Cet exemple fait l'objet d'une description plus détaillée à l'annexe A1 (section A1.3.1). L'annexe A1 contient également d'autres exemples. Cette figure montre clairement qu'une représentation graphique sans quantification de la fragmentation donne déjà une très bonne vue d'ensemble des aspects suivants :

- jusqu'où les poissons peuvent remonter le courant à partir du cours d'eau principal (impossible dans l'état actuel en raison des nombreuses barrières artificielles présentes dans le tronçon le plus en aval) ;
- où se trouvent les grandes régions contiguës ;
- dans quelle mesure la fragmentation est d'origine artificielle.

Ce type de représentation graphique est donc un excellent outil pour identifier les obstacles dont l'élimination ou la franchissabilité peut nettement contribuer à agrandir la taille des régions contiguës et donc à réduire la fragmentation. Ce point est discuté dans la section suivante.

Figure 5

Régions contiguës de la Zulg (affluent de l'Aar entre Thoun et Berne) pour les salmonidés, dans l'état actuel (en haut) et dans l'état proche de la nature (en bas). La région la plus en aval, qui correspond aux eaux accessibles depuis l'embouchure, est en turquoise ; les tronçons mis sous terre sont en noir (trait épais) ; les tronçons trop raides pour servir d'habitats aux poissons sont en noir (trait fin). Pour les autres régions, les couleurs n'ont pas de signification ; elles servent seulement à signaler les régions contiguës. Les barrières naturelles sont représentées par des points bleus, et les barrières artificielles par des points rouges.



3.3 Identifier des variantes de revitalisation

3.3.1 Manière de procéder

Comme l'évaluation d'obstacles considérés individuellement n'a de sens que dans des cas particuliers (quelques obstacles isolés sur de longues distances), la présente méthode s'intéresse à des combinaisons d'obstacles judicieusement sélectionnés au niveau desquels la migration des poissons doit être améliorée. Ces combinaisons se composent généralement d'un groupe d'obstacles dont l'élimination ou la franchissabilité laisse espérer un bénéfice particulièrement élevé. Il existe trois façons de composer de telles « variantes » ; ces trois possibilités, présentées ci-après, peuvent être combinées sans problème. Le bénéfice attendu de ces variantes doit ensuite être quantifié selon la méthode décrite au point 3.4.

- **S'inspirer de la représentation graphique de l'analyse de fragmentation** élaborée selon le point 3.2 : des spécialistes analysent la représentation graphique afin d'identifier les barrières dont l'élimination ou la franchissabilité aboutira à des régions contiguës particulièrement vastes. L'exemple de la figure 5 permet de distinguer facilement trois stratégies principales :

- sélectionner les obstacles les plus proches de l'embouchure. L'amélioration de la migration piscicole au niveau des obstacles les plus en aval permet d'étendre directement la partie du bassin versant accessible depuis l'embouchure. Ainsi, il est intéressant d'élaborer une variante qui sélectionne tous les obstacles relativement proches les uns des autres au niveau de l'embouchure, jusqu'à une région contiguë de grande taille ;
 - connecter plusieurs régions de grande taille en sélectionnant les obstacles situés entre elles. Si la région la plus en aval en fait partie, cette option coïncide avec celle mentionnée ci-dessus ;
 - agrandir la taille des régions en y rattachant des régions voisines plus petites. Une telle variante apporte moins de bénéfice que la connexion avec une région voisine de grande taille mais, si elle comprend seulement quelques petits obstacles, elle peut tout de même s'avérer efficace en termes de coûts.
- **Consulter des spécialistes de la pêche familiers des lieux**, qui ont souvent une bonne idée de la fragmentation des bassins versants et peuvent proposer de bonnes variantes même sans l'analyse graphique de la fragmentation. Naturellement, la vue d'ensemble graphique peut être utile à ces spécialistes également, et il est donc recommandé de combiner les deux options afin que les propositions des spécialistes de la pêche soient étayées par l'analyse graphique et que les propositions inspirées de l'analyse graphique soient étayées par les spécialistes de la pêche.
 - **Appliquer d'autres méthodes de sélection systématique**, comme celle d'Aqua Viva⁸ : le volet « Planification stratégique » de la méthode d'Aqua Viva comprend les cinq modules suivants (il existe d'autres modules pour le volet « Mise en œuvre », qui ne fait pas l'objet du présent rapport) :
 - module 0 : définition des objectifs et sélection des bassins versants
 - module 1 : collecte et traitement des données
 - module 2 : filtrage (en particulier filtrage des cours d'eau dont la largeur est supérieure à 1 m et des tronçons dont la déclivité est inférieure à 5 % ; puis filtrage des cours d'eau principaux [numéro d'ordre ≥ 4], des eaux à faible pente qui se jettent dans les cours d'eau principaux, des embouchures et des cours d'eau secondaires proches de l'état naturel) et classification à la faveur d'une visite sur le terrain
 - module 3 : évaluation et identification de projets de démantèlement (évaluation des dépenses et du potentiel écologique)
 - module 4 : évaluation de la faisabilité

Bien que le point de départ soit ici l'obstacle et non le bassin versant, l'approche par bassin versant est tout de même intégrée en partie dans le filtrage et dans l'évaluation. Des informations plus détaillées sont disponibles dans le rapport original⁹.

L'idéal est de rechercher les variantes les plus prometteuses possibles, quelle que soit leur nature, dans la perspective de les évaluer à l'étape suivante. Naturellement, il est possible à tout moment d'exclure de la sélection les barrières dont la présence limite la propagation de maladies. La recherche de variantes est illustrée ci-après à l'aide d'un exemple. L'évaluation des variantes est ensuite l'objet du point 3.4. D'autres exemples figurent à l'annexe A1.

⁸ Aqua Viva (2019) : Gezielter Rückbau von Hindernissen in Fließgewässern - Leitfaden v1. Technical report, Aqua Viva, Winterthur, <https://aquaviva.ch>.

3.3.2 Exemple

La fragmentation actuelle et la fragmentation naturelle de la Zulg sont illustrées au point 3.2.3. La représentation graphique de l'état actuel (fig. 5, en haut) montre qu'il est impossible pour les poissons de s'introduire dans ce réseau hydrographique.

Ce constat témoigne de la nécessité d'améliorer la migration des poissons dans la partie la plus en aval du bassin versant. Comme il existe deux grandes régions contiguës plus en amont, il peut être intéressant de ne pas se borner à connecter la première région à l'embouchure, mais de connecter également la seconde région à la première en améliorant quelques barrières supplémentaires. La fragmentation résultant de cette variante est présentée à la figure 6. La section A1.3.1 de l'annexe A1 propose d'autres variantes de revitalisation pour ce réseau et analyse la fragmentation pour les non-salmonidés. L'annexe A1 contient également d'autres exemples.

3.4 Quantifier et évaluer l'état de fragmentation

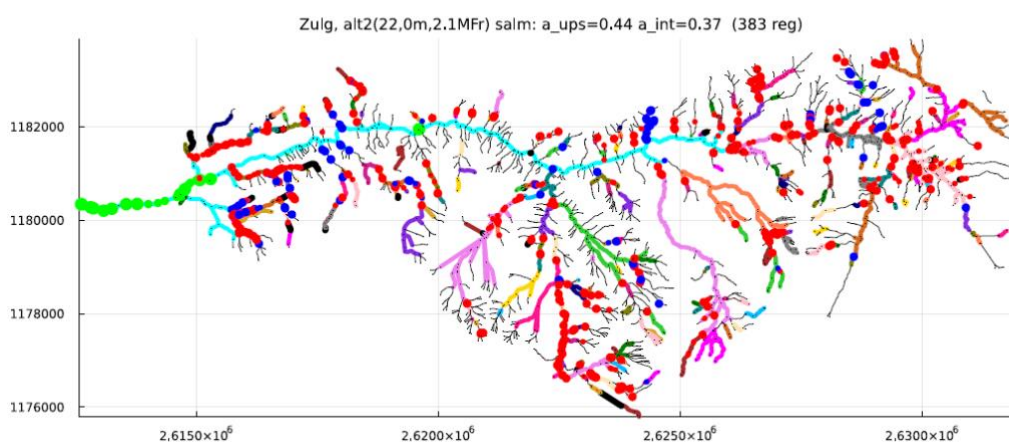
Pour évaluer les variantes de revitalisation, il faut mettre en balance leur bénéfice pour l'environnement et leur coût. Pour cela, trois éléments sont nécessaires :

1. **attributs** : paramètres permettant de caractériser la fragmentation actuelle du bassin versant par rapport à la fragmentation dans l'état proche de la nature ;
2. **évaluation du bénéfice** : évaluation de l'état de fragmentation pour la communauté piscicole en fonction des attributs considérés ;
3. **évaluation du coût** : estimation des coûts de réalisation des variantes. À ce stade de la planification de la connectivité longitudinale, seule est possible une estimation grossière. Il s'agit néanmoins d'un élément important pour identifier des variantes efficaces (bénéfice élevé pour les poissons par rapport aux dépenses engagées).

Ces trois aspects sont détaillés ci-après.

Figure 6

Régions contiguës pour les salmonidés si toutes les barrières dans la partie la plus en aval et quelques barrières dans la partie moyenne sont rendues franchissables (barrières signalées par des points vert clair). La comparaison avec l'état actuel et l'état proche de la nature (fig. 5) est particulièrement intéressante.



3.4.1 Quantification de l'état de fragmentation

L'état de fragmentation est quantifié grâce à des attributs. Il s'agit de caractéristiques objectives et mesurables du réseau étudié, qui se prêtent à une évaluation de l'état (cf. glossaire à l'annexe A3). Dans le cas présent, les attributs quantifient la fragmentation dans l'état étudié (avec tout ou partie des obstacles artificiels et tous les obstacles naturels) par rapport à l'état proche de la nature (avec uniquement les obstacles naturels). Les méthodes proposées ici ne sont pas tout à fait cohérentes avec la notion d'objectivité puisqu'elles intègrent l'état écomorphologique et l'importance ichtyo-écologique des tronçons de cours d'eau dès la définition des attributs. Par conséquent, les attributs contiennent déjà des aspects de l'évaluation, et seule l'analyse spatiale est « objective ».

3.4.1.1 Définition des attributs

La notation utilisée dans ce qui suit est la suivante :

i	indice du tronçon
l_i	longueur du tronçon i
O_i	numéro d'ordre hydrographique du tronçon i
S_i	état écomorphologique du tronçon i quantifié sur une échelle de 0 à 1 (soit en utilisant une évaluation continue, soit avec des classes discrètes : 0 = sous terre, et soit 0.2 = mauvais, 0.4 = insatisfaisant, 0.6 = moyen, 0.8 = bon, 1 = très bon, soit 0.3 = loin de l'état naturel, 0.6 = fortement atteint, 0.8 = peu atteint, 1 = proche de l'état naturel)
f_i	facteur de pondération du tronçon i pour la prise en compte de son importance ichtyo-écologique (zones alluviales ou tronçons présentant un état morphologique particulièrement bon, zones avec des espèces rares ou avec une grande diversité biologique, etc. ; valeur standard $f_i = 1$, valeurs entre 1 et 10 pour les tronçons d'une grande importance ichtyo-écologique, évent. valeurs entre 0.1 et 1 pour les tronçons avec une atteinte permanente, p. ex. à cause du régime d'éclusées d'une centrale hydroélectrique)
$k_{nat}(i)$	indice de la région fluviale contiguë dans des conditions proches de la nature (sans obstacles artificiels) à laquelle appartient le tronçon i ($k_{nat} = 1$ pour la région la plus en aval, $k_{nat} \in \{1, \dots, n_{nat}\}$)
$k_{inv}(i)$	indice de la région fluviale contiguë dans les conditions à étudier (avec des obstacles naturels et artificiels ; « inv » : under investigation) à laquelle appartient le tronçon i ; il peut s'agir de l'état actuel (inv = cur) ou d'une variante à évaluer (inv = alt1, alt2, etc.) avec moins d'obstacles artificiels ($k_{inv} = 1$ pour la région la plus en aval, $k_{inv} \in \{1, \dots, n_{inv}\}$)
$k_{assoc}(k)$	indice de la région fluviale contiguë dans des conditions proches de la nature à laquelle appartient la région k dans l'état à étudier ($k \in \{1, \dots, n_{inv}\}$, $k_{assoc} \in \{1, \dots, n_{nat}\}$)

Dans la présente méthode, la définition des attributs sert à quantifier d'une part la **connectivité à partir du point le plus en aval** et d'autre part la **connectivité interne** par rapport à l'état proche de la nature (c'est-à-dire sans obstacles artificiels). Contrairement à d'autres procédés (Baldan et al. 2022¹⁰, Jumani et al. 2022¹¹), il ne s'agit pas de quantifier la fragmentation au moyen de valeurs absolues, mais de mesurer directement la part des habitats contigus dans l'état actuel par rapport aux habitats contigus dans l'état proche de la nature. Ainsi, il est possible de prendre en considération la situation actuelle des tronçons contigus comparativement à la situation proche de l'état naturel, au lieu d'obtenir seulement deux mesures de fragmentation abstraites pour les deux états.

¹⁰ Baldan, D., Cunillera-Montcusi, D., Funk, A., and Hein, T. (2022) : Introducing 'riverconn': an R package to assess river connectivity indices. Environmental Modelling and Software, 156:105470

¹¹ Jumani, S., Deitch, M. J., Vall, D., Machado, S., Lecours, V., Kaplan, D., Krishnaswamy, J., and Howard, J. (2022) : A new index to quantify longitudinal river fragmentation: Conservation and management implications. Ecological Indicators, 136:108680

Pour pouvoir quantifier la surface d'habitat des tronçons contigus par rapport à l'état proche de la nature, il faut commencer par définir ce qu'on entend par « surface d'habitat ». Comme la longueur des tronçons est une mesure qui ne tient pas compte de la largeur des eaux et qui comptabilise les petits cours d'eau (très nombreux) de la même manière que les grands cours d'eau (qui sont peu nombreux mais offrent beaucoup plus d'espace d'habitat par unité de longueur), il ne s'agit pas d'une bonne mesure pour calculer la surface d'habitat. La superficie (longueur multipliée par la largeur) n'est pas une très bonne mesure non plus, d'abord parce qu'elle risque à l'inverse de donner trop de poids aux grands cours d'eau et, ensuite, parce que la largeur est une mesure mal définie (faut-il prendre en compte la largeur du lit, la largeur en cas de débit moyen ou la largeur en cas de crue, dans l'état actuel ou dans l'état naturel ?).

À titre de compromis, la présente méthode quantifie la surface d'habitat en multipliant la longueur par le numéro d'ordre hydrographique, exprimé en « kilomètres d'ordre » (okm). Cette surface est ensuite pondérée en fonction de l'importance ichtyo-écologique (cf. définition sous 3.4.1.3) et seule est sommée la part correspondant à l'état morphologique. On obtient ainsi les deux attributs a_{ups} et a_{int} , qui sont définis ci-après et dont la signification est illustrée sous 3.4.1.2.

L'attribut a_{ups} se base sur le **rapport entre la zone d'habitat atteinte à partir du point le plus en aval dans l'état à étudier et la zone analogue dans l'état proche de la nature**. Les définitions ci-dessus conduisent à la formule suivante :

$$a_{\text{ups}} = \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}(i)=1} s_i \cdot f_i \cdot o_i \cdot l_i}{\sum_{i:k_{\text{nat}}(i)=1} f_i \cdot o_i \cdot l_i} \quad (3.1)$$

Ici, les notations $i : k_{\text{inv}}(i)=1$ et $i : k_{\text{nat}}(i)=1$ sous les symboles de sommation (au numérateur pour les conditions à étudier et au dénominateur pour les régions sans obstacles artificiels) signifient que seuls sont sommés les tronçons i qui appartiennent à la région 1 (la région la plus en aval). Contrairement aux facteurs f_i (importance ichtyo-écologique) et o_i (numéro d'ordre hydrographique), qui servent à pondérer les longueurs l_i et apparaissent donc aussi bien dans la somme au numérateur que dans la somme au dénominateur, le facteur s_i n'apparaît qu'au numérateur. L'état écomorphologique des tronçons de cours d'eau n'est donc pas une pondération, mais les tronçons en mauvais état ne sont sommés que partiellement. De fait, pour que l'attribut a_{ups} donne une valeur élevée, il faut que la fragmentation par des barrières soit peu importante et que l'état morphologique des tronçons de cours d'eau soit bon.

On utilise une mesure analogue **pour la connectivité interne, non seulement pour la région contiguë la plus en aval mais aussi comme valeur moyenne pondérée de tous les tronçons contigus** dans l'état à étudier. Cela conduit à la formule suivante :

$$a_{\text{int}} = \sum_{k=1}^{n_{\text{inv}}} w_k \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}(i)=k} s_i \cdot f_i \cdot o_i \cdot l_i}{\sum_{i:k_{\text{nat}}(i)=k_{\text{assoc}}(k)} f_i \cdot o_i \cdot l_i} \quad (3.2a)$$

mit

$$w_k = \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}(i)=k} f_i \cdot o_i \cdot l_i}{\sum_i f_i \cdot o_i \cdot l_i} \quad (3.2b)$$

La notation des sommes dans la fraction est analogue à celle de l'équation 3.1, à la différence que seuls sont sommés, au numérateur, les tronçons qui appartiennent à la région k dans l'état à étudier et, au dénominateur, les tronçons qui appartiennent à la région dans l'état naturel qui contient la région k dans l'état à étudier. La fraction dans la somme extérieure de l'équation 3.2a donne donc une mesure analogue à celle de la formule 3.1, à ceci près qu'elle est calculée pour toutes les régions dans l'état à étudier ($k = 1, n_{\text{inv}}$). La somme extérieure implémente ensuite la moyenne pondérée de ces surfaces pour toutes les régions dans l'état à étudier, avec les pondérations w_k . Celles-ci représentent les parts des régions par rapport à la totalité de l'habitat.

Les valeurs des deux attributs de connectivité se situent dans l'intervalle [0, 1]. Pour les deux attributs, la valeur 1 signifie que l'état à étudier correspond à l'état proche de la nature, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune barrière artificielle ni aucun tronçon mis sous terre et que l'état écomorphologique est très bon. L'attribut a_{ups} prend la valeur 0 s'il y a une barrière à l'exutoire du bassin versant. La présence de barrières artificielles supplémentaires ou de tronçons en mauvais état diminue la valeur de l'attribut a_{int} .

Comme la fragmentation est calculée pour les salmonidés et pour les non-salmonidés, il existe au total quatre attributs :

$$a_{\text{ups}}^{\text{salm}}, \quad a_{\text{int}}^{\text{salm}}, \quad a_{\text{ups}}^{\text{nons}}, \quad a_{\text{int}}^{\text{nons}} \quad (3.3)$$

Les deux fragmentations pour les salmonidés (salm) et les non-salmonidés (nons) se distinguent par la définition des obstacles, telle qu'elle est donnée dans le tableau 1. La signification des attributs est illustrée ci-après.

3.4.1.2 Illustration des attributs

La signification des attributs a_{ups} et a_{int} est illustrée ci-dessous à l'aide des figures 7 et 8. Par souci de simplification, l'état écomorphologique choisi pour tous les tronçons partiels est $s_i = 1$ (très bon état) et leur importance ichtyo-écologique est la même.

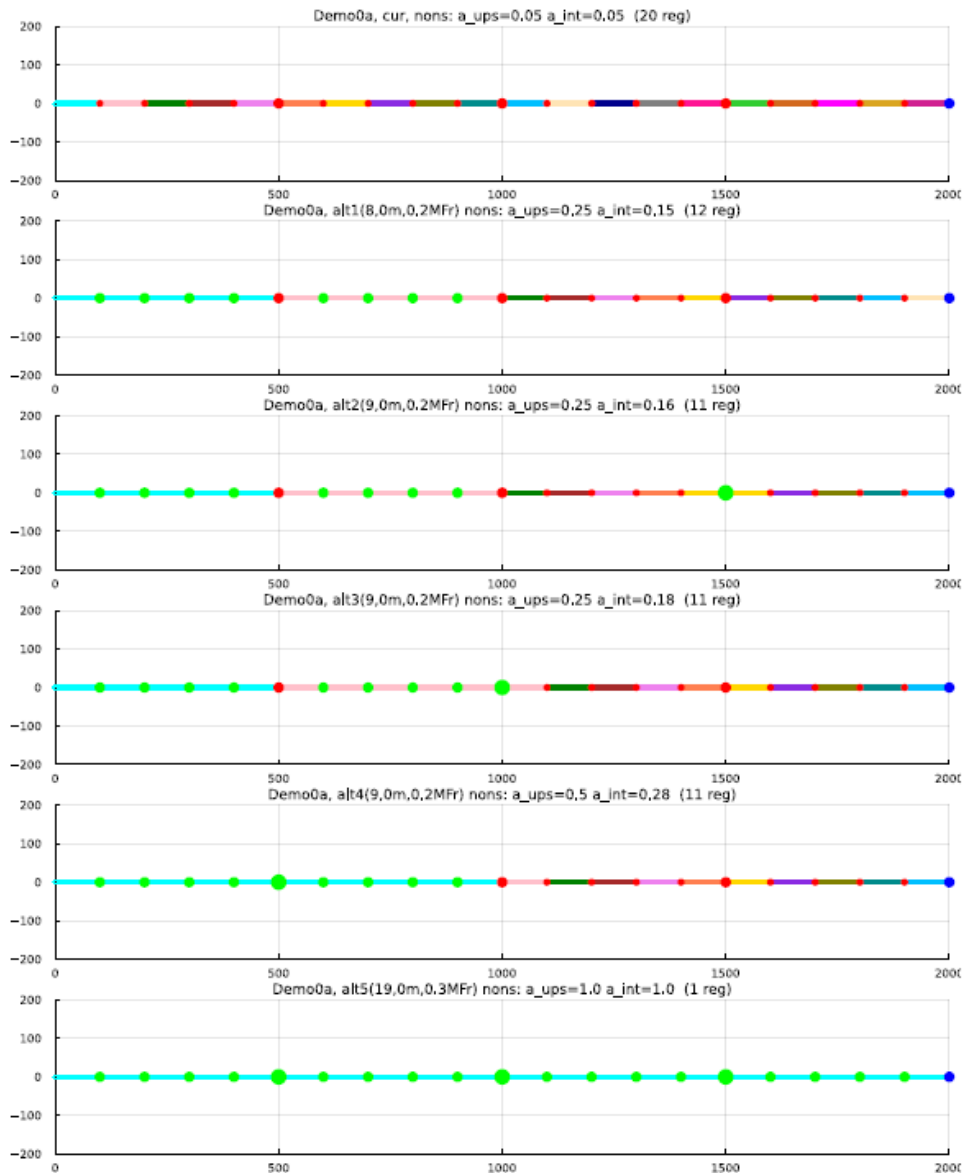
La signification des attributs a_{ups} et a_{int} est illustrée ci-dessous à l'aide des figures 7 et 8. Par souci de simplification, l'état écomorphologique choisi pour tous les tronçons partiels est $s_i = 1$ (très bon état) et leur importance ichtyo-écologique est la même.

Le premier graphique de la figure 7 montre un tronçon de 2000 mètres de longueur, avec un obstacle artificiel tous les 100 mètres. Comme les poissons avaient accès à la totalité du tronçon quand il était dans son état naturel (aucun obstacle naturel avant 2000 m), la part pouvant être atteinte actuellement

depuis l'embouchure (point le plus à gauche sur le graphique) est $a_{ups} = 100/2000 = 0,05$. Pour la connectivité interne, il faut calculer la moyenne pondérée des parts de toutes les régions. Comme chaque tronçon individuel représente aussi une part de 0,05 par rapport à la taille naturelle, sa valeur moyenne est aussi $a_{int} = 100/2000 = 0,05$ (comme toutes les valeurs sont égales, la pondération ne joue aucun rôle).

Figure 7

Illustration de différentes situations sur un tronçon de cours d'eau avec des obstacles artificiels (points rouges), des obstacles naturels (points bleus) et des obstacles rendus franchissables (points verts). La région accessible depuis le point le plus en aval est bleu turquoise ; les autres régions contiguës sont signalées par des couleurs choisies indifféremment. Les valeurs des attributs a_{ups} (a_ups) et a_{int} (a_int) sont précisées dans le titre de chaque graphique, ainsi que le nombre de régions. Voir les explications détaillées dans le texte.



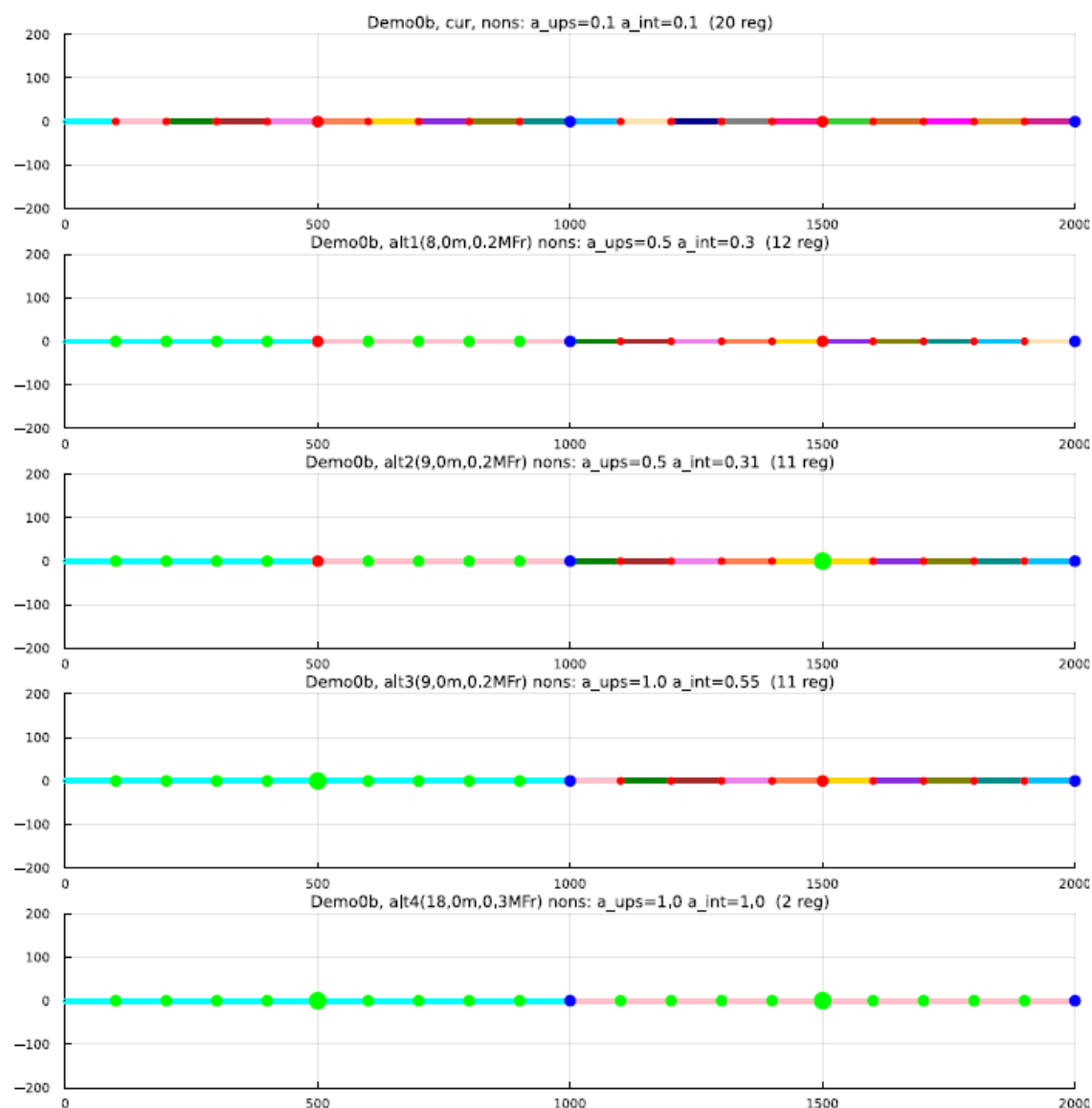
Sur le deuxième graphique, les obstacles de la moitié gauche ont été rendus franchissables, à l'exception de celui situé à 500 mètres. La part accessible depuis l'embouchure est donc $a_{ups} = 500/2000 = 0,25$. Concernant la fragmentation interne, l'accessibilité de chaque fragment équivaut à 1/4 de la situation naturelle dans la moitié gauche et à 1/20 dans la moitié droite. Comme l'habitat naturellement accessible correspond à l'ensemble du réseau, les poids (parts par rapport à l'ensemble du réseau) sont égaux. On obtient ainsi $a_{int} = 2 \cdot 500/2000 \cdot 500/2000 + 10 \cdot 100/2000 \cdot 100/2000 = 0,15$.

Les troisième, quatrième et cinquième graphiques de la figure 7 montrent dans quelle mesure l'élimination d'un seul obstacle supplémentaire peut modifier les attributs. S'il s'agit d'un obstacle situé dans la moitié droite, au cœur d'une dense succession de barrières, la valeur de l'attribut a_{int} passe seulement de 0,15 à 0,16. S'il s'agit d'un obstacle à l'extrémité d'une grande région, la valeur passe de 0,15 à 0,18. S'il s'agit de l'obstacle situé à la jonction des deux plus grandes régions, la valeur de l'attribut a_{int} passe à 0,28. Cela montre à quel point la création de régions plus grandes améliore l'attribut a_{int} . Dans ce dernier cas, la valeur de l'attribut a_{ups} passe naturellement de 0,25 à 0,5.

Enfin, le dernier graphique montre que les valeurs des attributs a_{ups} et a_{int} deviennent égales à 1 si tous les obstacles artificiels sont supprimés.

Figure 8

Illustration de différentes situations légèrement différentes de celles de la figure 7 (ici, l'obstacle situé à 1000 m est naturel, et non artificiel). Voir la légende de la fig. 7 et les explications détaillées dans le texte.



Enfin, le dernier graphique montre que les valeurs des attributs a_{ups} et a_{int} deviennent égales à 1 si tous les obstacles artificiels sont supprimés.

La figure 8 montre des situations similaires à celles de la figure 7, à la différence qu'il y a un obstacle naturel au milieu du tronçon. Comme la part du réseau accessible dans des conditions naturelles est

en conséquence deux fois moins importante qu'à la figure 7, les valeurs des attributs a_{ups} et a_{int} doublent dans toutes les situations représentées, à l'exception de la dernière (comme les habitats naturellement accessibles sont deux fois moindres, les parts accessibles dans l'état actuel par rapport aux habitats accessibles dans des conditions naturelles sont deux fois plus importantes, alors que leurs poids restent les mêmes puisqu'ils représentent les parts par rapport au réseau total).

3.4.1.3 Importance ichtyo-écologique

Le facteur de pondération quantifiant l'importance ichtyo-écologique est un moyen de prendre en compte les connaissances locales ainsi que les besoins liés à des espèces spécifiques ou à des conditions locales spécifiques. Dans un souci de traçabilité et de comparabilité, il est nécessaire de présenter clairement les raisons et les données de base qui justifient la pondération choisie.

Données de base:

- **Données actuelles**

- morphologie (données allant au-delà des données écomorphologiques officielles, p. ex. présence d'abris pour les poissons, de bancs de gravier ou de frayères adaptées) ;
- communautés piscicoles (p. ex. diversité d'espèces, espèces menacées) ;
- aire de protection de la nature ;
- tronçon à débit résiduel ou à éclusées, etc. ;

- **Avis des experts**

sur l'importance que représente le tronçon pour certaines espèces spécifiques ou pour un haut niveau de diversité biologique ;

- **Résultats de modélisation**

s'il existe des résultats de modélisation pour des habitats de bonne qualité ou pour un potentiel élevé en faveur de diverses communautés de poissons ou d'espèces menacées, ils peuvent également être utilisés.

Critères:

- Raisons pouvant justifier une importance (pondération) plus grande :
- tronçon riche en espèces ou tronçon pouvant être colonisé à partir d'un tel tronçon ;
- tronçon avec des espèces rares ou tronçon pouvant être colonisé à partir d'un tel tronçon ;
- tronçon avec des poissons migrateurs ou tronçon pouvant être colonisé à partir d'un tel tronçon ;
- zone alluviale ;
- frayère pour les nases ou les ombres (recensée au niveau national) ou autre frayère connue localement ;
- potentielle zone à saumons ;
- refuge à eau fraîche particulièrement important pour les salmonidés ;

Atteintes durables pouvant justifier une importance (pondération) moins grande :

- tronçon s'asséchant occasionnellement ;
- tronçon à éclusées ne pouvant pas être assaini entièrement ;
- tronçon avec un régime d'écoulement non naturel (p. ex. tronçon à débit résiduel) ;
- tronçon avec un régime de charriage perturbé (p. ex. à cause d'un dépotoir à alluvions ou d'un détournement du cours d'eau).

D'autres critères peuvent aussi être pris en compte, par exemple des habitats potentiels pour les poissons, la qualité de l'eau, des espèces envahissantes, etc. Dans tous les cas, les critères choisis et leur pondération doivent faire l'objet d'une justification. Les déficits pour lesquels il est déjà prévu des mesures d'assainissement dans le cadre d'une revitalisation ne doivent pas être pris en compte, leur assainissement nécessitant une planification stratégique à long terme au sens du module correspondant de l'aide à l'exécution.

Quantification :

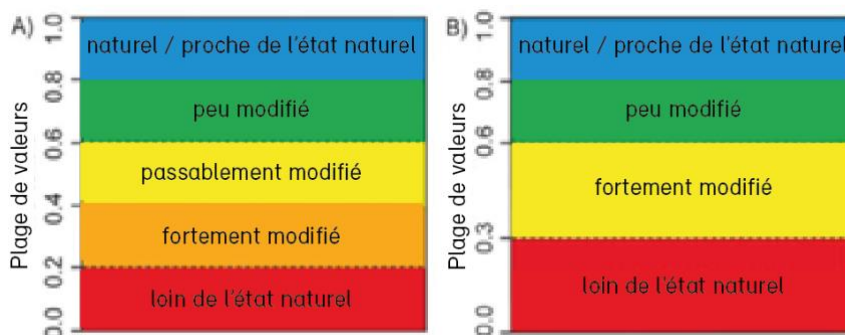
La quantification de l'importance ichtyo-écologique (facteur de pondération) a pour base une évaluation par des spécialistes de la pêche. La présente méthode recommande de limiter le facteur de pondération à une plage de valeurs allant de 0,5 à 2, c'est-à-dire de diviser le poids (diminution de l'importance) ou de multiplier le poids (augmentation de l'importance) au maximum par deux. En donnant la même importance à tous les critères pris en compte, on obtient ainsi, pour un maximum de n critères positifs ou négatifs, un facteur de $n\sqrt{2}$ pour chaque critère positif ou un facteur de $1/n\sqrt{2}$ pour chaque critère négatif. Les critères peuvent se cumuler et se compenser, mais la fourchette reste limitée à un intervalle allant de 0,5 à 2. Un tronçon auquel tous les critères positifs s'appliquent aurait ainsi un poids deux fois supérieur à celui d'un tronçon auquel aucun critère ne s'applique et un poids quatre fois supérieur à celui d'un tronçon auquel tous les critères négatifs s'appliquent. Dans le cas où il y aurait autant de critères positifs que de critères négatifs, la pondération serait la même que pour un tronçon auquel aucun critère ne s'applique.

3.4.2 Évaluation de l'état de fragmentation

Sur la base des attributs, la fonction d'évaluation doit décrire l'atteinte des objectifs sur une échelle de 0 à 1. Pour la visualisation, l'évaluation continue peut être représentée selon un schéma de classement conforme au système modulaire gradué¹² (cf. fig. 9). La hiérarchie des objectifs précédemment établie (cf. fig. 4) aide à construire la fonction d'évaluation étape par étape. L'atteinte des quatre sous-objectifs au niveau hiérarchique le plus bas dépend à chaque fois d'un seul des quatre attributs $a_{\text{ups}}^{\text{salm}}$, $a_{\text{int}}^{\text{salm}}$, $a_{\text{ups}}^{\text{nonS}}$ et $a_{\text{int}}^{\text{nonS}}$, qui sont définis dans les équations 3.1 et 3.2 pour les différents critères de fragmentation du tableau 1 (cf. point 3.4.1.1). La dépendance aux attributs est illustrée à la figure 10 par des pointillés.

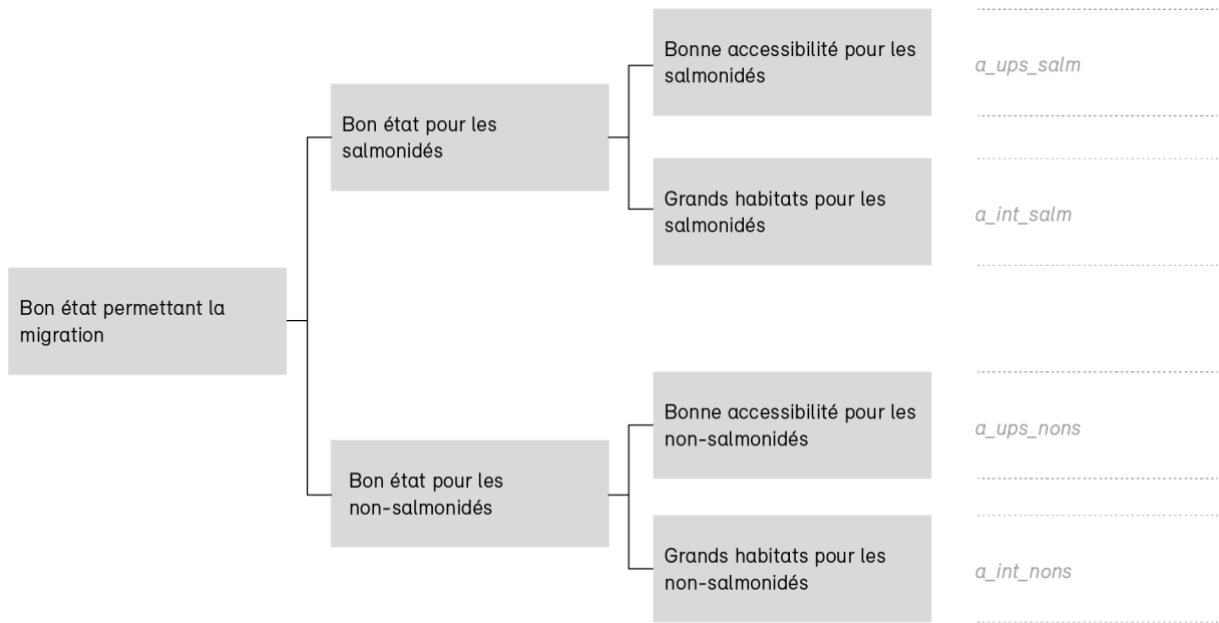
Figure 9

Échelle d'évaluation continue répartie en cinq classes (à gauche) ou en quatre classes (à droite) conformément au système modulaire gradué¹¹



¹² Langhans, S. D. et Reichert, P. (2011) : Einbettung von Verfahren zur Fließgewässerbewertung in ein übergeordnetes Gewässermanagementkonzept. Wasser Energie Luft, 103(3):204–214

Figure 10
Hiérarchie des objectifs visant la libre migration des poissons dans un bassin versant, avec les attributs correspondants



La plage de valeurs pour les attributs comme pour l'atteinte des objectifs est comprise entre 0 et 1, une valeur d'attribut égale à 0 correspondant au plus bas niveau de réalisation de l'objectif (valeur égale à 0) et une valeur d'attribut égale à 1 correspondant au plus haut niveau de réalisation de l'objectif (valeur égale à 1). La fonction d'évaluation la plus simple qui remplit cette condition est la fonction linéaire illustrée à la figure 11. On peut considérer qu'une courbe sigmoïde caractériserait encore mieux l'atteinte de l'objectif, puisque les aires d'habitat très petites ne sont pas de grande valeur alors qu'à l'inverse les aires d'habitat grandes ou très grandes apportent un aussi bon soutien aux communautés piscicoles. La difficulté de trouver la courbure idéale et la faible influence sur les résultats ont toutefois conduit à s'en tenir à des fonctions linéaires.

Figure 11: Fonctions d'évaluation linéaires pour les sous-objectifs en bas de la hiérarchie. Les couleurs sur l'axe y correspondent aux classes d'évaluation selon la figure 9 ; les couleurs sur l'axe x indiquent les plages de valeurs de l'attribut qui conduisent dans les classes correspondantes.

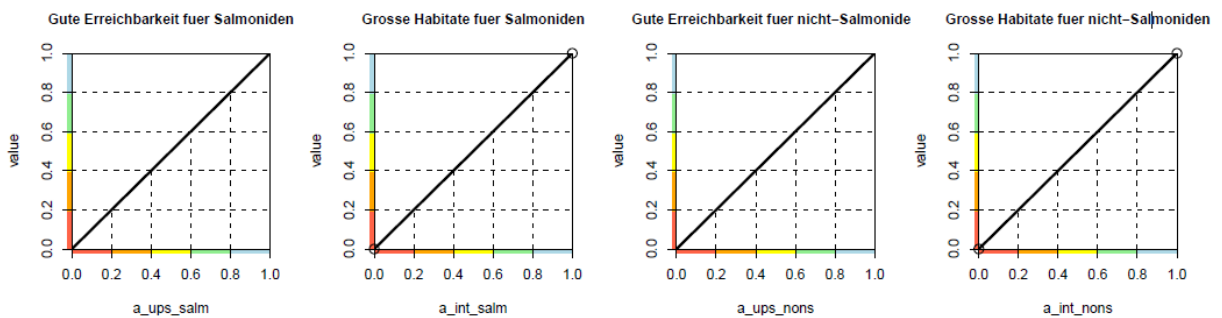
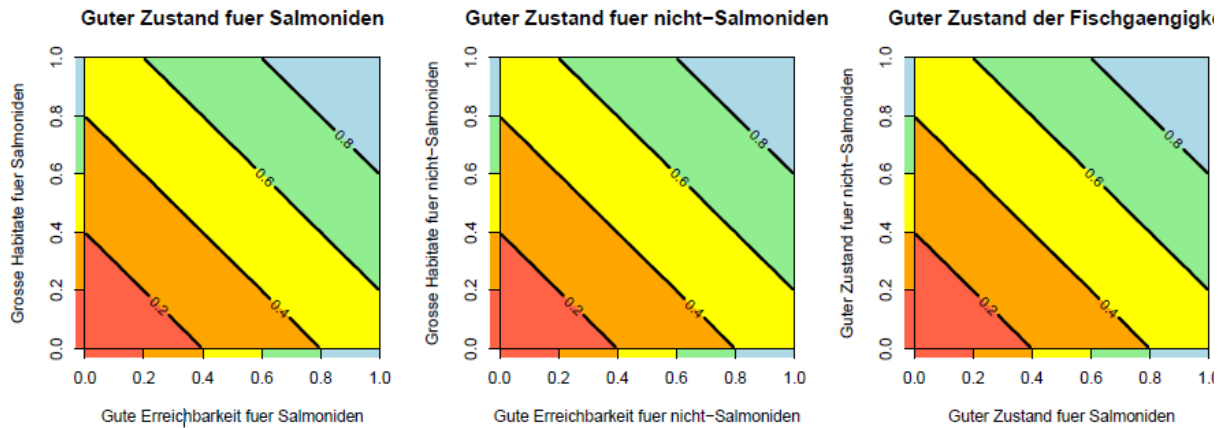


Figure 12

Fonctions d'agrégation les plus simples permettant d'évaluer les objectifs hiérarchiquement supérieurs en calculant la moyenne des niveaux d'atteinte de leurs sous-objectifs respectifs. Les deux axes représentent les évaluations des sous-objectifs ; les lignes de niveau représentent les évaluations de l'objectif supérieur. Dans les deux cas, les couleurs indiquent les classes d'évaluation.



Pour évaluer le niveau d'atteinte des objectifs supérieurs, il faut agréger les niveaux d'atteinte des sous-objectifs correspondants. La méthode d'agrégation la plus simple consiste à faire la moyenne des deux niveaux d'atteinte des sous-objectifs correspondants. Cette méthode est illustrée à la figure 12. Si on assemble les fonctions d'évaluation des objectifs inférieurs selon la figure 11 et les fonctions d'agrégation selon la figure 12, on obtient l'évaluation de l'objectif supérieur en fonction de tous les attributs $a_{\text{ups}}^{\text{salm}}$, $a_{\text{int}}^{\text{salm}}$, $a_{\text{ups}}^{\text{nons}}$, $a_{\text{int}}^{\text{nons}}$. Pour une fonction d'évaluation applicable généralement, il est difficile de justifier ici des pondérations différentes. Il demeure toutefois possible de choisir une autre pondération pour des situations spécifiques (dûment justifiées). Comme le montrent les exemples à l'annexe A1, cette pondération peut aussi être modifiée en partie par la prise en compte de l'importance ichtyo-écologique.

3.4.3 Estimation des coûts

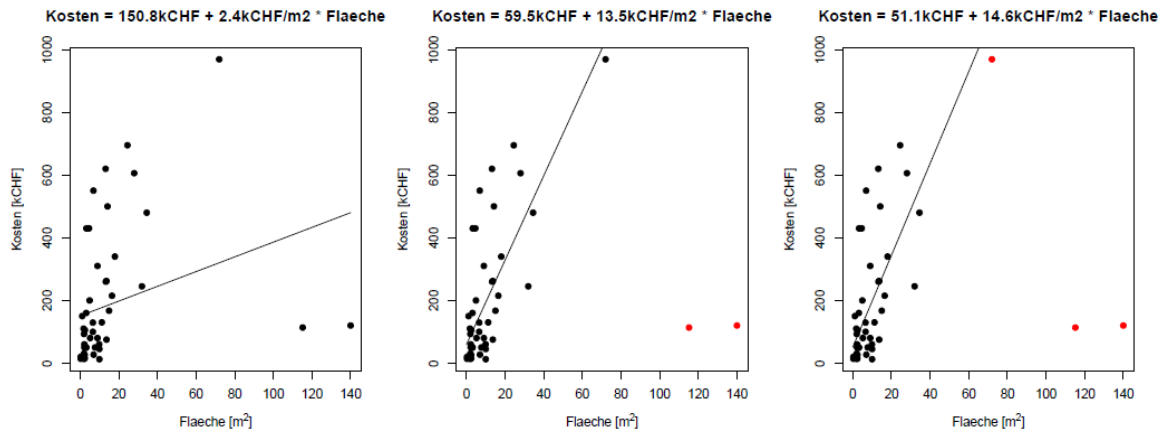
En se basant sur les coûts de différents projets réalisés ces dernières années (suppression de barrières, remplacement par des rampes de fond, des passes à poissons ou des chenaux de contournement), il est possible d'estimer les coûts attendus en fonction de la superficie de la section transversale (largeur du cours d'eau x hauteur de l'obstacle). La régression de gauche utilise l'ensemble des 41 points de données ; elle est très fortement déterminée par les deux points en bas à droite. Sur le graphique du milieu (fig. 13), ces deux points (en rouge) n'ont pas été pris en compte dans la régression. Sur le graphique de droite, le point en haut à droite n'a pas été pris en compte lui non plus. L'estimation des coûts utilisée dans ce qui suit est basée sur la régression de droite. Sa formule est la suivante :

$$c_{\text{Barriere}} = 50 \text{ kCHF} + w \cdot h \cdot 15 \text{ kCHF/m}^2 \quad (3.4)$$

où c_{barriere} correspond aux coûts d'assainissement d'une barrière, w à la largeur du cours d'eau et h à la hauteur de l'obstacle. Les coûts d'assainissement d'un obstacle seraient donc de 50 000 francs plus 15 000 francs par mètre carré de superficie de la section transversale de l'obstacle. Cette formule peut être adaptée s'il existe davantage de données disponibles ou bien des données plus précises à l'échelle locale. Pour une barrière considérée individuellement, les coûts réels peuvent grandement différer de cette estimation ; mais si on considère la moyenne des coûts de plusieurs barrières, alors les écarts doivent s'équilibrer quelque peu, de sorte qu'il est possible d'apprécier grossièrement si une variante visant à supprimer plusieurs barrières peut être financée avec un budget donné.

Figure 13

Régressions linéaires des coûts de construction pour remplacer une barrière ou la rendre franchissable, relativement à la superficie de sa section transversale. À gauche, avec l'utilisation de tous les points de données ; au milieu, avec l'exclusion des deux plus grandes barrières (points rouges) ; à droite, avec l'exclusion supplémentaire du projet le plus coûteux (point rouge supplémentaire).



Les graphiques de la figure 14 illustrent les coûts de remise à ciel ouvert, avec deux évaluations statistiques possibles. Comme la régression linéaire tenant compte de la largeur ne donne pas de résultats satisfaisants (graphique de gauche), seule sera utilisée dans ce qui suit la classification « en milieu urbain » ou « hors milieu urbain », qui conduit à l'estimation des coûts suivante (en l'absence d'information sur l'utilisation du sol) :

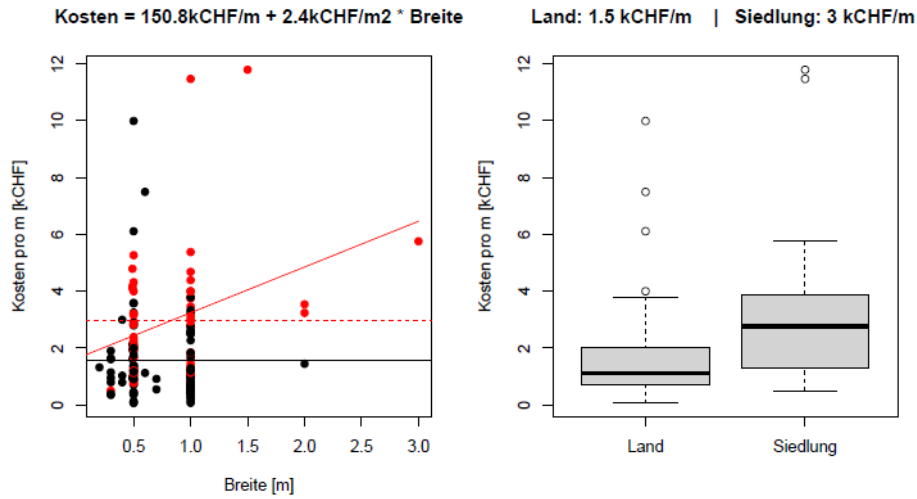
$$c_{\text{Ausdolung}} = \begin{cases} 1.5 \text{ kCHF/m} & \text{ausserhalb des Siedlungsgebietes} \\ 3.0 \text{ kCHF/m} & \text{im Siedlungsgebiet} \end{cases} \quad (3.5a)$$

$$c_{\text{Ausdolung}} = 2.25 \text{ kCHF/m} \quad (3.5b)$$

Ici, *Gremise à ciel ouvert* correspond aux coûts d'assainissement par mètre linéaire de cours d'eau mis sous terre. On notera que les données ne concernent que des cours d'eau dont la largeur est inférieure à 3 mètres. Pour les cours d'eau plus larges, les mises sous terre sont souvent des passages sous de grandes routes ou sous des autoroutes. Dans ce cas, une remise à ciel ouvert n'est pas possible, et la meilleure migration des poissons passe plutôt par une renaturation du fond du cours d'eau – pour laquelle la présente méthode (faute d'autres données) utilise la même estimation des coûts. Au cas par cas, les coûts peuvent bien sûr différer grandement de cette estimation approximative.

Figure 14

À gauche, régression linéaire des coûts de construction par mètre de fond du lit (longueur) pour la remise à ciel ouvert en milieu urbain (en rouge) et valeur moyenne en milieu rural (pente négative à cause d'un point). À droite, coûts de construction par mètre de fond du lit (longueur) sans considération de la largeur. Calcul à partir de données de l'OFEV.

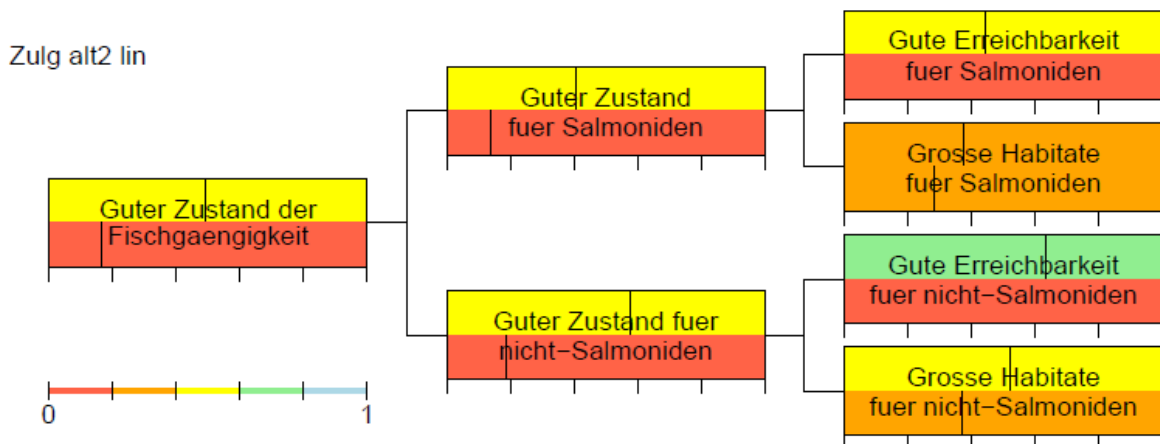


3.4.4 Exemple

La figure 6 présentée plus haut propose une variante de connectivité longitudinale pour la Zulg (variante Zulg 2). Ci-après, la figure 15 montre pour cette variante la hiérarchie des objectifs visant à améliorer la migration des poissons, avec l'évaluation de l'atteinte des objectifs à tous les niveaux hiérarchiques (traits verticaux et couleurs dans les cases). On constate ainsi que la variante conduit à une amélioration substantielle par rapport à l'état actuel.

Figure 15

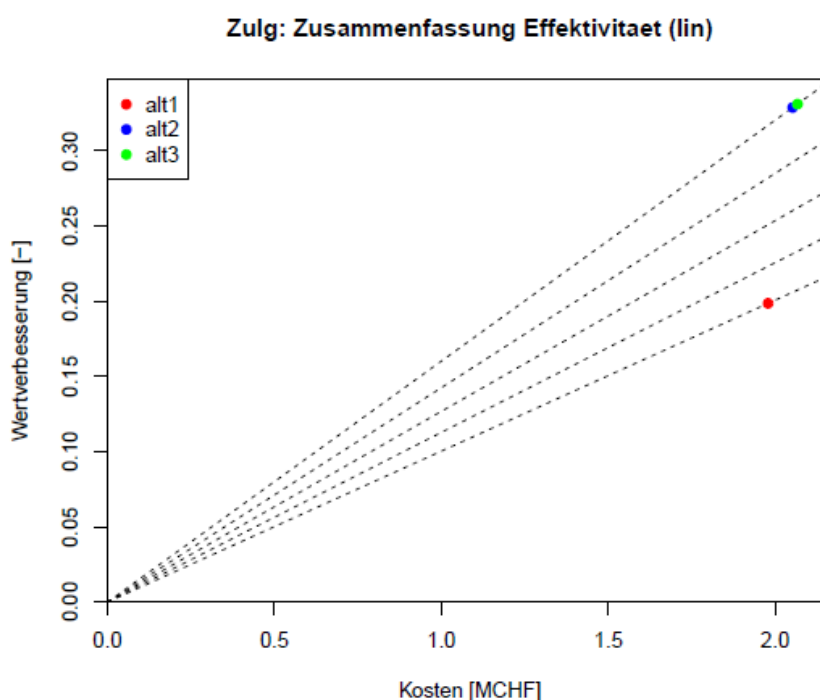
Comparaison entre l'évaluation de la variante Zulg 2 (partie haute des cases) et l'évaluation dans l'état actuel (partie basse). L'appréciation de chaque sous-objectif sur une échelle de 0 à 1 est représentée par un trait vertical (le bord gauche de la case correspond à la valeur 0 et le bord droit à la valeur 1). De plus, les cases sont colorées d'après les différentes classes d'évaluation (conformément à l'échelle en bas à gauche).



D'autres variantes sont discutées à l'annexe A1 (section A1.3.1). La figure 16 montre le gain de valeur des variantes 1 à 3 par rapport à leurs coûts estimés. On constate que la variante 1 présente un rapport gain-coût qui est nettement inférieur à celui des variantes 2 et 3. Dans ce cas particulier, les variantes sont des variantes à incrémentation, de sorte que la variante 2 contient les obstacles de la variante 1 et que la variante 3 contient les obstacles de la variante 2 (et donc aussi de la variante 1). C'est typiquement le cas lorsque les obstacles sont sélectionnés depuis l'embouchure, car il est alors souvent plus bénéfique d'étendre les efforts en remontant le cours d'eau plutôt que de laisser des obstacles en aval et d'améliorer uniquement la connectivité longitudinale dans la partie supérieure du bassin versant. Pour autant, cela n'est pas systématiquement le cas : s'il existe un obstacle naturel dans la partie inférieure, par exemple, il peut être judicieux d'améliorer la connectivité longitudinale interne dans le bassin versant en étudiant des variantes plus différenciées.

Abbildung 16

Représentation du gain de valeur des variantes Zug 1 à Zug 3 par rapport à leurs coûts estimés (cf. A1.3.1 pour la définition des variantes)



3.5 Analyser globalement tout le réseau hydrographique considéré

L'analyse à l'échelle du réseau hydrographique consiste à évaluer globalement plusieurs bassins versants partiels du lac ou du tronçon de cours d'eau considéré. Cette étape est importante, car l'évaluation des différents bassins versants telle qu'elle a été présentée jusqu'ici considère uniquement leur état respectif, et pas leur taille. Or pour évaluer l'agrandissement de la surface d'habitat grâce aux bassins versants de différents affluents, leur taille relative est très importante : un affluent avec un petit bassin versant, même s'il est en très bon état, contribue beaucoup moins à l'agrandissement de la surface d'habitat qu'un affluent avec un grand bassin versant, même s'il contient aussi des parties très fragmentées. Le concept choisi pour quantifier la fragmentation sur l'ensemble des bassins versants partiels consiste donc à additionner les tailles des habitats accessibles ou, pour la connectivité interne, à étendre à tous les bassins versants partiels la moyenne pondérée des parts actuellement contiguës par rapport aux régions naturellement contiguës. Ces attributs étendus sont ensuite évalués selon la même hiérarchie d'objectifs et avec les mêmes fonctions d'évaluation que dans le cas d'un seul bassin versant (cf. point 3.4.2).

3.5.1 Agrégation des attributs

Pour l'analyse globale à l'échelle du réseau hydrographique considéré, les sommes de l'équation 3.1 sont étendues à tous les bassins versants partiels :

$$a_{\text{ups}} = \frac{\sum_j \left(\sum_{i: k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=1} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right)}{\sum_j \left(\sum_{i: k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=1} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right)} \quad (3.6)$$

Les indices supérieurs (j) signifient que les variables avec l'indice se rapportent au bassin versant partiel j . Dans l'équation 3.6, la sommation des j porte sur tous les bassins versants partiels considérés, et les sommes intérieures des i portent sur les tronçons à l'intérieur du bassin versant partiel j correspondant. Les parties actuellement accessibles des différents bassins versants partiels sont ainsi additionnées, puis divisées par la somme des parties naturellement accessibles de tous les bassins versants partiels.

Pour quantifier la fragmentation interne, la somme pondérée des parts actuellement contiguës par rapport aux parts naturellement contiguës est étendue aux bassins versants partiels de manière analogue. Les parts contiguës restent donc identiques ; seule la somme pondérée est étendue aux bassins versants partiels. Ainsi, toutes ces parts calculées pour tous les bassins versants partiels sont additionnées avec des facteurs de pondération modifiés, qui sont maintenant normalisés par rapport à la somme des surfaces d'habitat de tous les bassins versants partiels. Cela conduit à étendre l'équation 3.2 de la façon :

$$a_{\text{int}} = \sum_j \left(\sum_{k=1}^{n_{\text{inv}}^{(j)}} w_k^{(j)} \frac{\sum_{i: k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{i: k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=k_{\text{assoc}}(k)} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}} \right) \quad (3.7a)$$

mit

$$w_k^{(j)} = \frac{\sum_{i: k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{j'} \left(\sum_i f_i^{(j')} \cdot o_i^{(j')} \cdot l_i^{(j')} \right)} \quad (3.7b)$$

Du fait que les formules sont alourdies par la notation de tous les bassins versants partiels au moyen des indices supérieurs (j), elles paraissent un peu compliquées. Au dénominateur de la formule 3.7, on fait maintenant la somme de tous les bassins versants partiels à l'aide de l'indice j' , à des fins de normalisation, tandis que l'indice j désigne le bassin versant partiel actuel. L'annexe A2 explique comment calculer très simplement ces formules pour les différents bassins versants partiels, à partir de grandeurs auxiliaires. Ainsi, il est très facile d'étendre l'implémentation à tous les bassins versants partiels en partant des analyses de fragmentation des différents bassins versants partiels ; cela ne nécessite pas d'effectuer une analyse de fragmentation simultanée pour tous les bassins versants partiels.

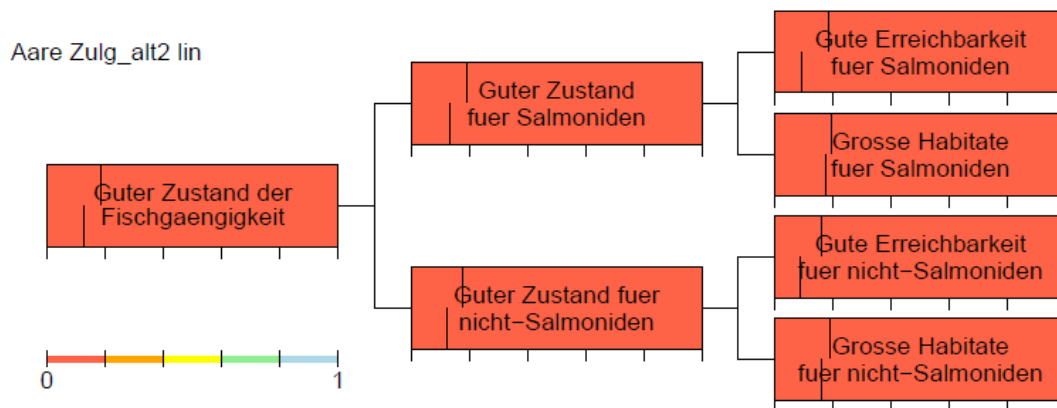
Avec ces définitions, la signification des attributs est totalement analogue à celle des attributs 3.1 et 3.2 pour un seul bassin versant. La présente méthode utilise donc les mêmes désignations a_{ups} et a_{int} et part du principe que le contexte est suffisamment clair pour savoir de quel(s) bassin(s) versant(s) il est question. Pour la même raison, elle utilise à l'identique la hiérarchie des objectifs et la fonction d'évaluation.

3.5.2 Exemple

Si la variante sur la Zulg d'après l'exemple présenté au point 3.4.2 (cf. fig. 15) est évaluée en prenant pour contexte tous les affluents du tronçon de l'Aar situé entre Thoune et Berne, on constate (cf. fig. 17) que l'amélioration de l'état est nettement moins importante que pour le seul bassin versant de la Zulg (cf. fig. 15). La raison est la suivante : bien que l'amélioration soit la même en termes de surfaces d'habitat absolues, l'amélioration relative par rapport aux habitats naturels dans les six bassins versants est plus faible.

Figure 17

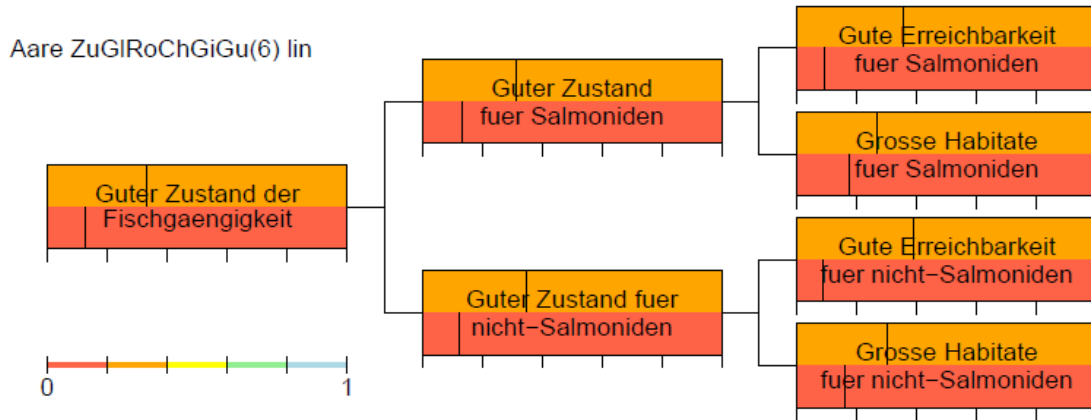
Évaluation en cas de réalisation simultanée des meilleures variantes étudiées pour tous les affluents dans l'ensemble du réseau de l'Aar sur le tronçon Thoune-Berne (partie haute des cases) par rapport à l'état actuel (partie basse)



L'amélioration est évidemment plus importante si des mesures sont réalisées dans tous les bassins versants partiels. La figure 18 montre l'évaluation en cas de réalisation simultanée des meilleures variantes étudiées pour tous les affluents dans l'ensemble du réseau de l'Aar sur le tronçon Thoune-Berne (cf. annexe A1). On constate que l'état demeure toutefois relativement mauvais (comme dans la plupart des bassins versants partiels considérés), non seulement à cause de la fragmentation restante mais aussi parce que l'état morphologique reste parfois mauvais dans les tronçons partiels.

Figure 18

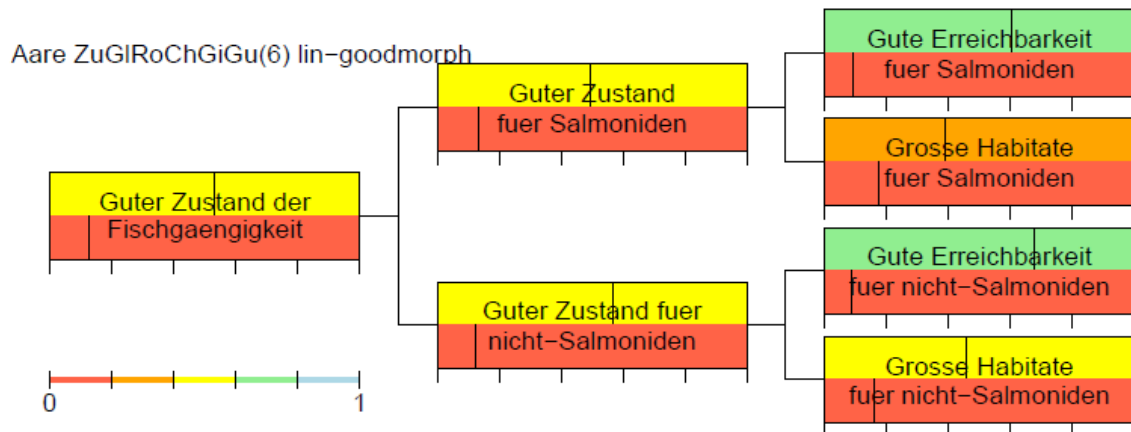
Comparaison entre l'évaluation de la variante Zug 2 pour l'ensemble du réseau de l'Aar sur le tronçon Thoune-Berne (partie haute des cases) et l'évaluation dans l'état actuel (partie basse)



L'évaluation à la figure 19 admet ensuite comme hypothèse que l'état morphologique de tous les tronçons partiels est très bon. Cette figure montre un gain de valeur nettement plus élevé et met en évidence l'importance de coordonner entre elles l'amélioration de la connectivité longitudinale et la revitalisation des tronçons de cours d'eau.

Figure 19

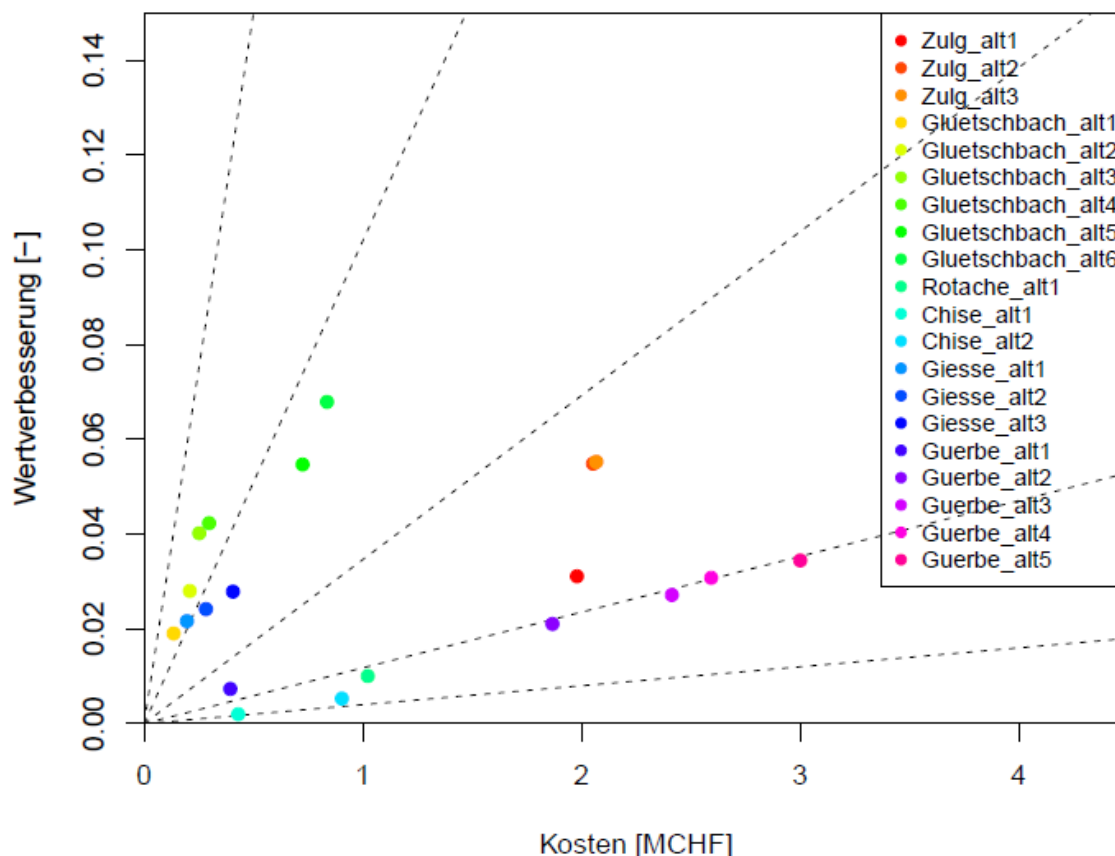
Évaluation en cas de réalisation simultanée des meilleures variantes étudiées pour tous les affluents dans l'ensemble du réseau de l'Aar sur le tronçon Thoune-Berne dans l'hypothèse où l'état morphologique des tronçons partiels est très bon (partie haute des cases) par rapport à l'état actuel (partie basse)



Enfin, la figure 20 montre le gain de valeur de toutes les variantes dans les six bassins versants (dans le contexte de l'ensemble du réseau de l'Aar entre Thoune et Berne) en fonction de leurs coûts. Ce graphique est à la base de la présélection de variantes qui sera discutée à l'étape suivante.

Figure 20

Gain de valeur de toutes les variantes étudiées dans les six bassins versants, par rapport à leurs coûts et par bassin versant



3.6 Présélectionner des variantes de revitalisation sur la base de leur rapport coût-bénéfice

La représentation clé pour la présélection des variantes de revitalisation est le graphique des gains de valeur par rapport à la situation actuelle et relativement aux coûts, à l'exemple de la figure 20. Cette représentation permet de classer les variantes dans les catégories de bénéfice « élevé » et « moyen », en attribuant un bénéfice élevé aux variantes sélectionnées dans le coin supérieur gauche et un bénéfice moyen aux autres (de manière générale). Si des variantes présentent un rapport gain-coût extrêmement mauvais, il faut leur attribuer un faible niveau de bénéfice, comme ce doit être le cas également pour les barrières qui n'ont pas été incluses dans les variantes à tester. Cette dernière classification repose sur l'hypothèse que l'analyse graphique de la fragmentation a permis de sélectionner toutes les variantes prometteuses à étudier.

Dans l'exemple de la figure 20, on attribuerait ainsi un niveau de bénéfice élevé aux variantes sur le Gluetschbach et sur la Giesse et éventuellement aux variantes 2 et 3 sur la Zulg, un niveau de bénéfice moyen aux autres variantes et un faible niveau de bénéfice aux barrières non incluses dans les variantes. S'il est possible d'appliquer la même classification à des obstacles considérés individuellement, il faut toutefois garder à l'esprit que le gain de valeur calculé n'est atteint que si la

migration des poissons est améliorée au niveau de tous les obstacles de la ou des variantes considérées.

3.7 Faire des contrôles de plausibilité basés sur des connaissances de terrain

3.7.1 Évaluation par des spécialistes connaissant les lieux ou visite des endroits critiques des bonnes variantes

L'analyse graphique de la fragmentation (fig. 5 et 6) et le calcul du rapport coût-bénéfice qui en découle sont des outils extrêmement utiles pour la planification stratégique des revitalisations. Toutefois, ces analyses ne sauraient être meilleures que les données sur lesquelles elles se basent. Du fait que le recensement des obstacles à la migration peut être incomplet, mais aussi et surtout du fait que les données disponibles ne permettent pas une estimation parfaite de la franchissabilité des obstacles (en règle générale, seule est recensée la hauteur de l'obstacle mais pas sa conception architecturale), ces analyses ne sont pas parfaites. S'il est peu probable que ces problèmes affectent fortement la priorisation des obstacles, il n'en demeure pas moins que la franchissabilité de certaines barrières considérées individuellement peut être mal évaluée. C'est pourquoi il est très important de discuter des variantes les plus prometteuses avec des personnes connaissant bien les lieux et, si besoin, de se rendre sur place pour visiter les obstacles particulièrement critiques. La base de données peut ainsi être corrigée. Les coûts liés à cette étape devraient être limités, car les grandes zones du bassin versant qui ont été considérées comme non prometteuses sur la base de l'analyse de fragmentation ne nécessitent aucun contrôle de plausibilité.

3.7.2 Finalisation de la planification stratégique des barrières

Grâce aux corrections découlant des contrôles de plausibilité et aux éventuelles améliorations apportées aux estimations de coûts, il est enfin possible de procéder à la répartition définitive des variantes dans les catégories de bénéfice « élevé », « moyen » et « faible », comme décrit au point 3.6.

4. Conclusions

L'élément central de la méthode proposée ici est l'analyse de la fragmentation du bassin versant. D'une part, elle offre une bonne vue d'ensemble des régions contiguës, ce qui facilite grandement l'élaboration de variantes de revitalisation efficaces. D'autre part, elle constitue une bonne base pour des analyses plus approfondies, qui permettent de comparer le coût des variantes avec le niveau d'amélioration qu'elles apportent. Ainsi, l'analyse de la fragmentation du bassin versant permet de planifier efficacement les mesures de revitalisation ou d'assainissement des obstacles à la migration piscicole, et elle aide à sélectionner les tronçons de cours d'eau nécessitant une renaturation.

Pour que la méthode proposée puisse s'appliquer efficacement, les trois conditions suivantes doivent être remplies.

1. Le réseau hydrographique doit être recensé dans un système SIG avec les attributs suivants :
 - pour chaque tronçon de cours d'eau :
 - coordonnées du tracé (dont découle la longueur du tronçon) ;
 - numéro d'ordre hydrographique ;
 - déclivité ;
 - analyse écomorphologique ou attributs à partir desquels l'analyse écomorphologique peut être faite ;désignation en tant que tronçon à ciel ouvert ou tronçon mis sous terre (information déjà contenue dans le point précédent, mais à mentionner séparément ici en raison de son importance comme obstacle potentiel) ; dans le second cas, préciser si le tronçon se situe en milieu urbain ou non, afin de mieux estimer les coûts de sa remise à ciel ouvert ;
 - pour chaque nœud entre les tronçons de cours d'eau :
 - présence ou absence d'une barrière (chute, barrage, centrale hydroélectrique, etc.) ;
 - le cas échéant, désignation en tant que barrière artificielle ou barrière naturelle ;
 - hauteur de la barrière ; s'il s'agit d'une barrière artificielle, indiquer également la largeur (si cette information n'est pas connue, elle peut être déduite de la largeur du cours d'eau) ;
 - identification du nœud qui matérialise l'embouchure du bassin versant dans le grand cours d'eau ou dans le lac.
2. La consultation de spécialistes de la pêche familiers des lieux est nécessaire pour évaluer l'importance ichtyo-écologique des tronçons de cours d'eau comme décrit au point 3.4.1.3 et pour vérifier la plausibilité des résultats provisoires comme décrit aux points 3.6 et 3.7.
3. Des outils SIG sont nécessaires pour le calcul de la fragmentation et des attributs et pour permettre aux utilisateurs de définir des variantes de revitalisation et de produire pour celles-ci des instruments numériques et graphiques permettant d'effectuer efficacement des analyses, comme décrit au chap. 3 et à l'annexe A1.

La base de données évoquée au premier point devrait être disponible dans les cantons. De même, les administrations cantonales ou les bureaux privés collaborant avec elles doivent disposer de spécialistes de la pêche ayant des connaissances locales, conformément au deuxième point. Pour le troisième point, l'OFEV réfléchit actuellement aux outils qui peuvent être mis à disposition.

Les études de cas ci-après sont disponibles qu'en allemand.

Anhang 1: Fallstudien

Wir erarbeiten drei Fallstudien, um das in in diesem Bericht erarbeitete Verfahren zu prüfen, den Aufwand für seine Durchführung zu testen und seine Anwendung zu demonstrieren.

Zunächst wird die Bewertung und die Erarbeitung von Varianten für einzelne Einzugsgebiete gemäss den Kapiteln 3.2 bis 3.4 anhand der **Kander** (Abschnitt A1.1) und der **Birs** (Abschnitt A1.2) aufgezeigt. Anschliessend wird die einzugsgebietsübergreifende Analyse gemäss dem Kapitel 3.5 anhand des Abschnitts der **Aare zwischen Thun und Bern** durchgeführt (Abschnitt A1.3). Auch in diesem Fall müssen erst die Teileinzugsgebiete analysiert und Varianten erarbeitet werden (Abschnitte A1.3.1 bis A1.3.6) bevor die einzugsgebietsübergreifende Analyse durchgeführt werden kann (Abschnitt A1.3.7). Die Vorauswahl und Plausibilisierung der Varianten wird für einzelne Einzugsgebiete und für die einzugsgebietsübergreifende Analyse auf dieselbe Art gemäss den Kapiteln 3.6 und 3.7 durchgeführt.

Die Daten für die Fallstudien beruhen auf dem Gewässernetz gwn25 (BAFU, 2007), das Bestandteil der Vektor25 Daten des Bundesamts für Landestopografie (swisstopo) ist (swisstopo, 2007). Wir verwenden dieses Gewässernetz, da die Daten des Bundesamtes für Umwelt, insbesondere die Ökomorphologiedaten, bundesweit nur für dieses Gewässernetz zur Verfügung stehen. Als Planungsgrundlage für die Kantone könnte alternativ das neuere, genauere Landschaftsmodell swissTLM3D und das darauf aufbauende Gewässernetz verwendet werden (swisstopo, 2023). Für die in dieser Studie durchgeführte Methodenentwicklung dienen die gezeigten Beispiele nur der Illustration der Methode, daher sind die Genauigkeitsunterschiede zum swissTLM3D Gewässernetz nicht relevant. Für die Bewertung der fischökologischen Bedeutung verwenden wir zusätzlich das Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung (BAFU, 2017).

Die in diesem Anhang gezeigten Beispiele dienen der Illustration der Methode. Da sie auf bundesweit zur Verfügung stehenden Daten basieren und Nachführungen der Kantone nicht berücksichtigen, sind sie nicht direkt als Planungsgrundlage für die Kantone verwendbar. Die kantonalen Planungen können aber dieselben Konzepte mithilfe der neueren, kantonalen Daten anwenden.

Die Inputdaten und Programmskripts für alle Resultate in diesem Anhang sind im Repository <https://gitlab.com/p.reichert/rivermanagement> verfügbar. Die hier verwendete Version entspricht dem commit 1aedb967. Im Rahmen der definitiven Publikation dieses Berichts werden alle Daten, Skripts und Resultate auch im öffentlichen Repository der Eawag <https://opendata.eawag.ch> publiziert.

A1.1 Kander/Simme

Die Kander (mit der kurz vor der Mündung einmündenden Simme) ist einer der grössten Nebenflüsse der Aare und fliesst seit der Kanderkorrektion von 1714 direkt in den Thunersee, anstatt die Aare über den heutigen Glütschbach (siehe auch Abschnitt A1.3.2) erst unterhalb von Thun zu erreichen. Die Kander ist ein Einzugsgebiet in der Forellenregion. Nur im Mündungsbereich gibt es noch einen gemischten Fischbestand.

A1.1.1 Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet der Kander besteht aus dem Kandertal (östlicher Teil) und dem Simmental (westlicher Teil) und hat eine Fläche von ca. 1100 km². Wie in der Abbildung A1.1 ersichtlich, erreicht die Flussordnung beim Zufluss der Simme in die Kander die Ordnung 7.

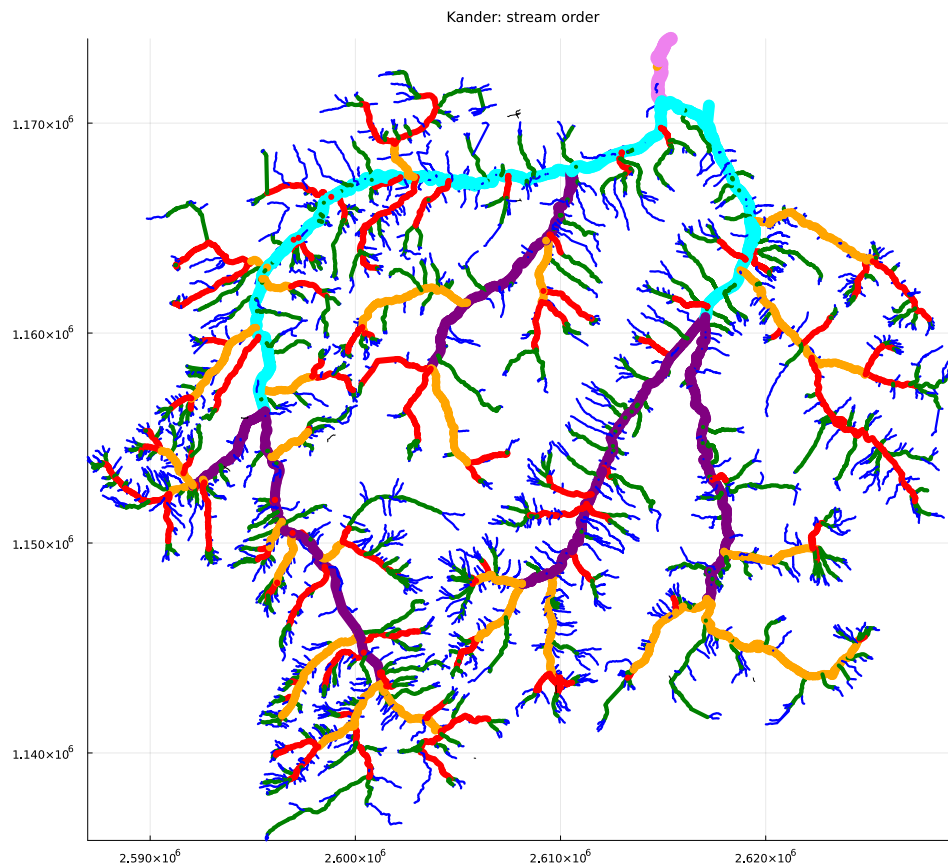


Abbildung A1.1: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

A1.1.2 Ökomorphologie

Ökomorphologiedaten liegen im System Kander/Simme nur für die Hauptgewässer vor. Ein grosser Teil dieser Gewässer ist morphologisch beeinträchtigt, insbesondere fast die ganze Simme (über weite Strecken gelb markiert für eine beeinträchtigte Ökomorphologie). Die meisten

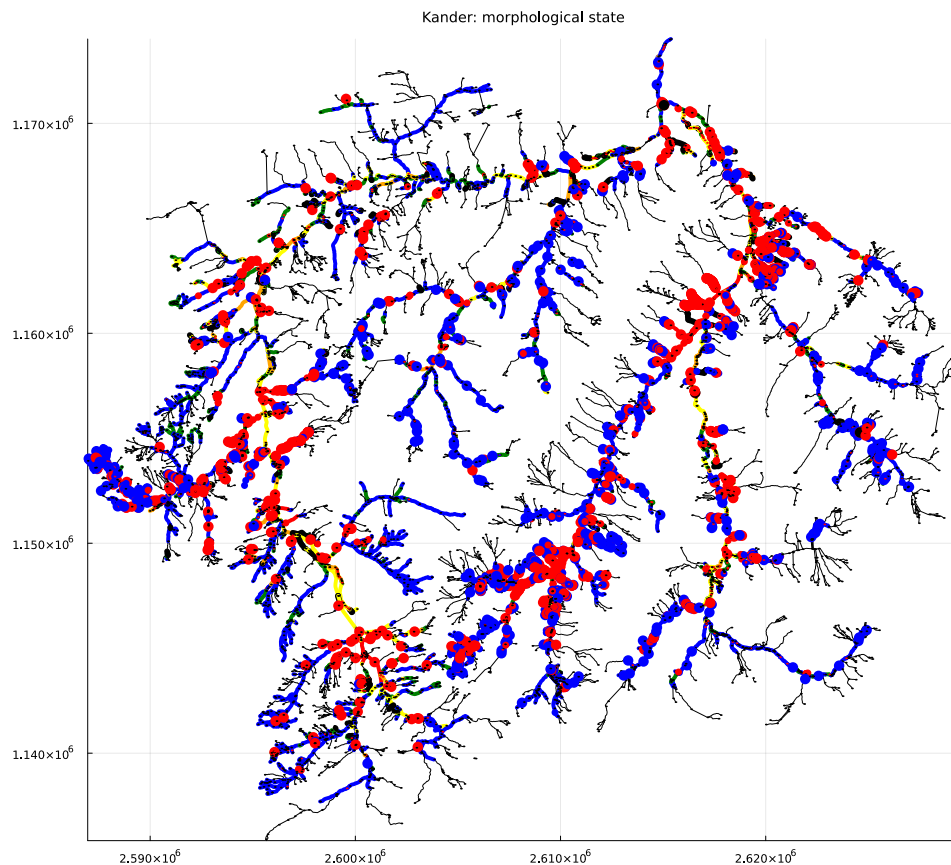


Abbildung A1.2: Ökomorphologischer Zustand der Fliesstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

Zuflüsse mit fehlenden Daten sind zu steil für Fischhabitate. Deshalb beeinträchtigen die fehlenden Daten die Analyse kaum.

A1.1.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.3 zeigt die für diese Analyse verwendete Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. In diesem Fall werden drei positive

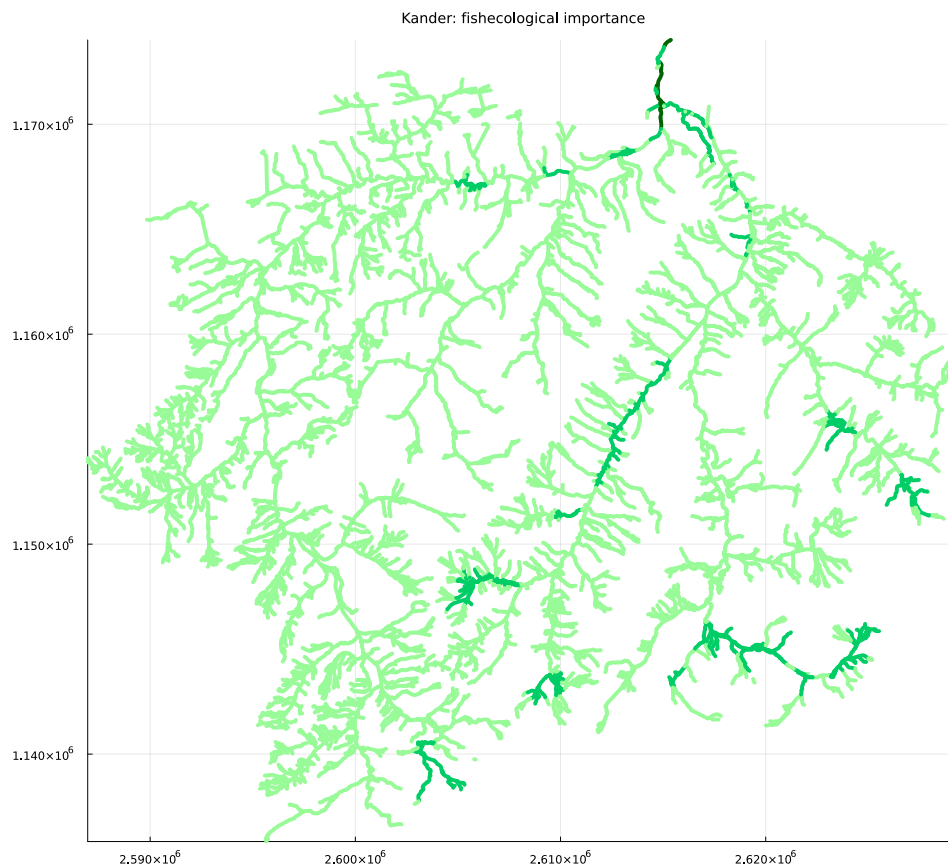


Abbildung A1.3: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell-, mittel, dunkelrot für 1, 2, 3 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell-, mittel, dunkelgrün für 1, 2, 3 positive Kriterien]). Im Fall der Kander liegen ausschliesslich positive Bewertungen vor.

Kriterien angewandt (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3):

- In Abwesenheit von artspezifischer Information werden die drei Kriterien der Möglichkeit der Kolonisierung aus artenreicheren Strecken, von seltenen Arten und von Wanderfischen in ein Kriterium zusammengefasst und auf den Bereich angewandt, der unter naturnahen Bedingungen von nicht-Salmoniden von der Mündung her erreicht werden kann (siehe Abbildung A1.4, links unten, für die unter natürlichen Bedingungen für nicht-Salmoniden von der Mündung her erreichbare Region). Das ist eine naheliegende Möglichkeit, wenn keine artspezifische Information vorliegt, aber ein untenliegendes Gewässer sehr viel artenreicher ist. Dieses Verfahren erhöht die Gewichtung des Ziels der von der Mündung erreichbaren Habitats im Vergleich zum Ziel von generell grossen Habitats in der Zielhierarchie.

- Auengebiete können durch die Verfügbarkeit der Daten über Auen von nationaler Bedeutung gut berücksichtigt werden.
- Das System Kander/Simme ist ein besonders wichtiges kühles Refugium für Salmoniden, was die Berücksichtigung dieses Kriteriums für das gesamte Einzugsgebiet rechtfertigt.

Da wir drei positive Kriterien berücksichtigen, wählen wir einen Faktor von $\sqrt[3]{2} \approx 1.26$ für jedes Kriterium (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3). Das ergibt eine Erhöhung des Gewichts um den Faktor 1.26 bei Vorliegen eines Kriteriums, 1.59 bei Vorliegen von zwei Kriterien, und 2 bei Vorliegen aller drei Kriterien. Es ist zu beachten, dass die Gewichtserhöhung des ganzen Einzugsgebiets wegen der kühlen Temperatur hier keine Auswirkung hat, da dieses Beispiel nur das einzelne Einzugsgebiet betrachtet. Bei der einzugsgebietsübergreifenden Bewertung hätte aber die Erhöhung der Gewichte einzelner Einzugsgebiete den Effekt, dass die Beseitigung von Wanderhindernissen in diesen Einzugsgebieten tendenziell eine höhere Priorität erhalten würden (hier haben natürlich auch die anderen Kriterien einen Einfluss, etwa, wie grosse Regionen zusammenhängend werden).

A1.1.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildung A1.4 zeigt die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Der Vergleich des aktuellen mit dem naturnahen Zustand zeigt eine grosse Einschränkung des erreichbaren Gewässernetzes für Salmoniden, während die nicht-Salmoniden auch im naturnahen Zustand nur einen kleinen Teil des Gewässernetzes erreichen. Für die Salmoniden erkennt man aber auch grosse zusammenhängende Bereiche in der Simme und etwas weniger ausgeprägt im Oberlauf der Kander. Die morphologisch nicht erfassten Zuflüsse sind zum grössten Teil zu steil um in die Analyse einbezogen zu werden.

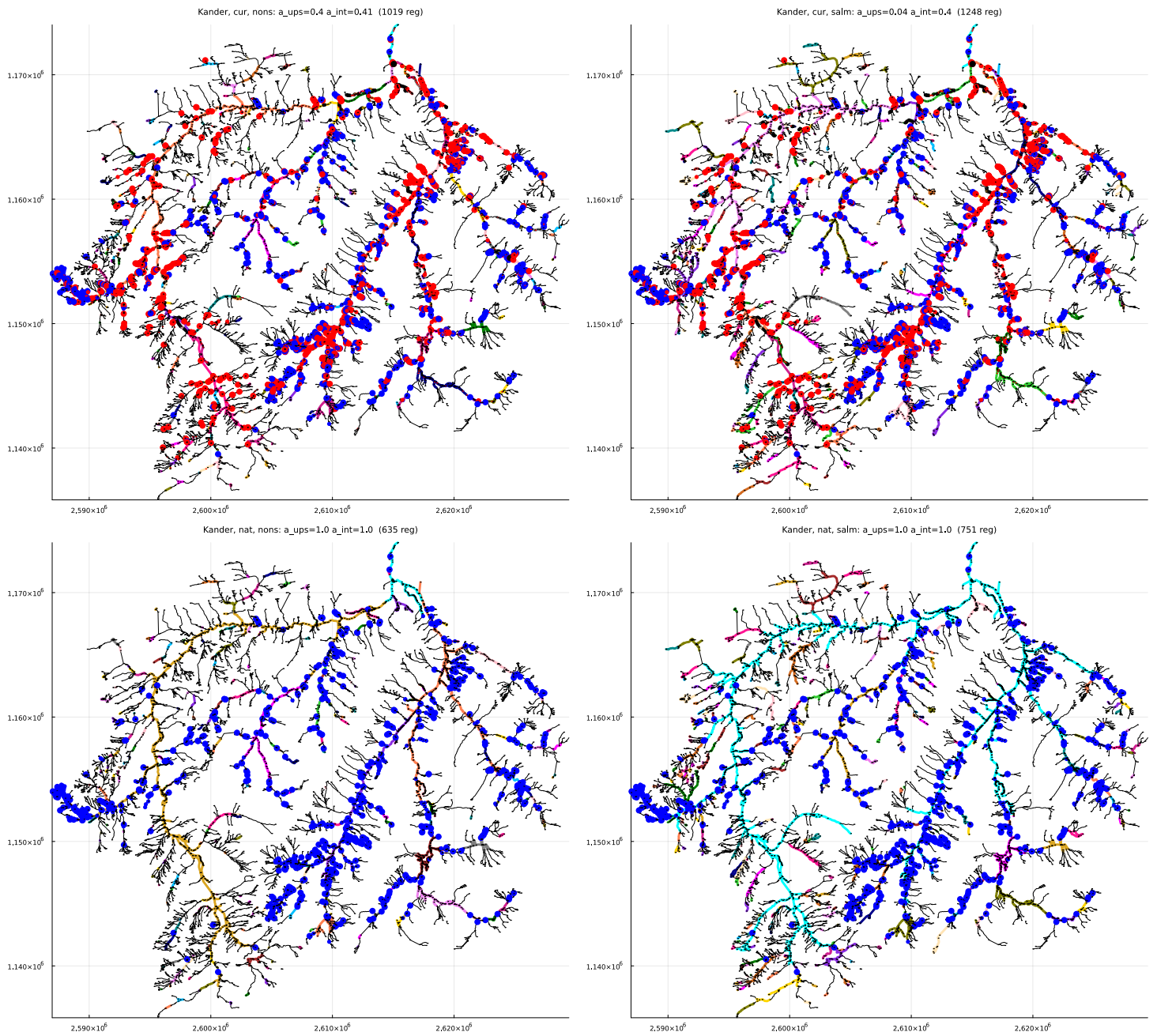


Abbildung A1.4: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand (oben) und im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen) (unten). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{\text{ups}}=a_{\text{ups}}$ (3.1), $a_{\text{int}}=a_{\text{int}}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.5 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie, links mit den Fließstrecken im aktuellen morphologischen Zustand, rechts unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden. Die geringen Unterschiede zwischen

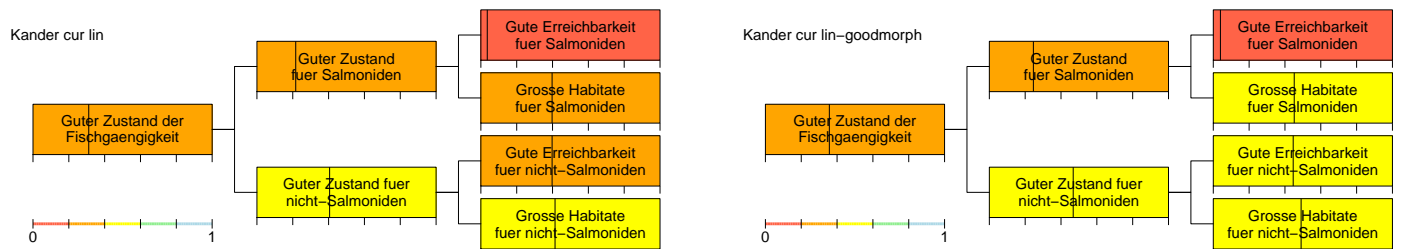


Abbildung A1.5: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

den beiden Bewertungen zeigt, dass der schlechte aktuelle Zustand bezüglich der Längsvernetzung primär durch die Wanderhindernisse und nicht durch die morphologisch beeinträchtigten Strecken verursacht wird. Je mehr Hindernisse beseitigt werden, desto wichtiger wird dann auch der morphologische Zustand der Fließstrecken (siehe Abschnitt A1.1.5). Die sehr schlechte Bewertung für die Erreichbarkeit des Einzugsgebiets für Salmondiden wird durch die künstlichen Barrieren im Unterlauf der Kander und der Simme bewirkt (oberhalb des Zusammenflusses von Simme und Kander). Da diese Bewertung auf dem Vergleich der aktuell von der Mündung erreichbaren Region mit der unter naturnahen Bedingungen erreichbaren Region beruht, welche für nicht-Salmoniden viel kleiner ist, ist die Bewertung der Erreichbarkeit für nicht-Salmoniden weniger schlecht.

A1.1.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten in der Simme und im Oberlauf der Kander an die Mündung. Die Tabelle A1.1 gibt einen Überblick über die untersuchten Varianten.

Var.	Anzahl ent-fernter Barrie-ren	Länge der ausgedolten Abschnitte	geschätzte Kosten	Kommentar
1	3	0 m	3.3 MCHF	Anschluss des grossen zusammenhängenden Gebiets der Simme an die Mündung
2	2	129 m	1.2 MCHF	Zusammenschluss der zwei grossen zusammenhängenden Gebiete im Oberlauf der Simme
3	5	129 m	4.4 MCHF	Kombination der Varianten 1 und 2
4	64	75 m	12.3 MCHF	Anschluss Unterlauf Kander und Entschlige an die Mündung
5	74	75 m	13.9 MCHF	Zusätzlich zur Variante 4 Anschluss des Mittellaufs der Kander
6	79	204 m	18.3 MCHF	Kombination der Varianten 3 und 5

Tabelle A1.1: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Kander.

Die Abbildungen A1.6 bis A1.17 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.1 gelisteten Varianten. Alle Bewertungen sind unter Berücksichtigung der in Abbildung A1.3 gezeigten Gewichtung mit der fischökologischen Bedeutung berechnet.

Mit der Elimination von mehr und mehr Wanderhindernisse vom aktuellen Zustand zur Variante 6 (Bewertungen in den Abbildungen A1.5, A1.7, A1.9, A1.11, A1.13, A1.15, A1.17) nimmt der Unterschied zwischen den Bewertungen mit dem aktuellen Zustand der Flieisstrecken (jeweils linke Abbildung) und mit Flieisstrecken in einem sehr guten morphologischen Zustand zu. Dies zeigt, dass auch die Flieisstreckenrevitalisierung immer wichtiger wird, um einen guten Längsnetzungsstatus zu erreichen.

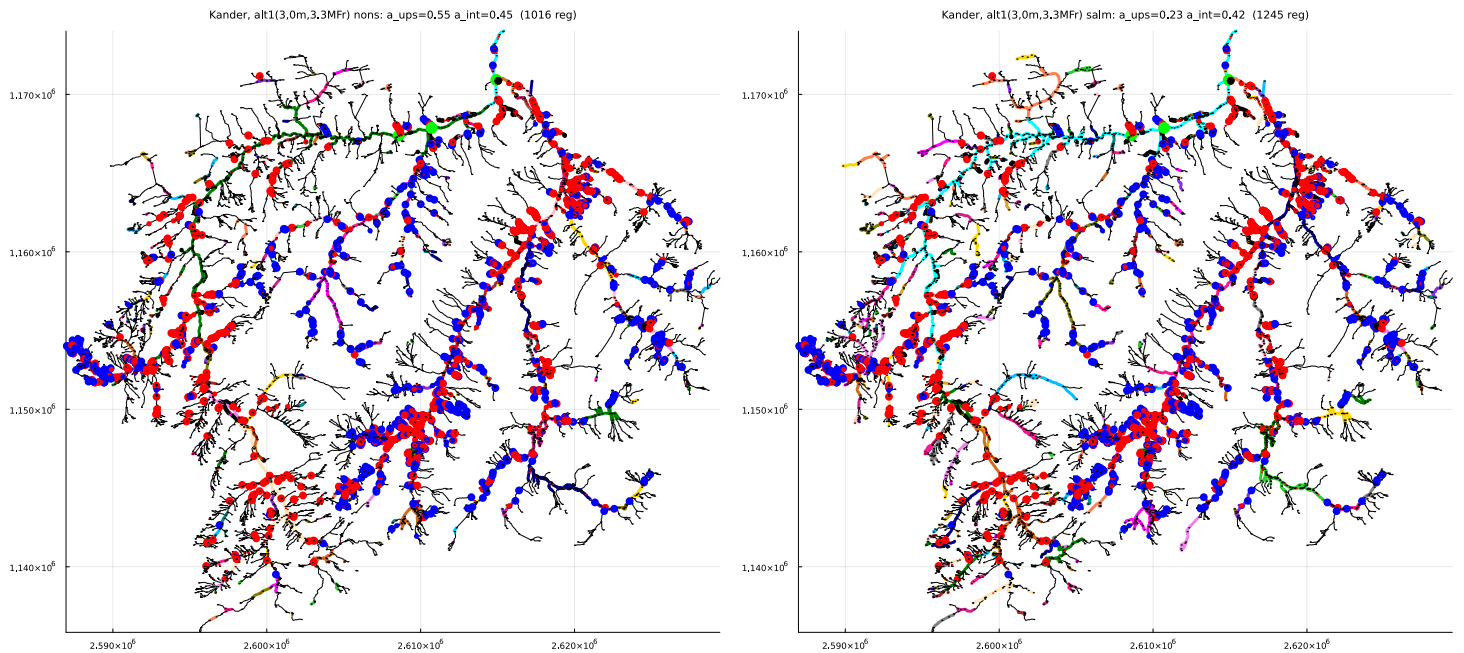


Abbildung A1.6: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

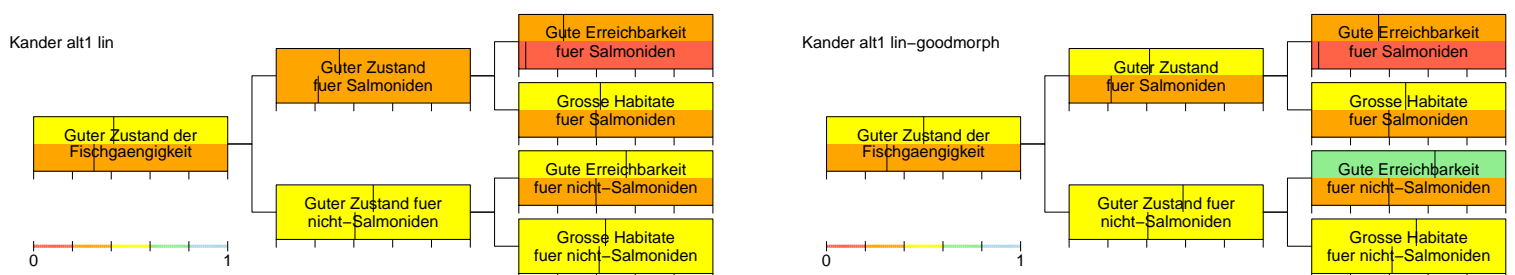


Abbildung A1.7: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

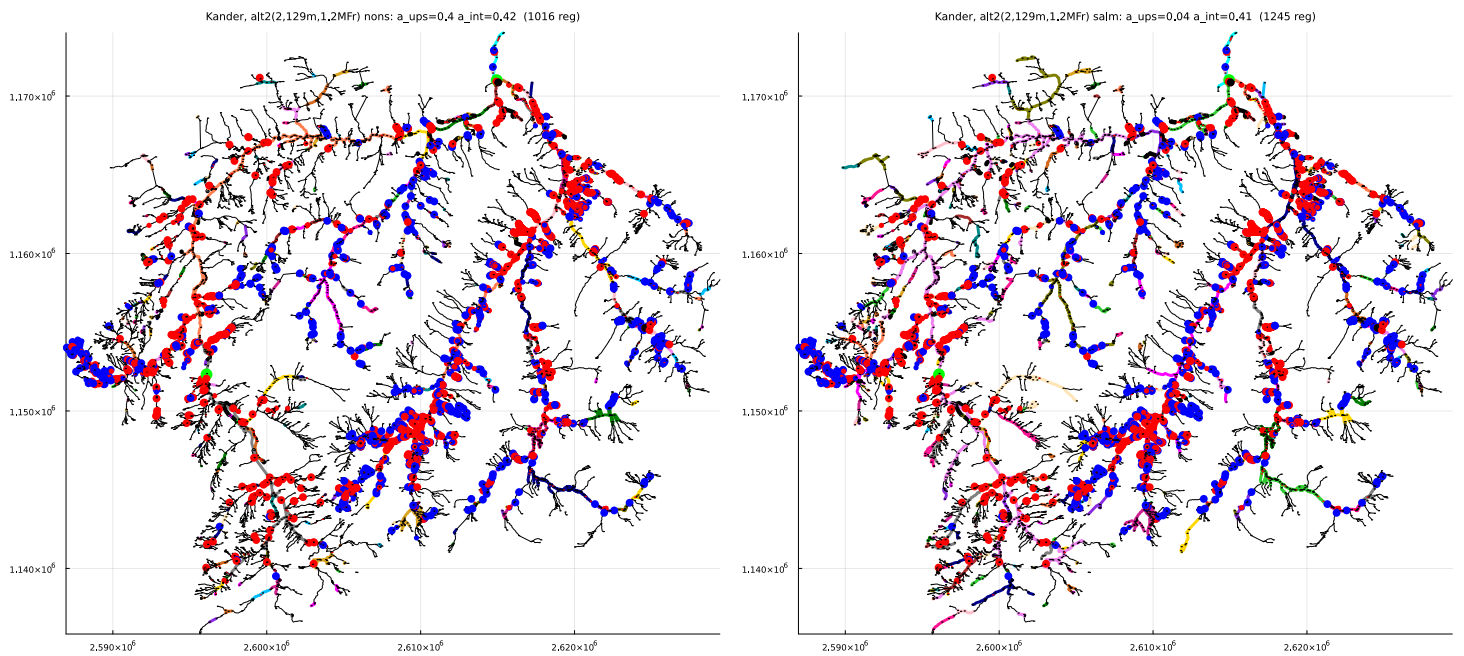


Abbildung A1.8: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

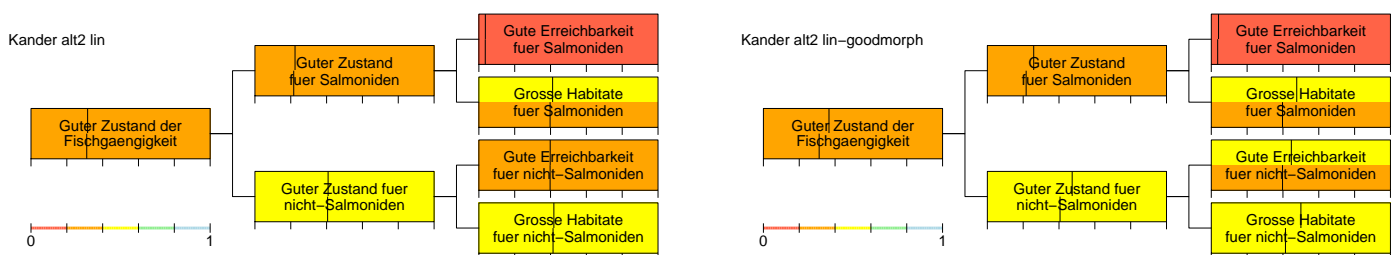


Abbildung A1.9: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

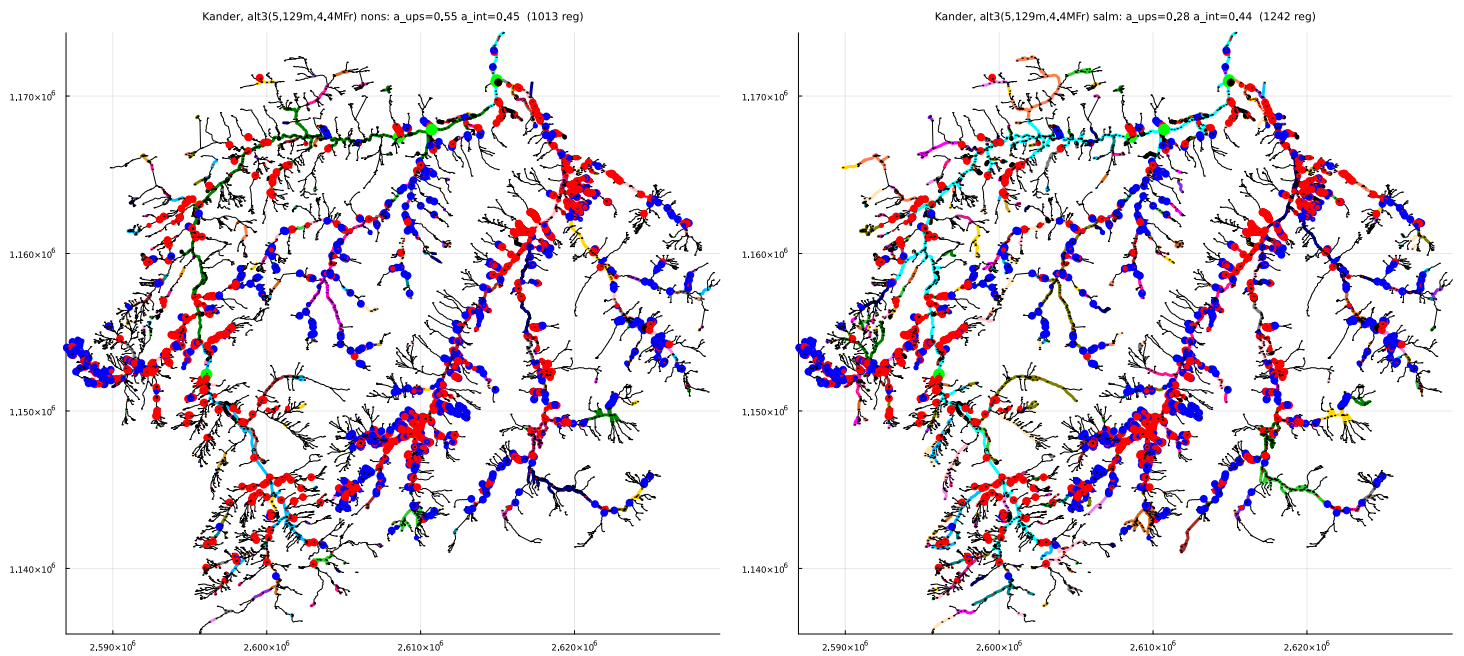


Abbildung A1.10: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

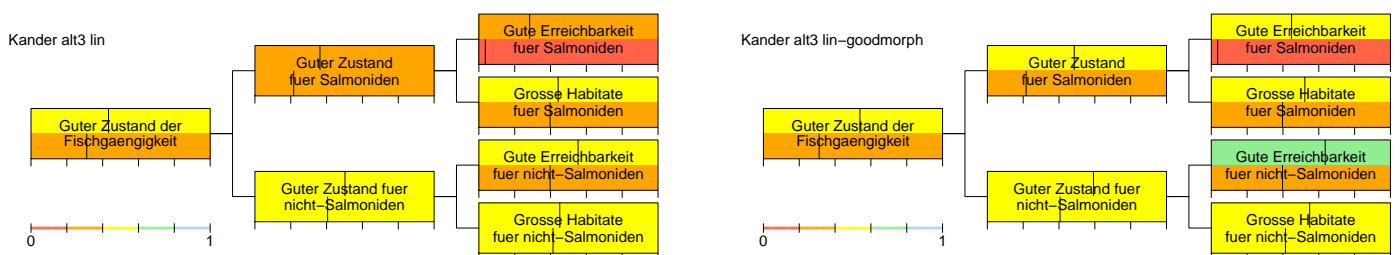


Abbildung A1.11: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

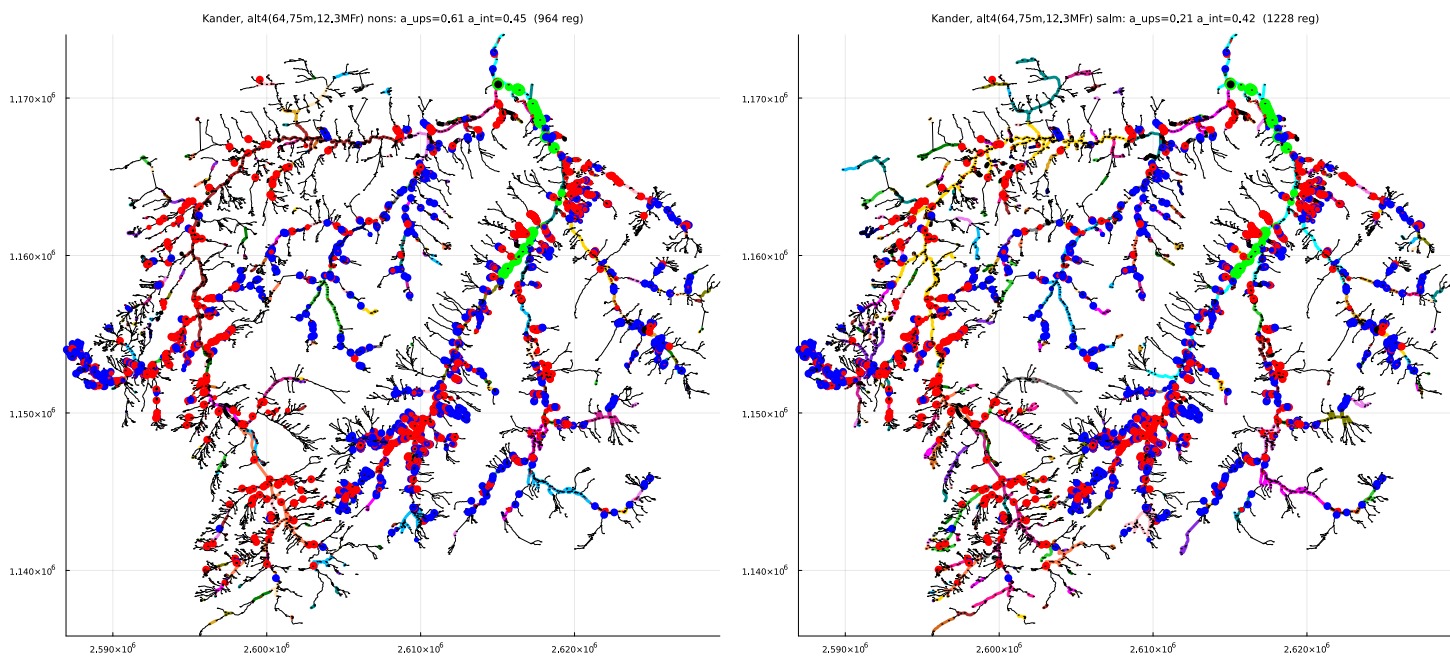


Abbildung A1.12: Variante 4. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

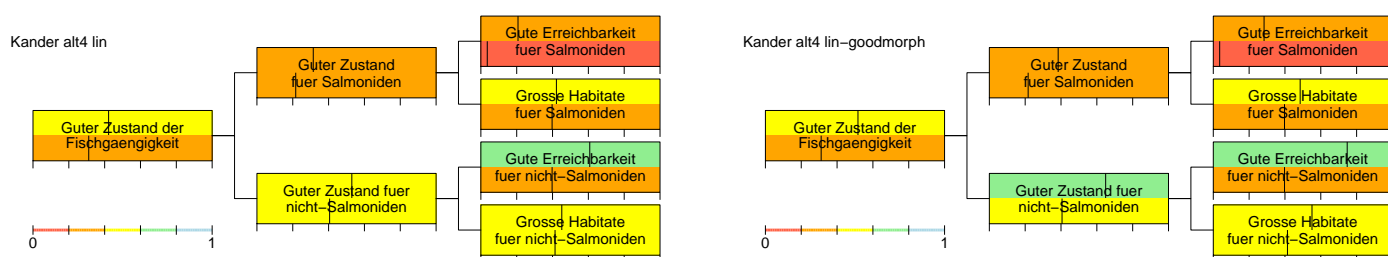


Abbildung A1.13: Vergleich der Bewertung der Variante 4 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

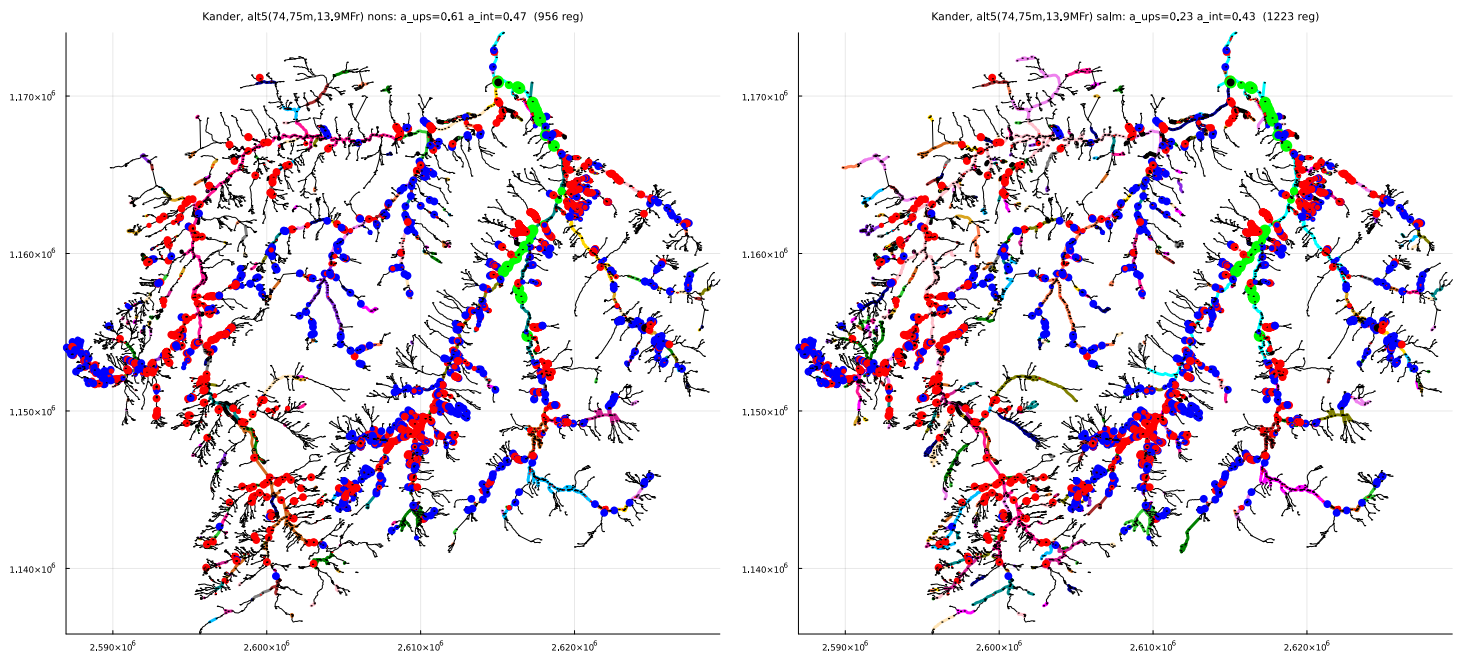


Abbildung A1.14: Variante 5. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

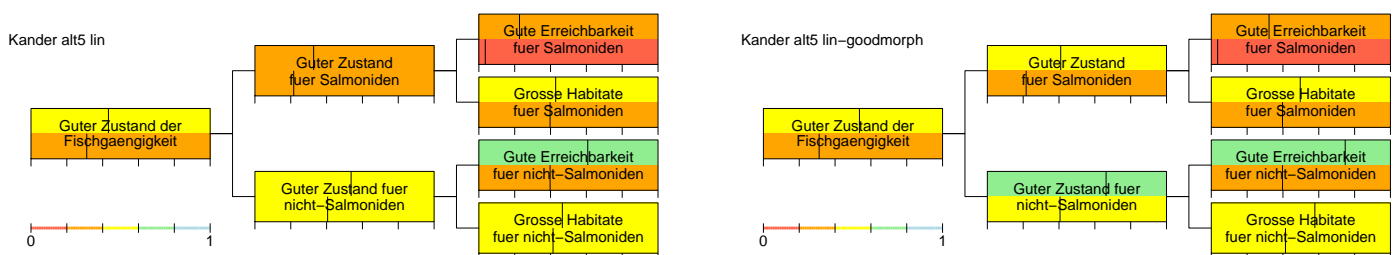


Abbildung A1.15: Vergleich der Bewertung der Variante 5 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

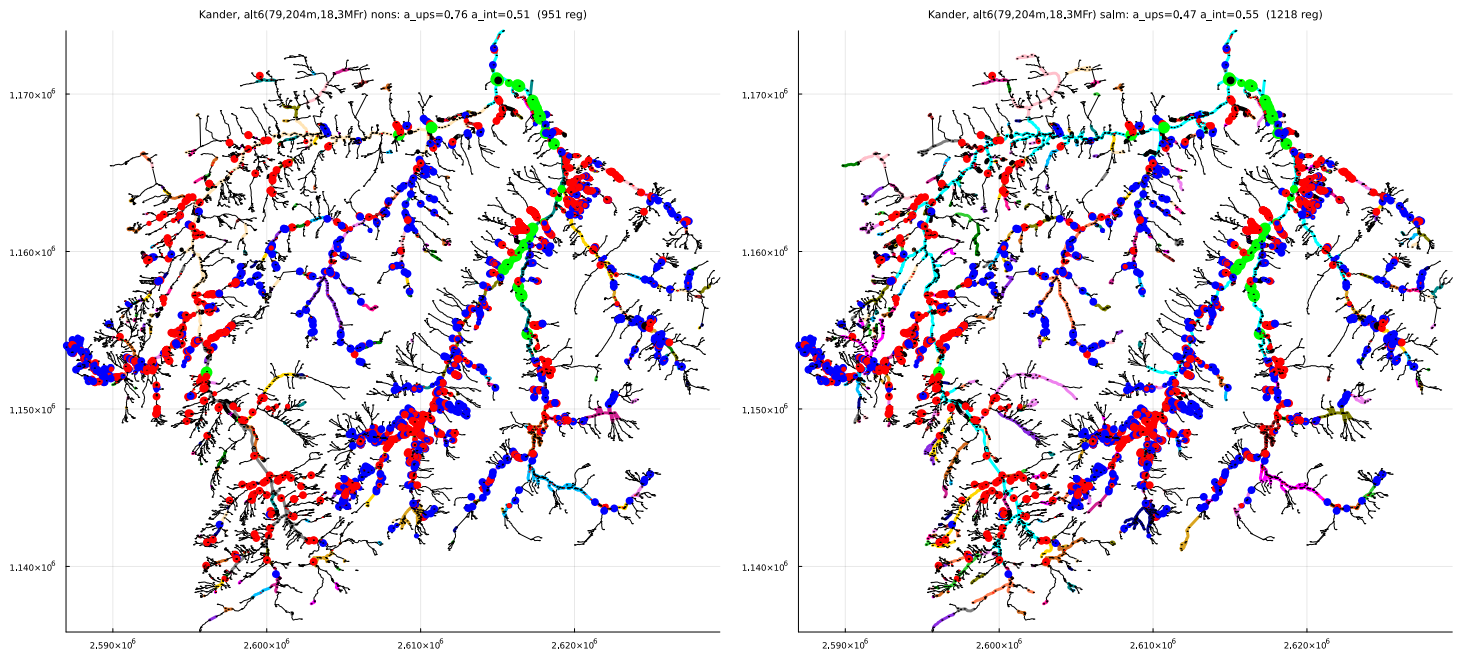


Abbildung A1.16: Variante 6. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

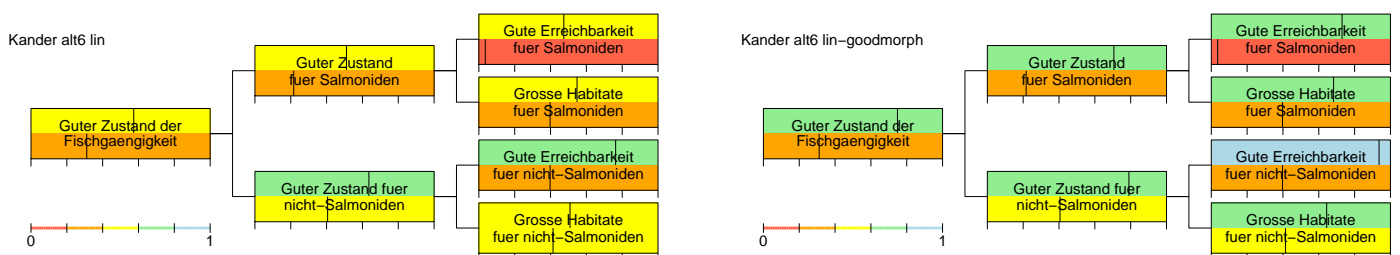


Abbildung A1.17: Vergleich der Bewertung der Variante 6 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

A1.1.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.18 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Offensichtlich sind die Varianten 1 und 3 besonders kosteneffizient. Dies liegt daran, dass bei

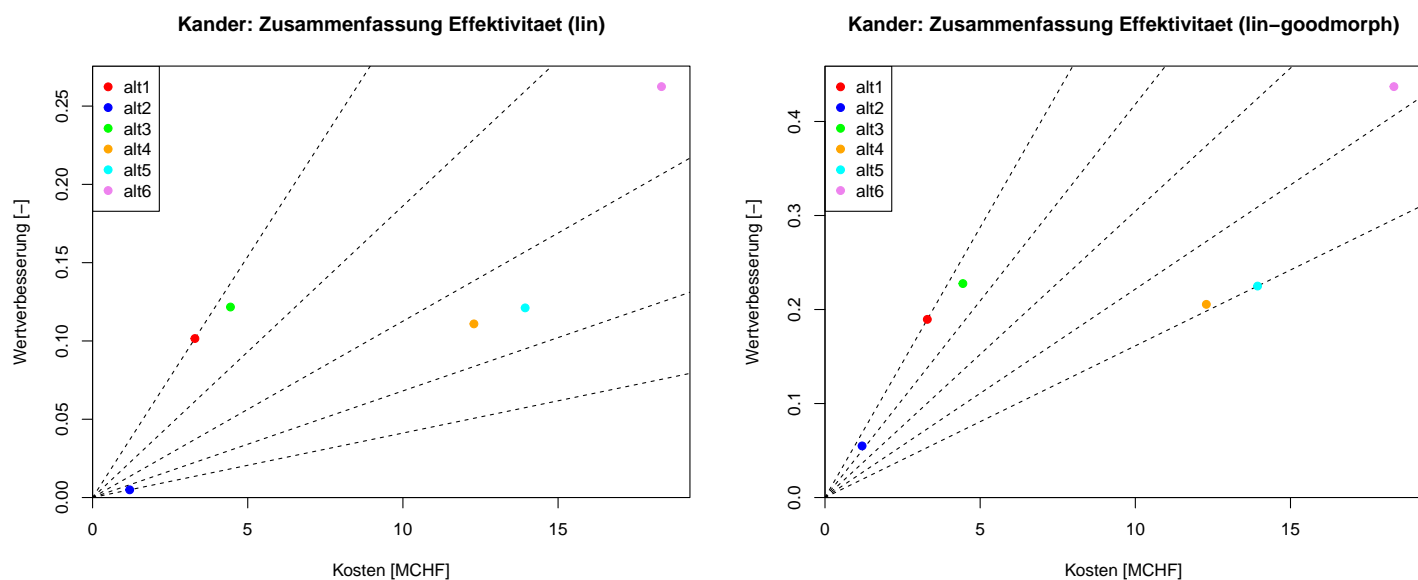


Abbildung A1.18: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

der Simme im Vergleich zur Kander wesentlich weniger Hindernisse fischgängig gemacht werden müssen, um grosse Regionen an die Mündung anzuschliessen.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.19 die analogen Resultate zur Abbildung A1.18, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass das Resultat in Abbildung A1.18 nur unwesentlich von der Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung abhängt.

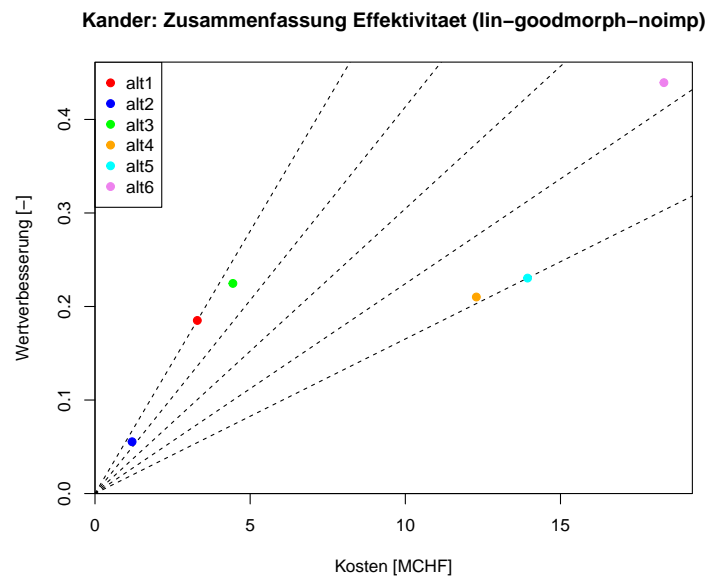
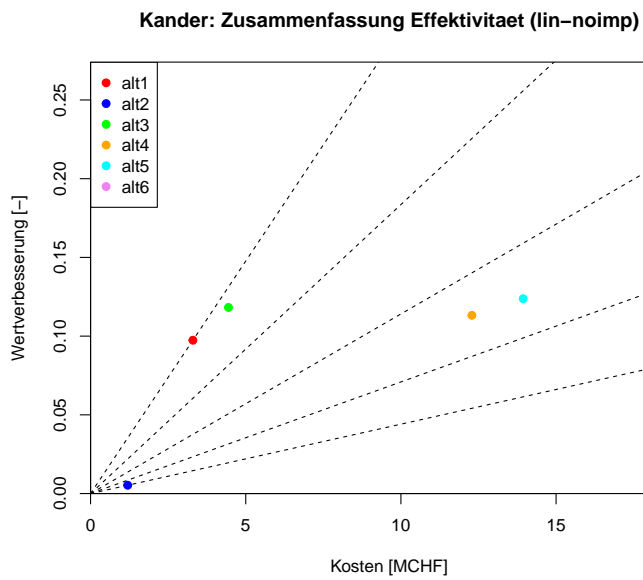


Abbildung A1.19: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.18 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fließstrecken.

A1.2 Birs

Die Birs entspringt bei Tavannes im Berner Jura und fliesst in nordöstlicher Richtung durch den Jura, bis sie in Basel in den Rhein mündet. Der Oberlauf der Birs gehört zur Forellenregion, der Unterlauf zur Aeschenregion.

A1.2.1 Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet der Birs hat eine Fläche von ca. 900 km². Die Flussordnung erreicht den Wert von 6 (siehe Abbildung A1.20).

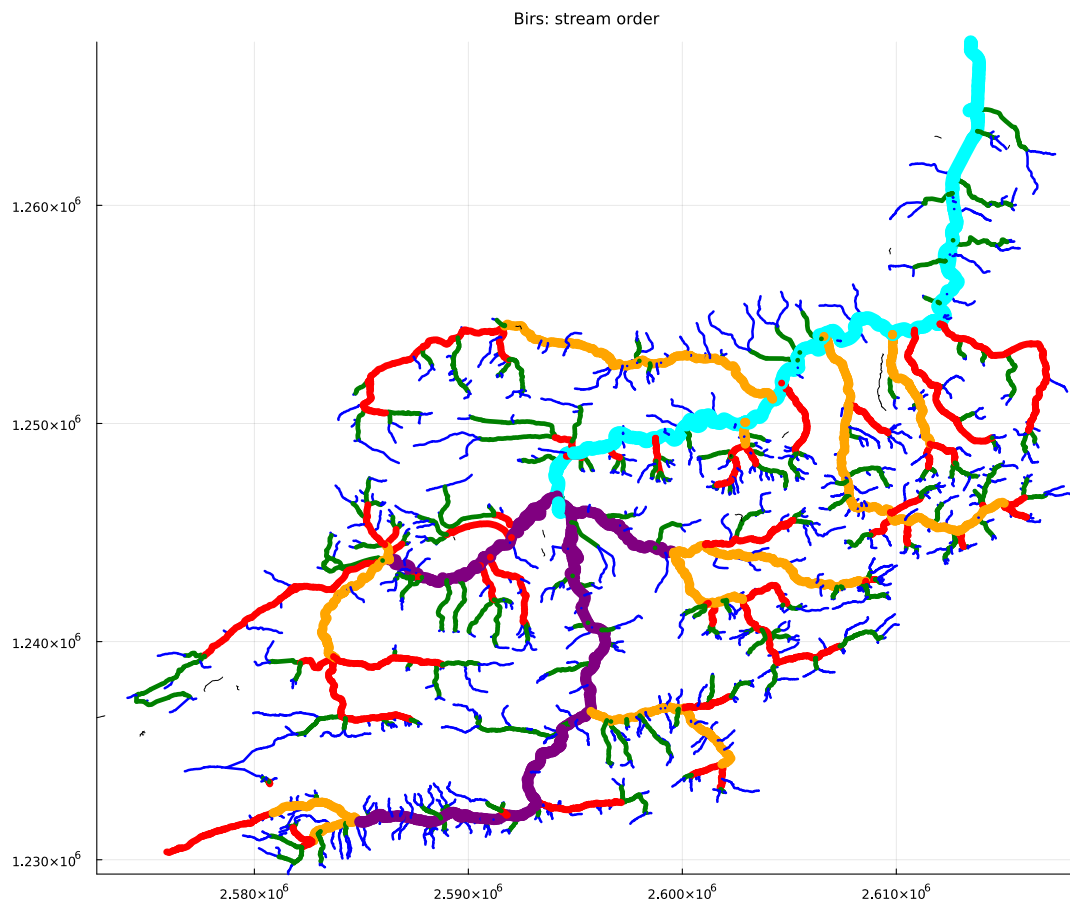


Abbildung A1.20: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

A1.2.2 Ökomorphologie

Der ökomorphologische Zustand der Birs ist weitgehend stark beeinträchtigt (siehe Abbildung A1.21). Im Gegensatz zur Kander sind nur ein kleinerer Teil der Strecken mit fehlenden Daten

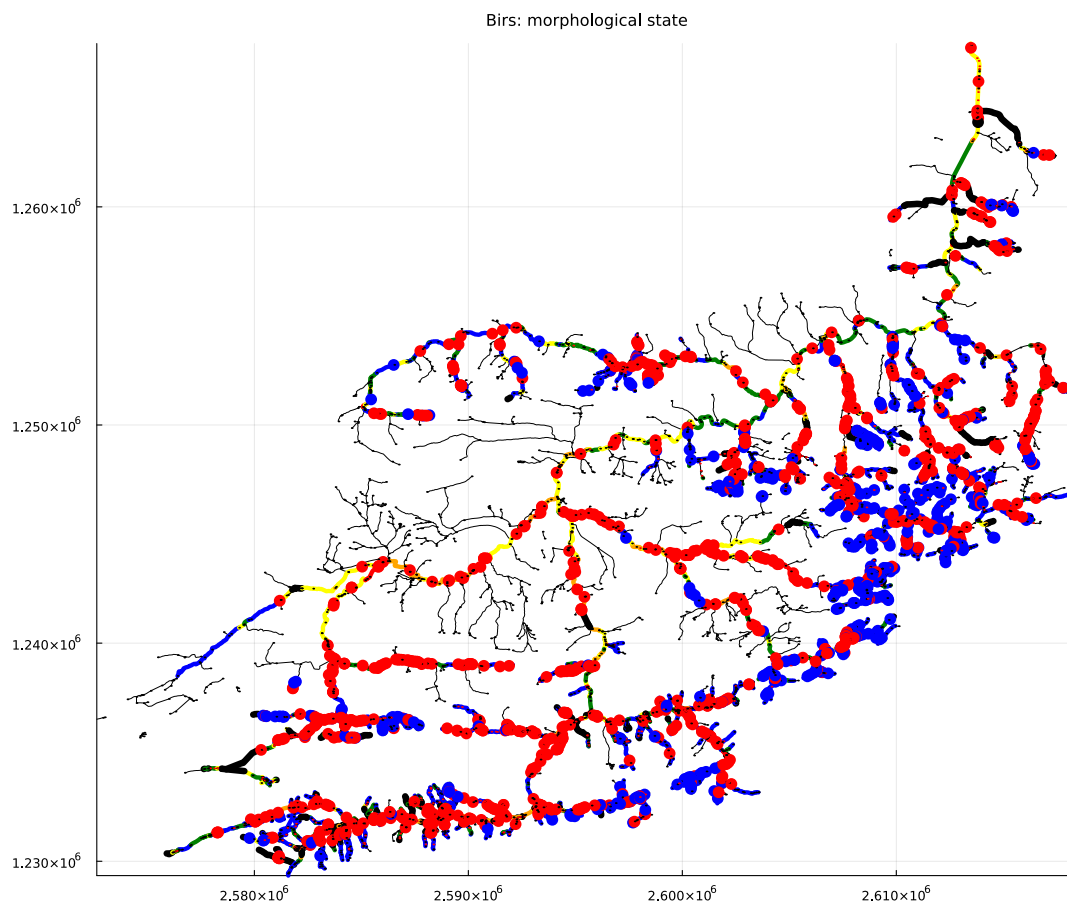


Abbildung A1.21: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

zu steil für Fischhabitate. Für die folgenden Analysen nehmen wir an, dass sich diese in einem guten ökomorphologischen Zustand befinden.

A1.2.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.22 zeigt die für diese Analyse verwendete Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. In diesem Fall werden zwei positive

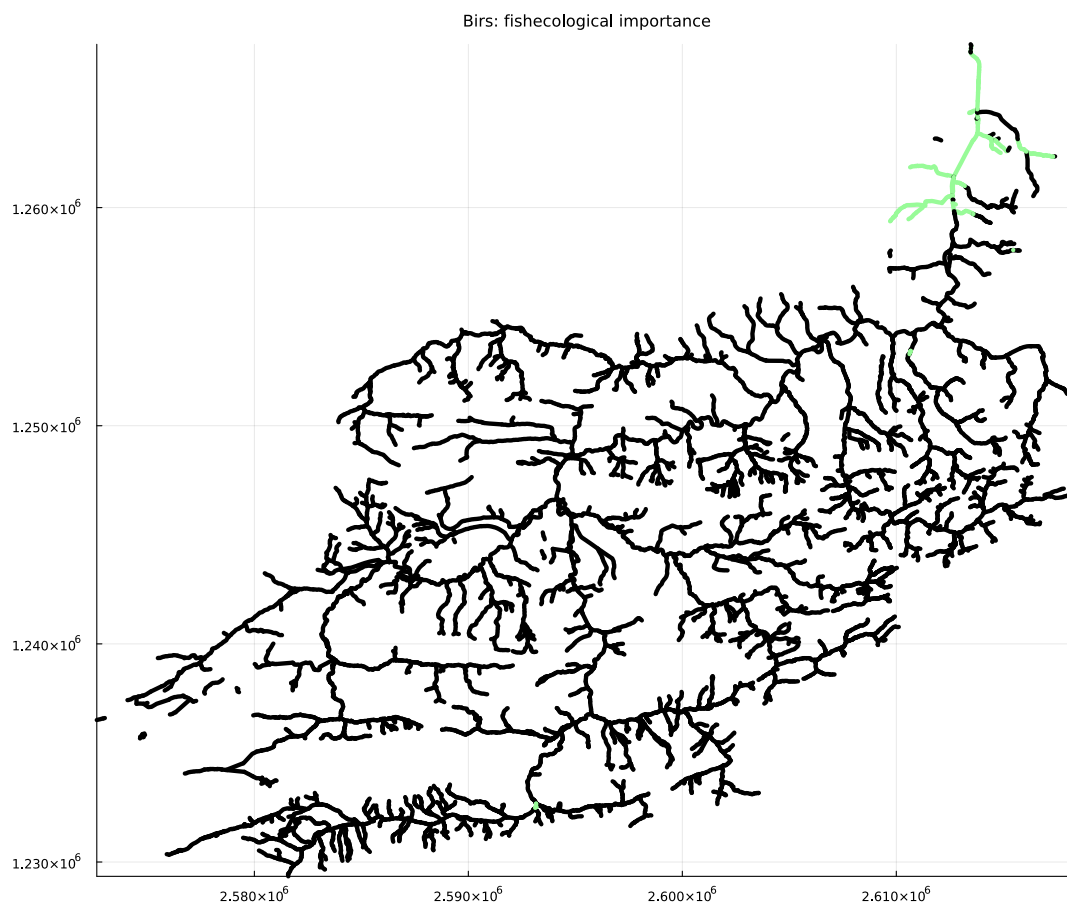


Abbildung A1.22: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Birs enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

Kriterien angewandt (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3):

- In Abwesenheit von artspezifischer Information werden die drei Kriterien der Möglichkeit der Kolonisierung aus artenreicheren Strecken, von seltenen Arten und von Wanderfischen in ein Kriterium zusammengefasst und auf den Bereich angewandt, der unter naturnahen Bedingungen von nicht-Salmoniden von der Mündung her erreicht werden kann (siehe Abbildung A1.4, links unten, für die unter natürlichen Bedingungen für nicht-Salmoniden von der Mündung her erreichbare Region). Das ist eine naheliegende Möglichkeit, wenn keine artspezifische Information vorliegt, aber ein untenliegendes Gewässer sehr viel artenreicher

ist. Dieses Verfahren erhöht die Gewichtung des Ziels der von der Mündung erreichbaren Habitats im Vergleich zum Ziel von generell grossen Habitats in der Zielhierarchie.

- Auengebiete können durch die Verfügbarkeit der Daten über Auen von nationaler Bedeutung gut berücksichtigt werden.

Da wir zwei positive Kriterien berücksichtigen, wählen wir einen Faktor von $\sqrt{2} \approx 1.414$ für jedes Kriterium (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3). Das ergibt eine Erhöhung des Gewichts um den Faktor 1.414 bei Vorliegen eines Kriteriums und 2 bei Vorliegen beider Kriterien. Wie die Abbildung A1.22 zeigt, kommt hier wegen der Abwesenheit von Auen von nationaler Bedeutung, der Fall von beiden Kriterien nicht vor.

A1.2.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildung A1.23 zeigt die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Der Vergleich des aktuellen mit dem naturnahen Zustand zeigt eine sehr grosse Einschränkung des von der Mündung her erreichbaren Gewässernetzes und eine sehr starke Fragmentierung im ganzen Einzugsgebiet.

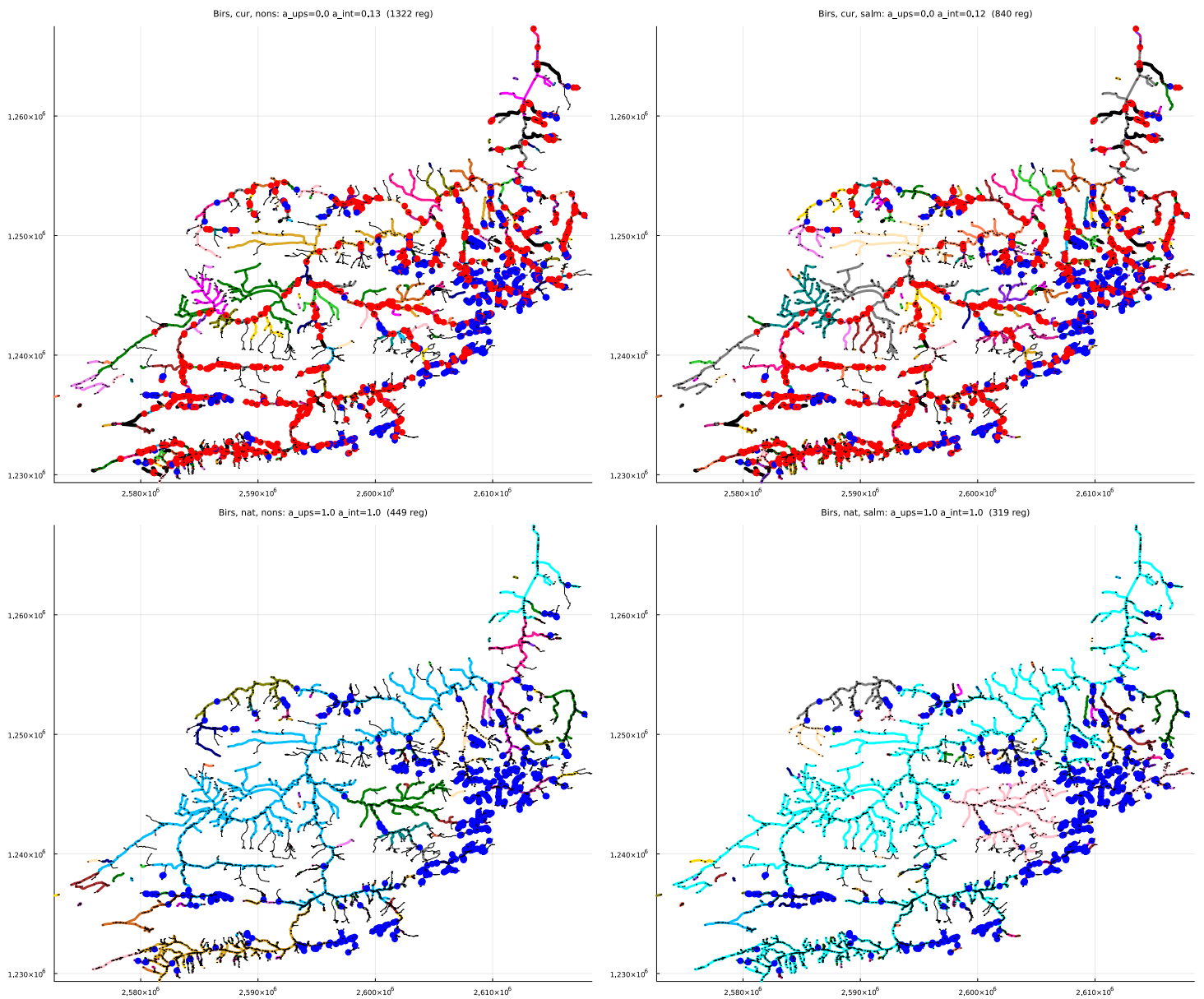


Abbildung A1.23: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand (oben) und im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen) (unten). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{\text{ups}}=a_{\text{ups}}$ (3.1), $a_{\text{int}}=a_{\text{int}}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.24 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Aufgrund der sehr starken Fragmentierung durch künstliche Hindernisse sind alle Bewertungen sehr schlecht.

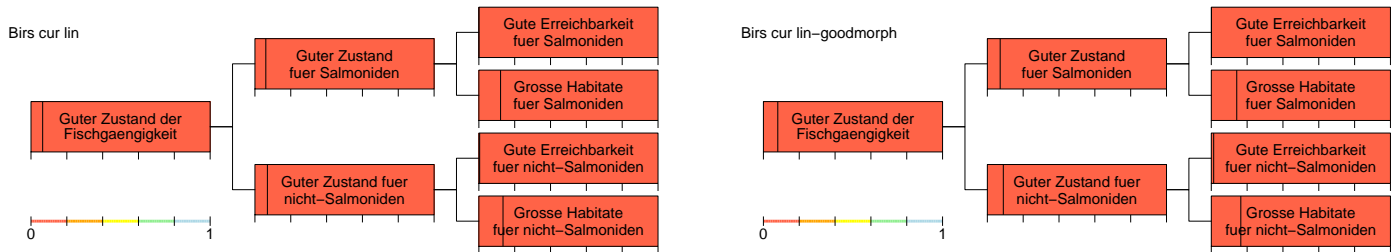


Abbildung A1.24: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

A1.2.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.2 gibt einen

Var.	Anzahl ent- fernter Barrie- ren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	22	0 m	2.2 MCHF	Anschluss des Unterlaufs der Birs an die Mündung
2	33	0 m	8.8 MCHF	Erweiterung der Variante 1 auf den Mittellauf
3	44	0 m	11.2 MCHF	Erweiterung der Variante 2 auf den Oberlauf

Tabelle A1.2: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Birs.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.25 bis A1.30 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.2 gelisteten Varianten. Alle Bewertungen sind unter Berücksichtigung der in Abbildung A1.3 gezeigten Gewichtung mit der fischökologischen Bedeutung berechnet.

Bereits mit der Variante 1 erreicht man eine wesentliche Verbesserung für die Erreichbarkeit der natürlicherweise erreichbaren Region für nicht-Salmoniden. Dies liegt primär daran, dass bereits im naturnahen Zustand nur ein kleiner Teil des Einzugsgebiets für nicht-Salmoniden erreichbar ist.

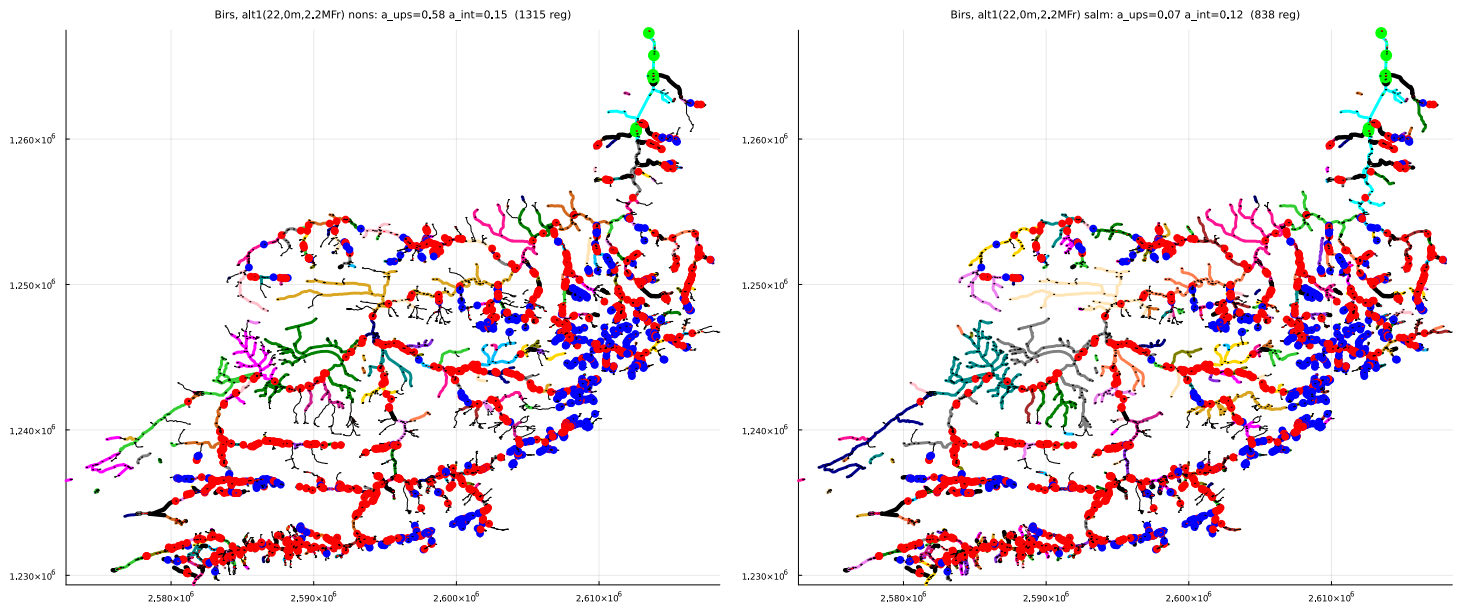


Abbildung A1.25: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.23 beschrieben.

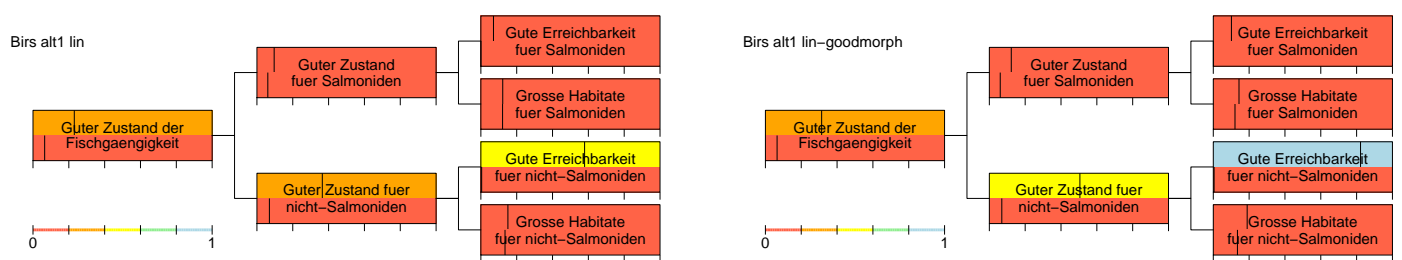


Abbildung A1.26: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.24 für eine Erklärung der Linien und Farben.

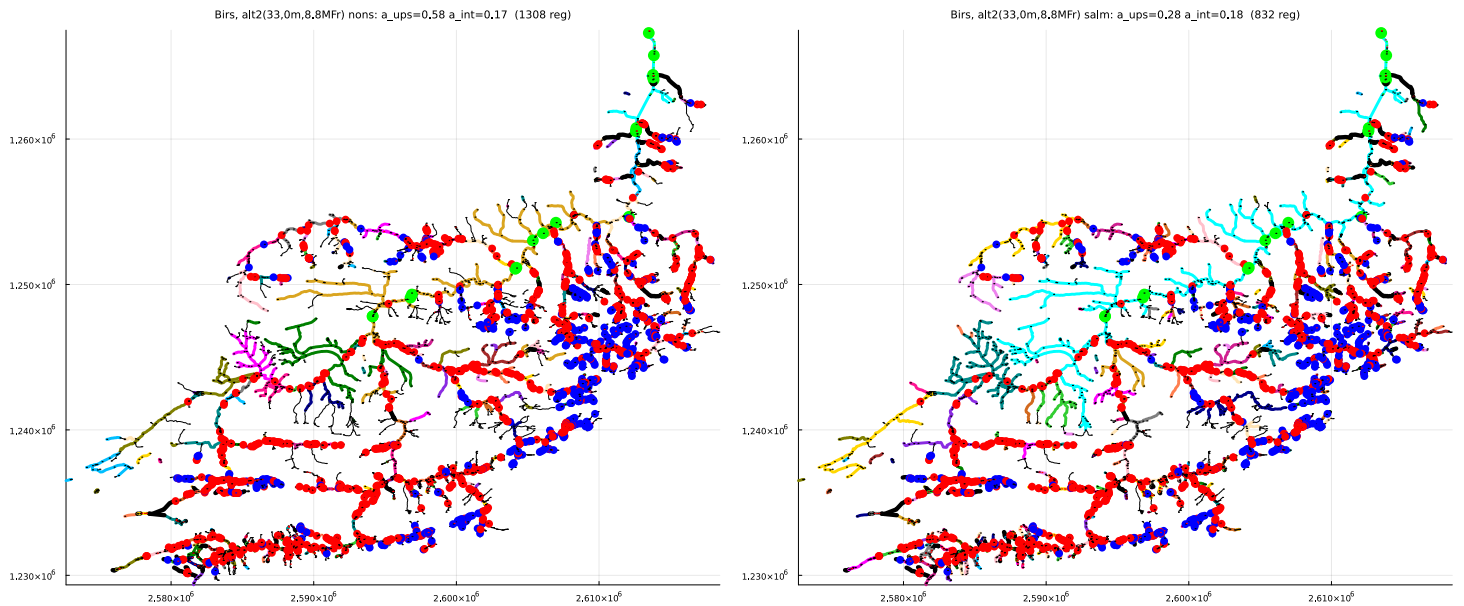


Abbildung A1.27: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.23 beschrieben.

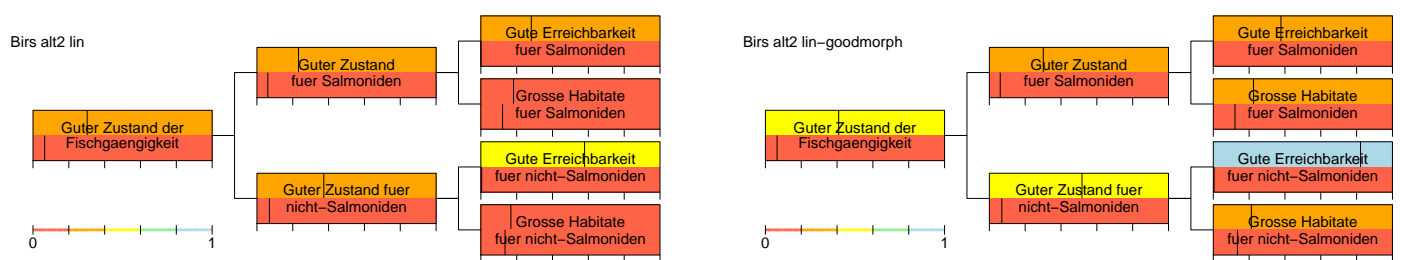


Abbildung A1.28: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.24 für eine Erklärung der Linien und Farben.

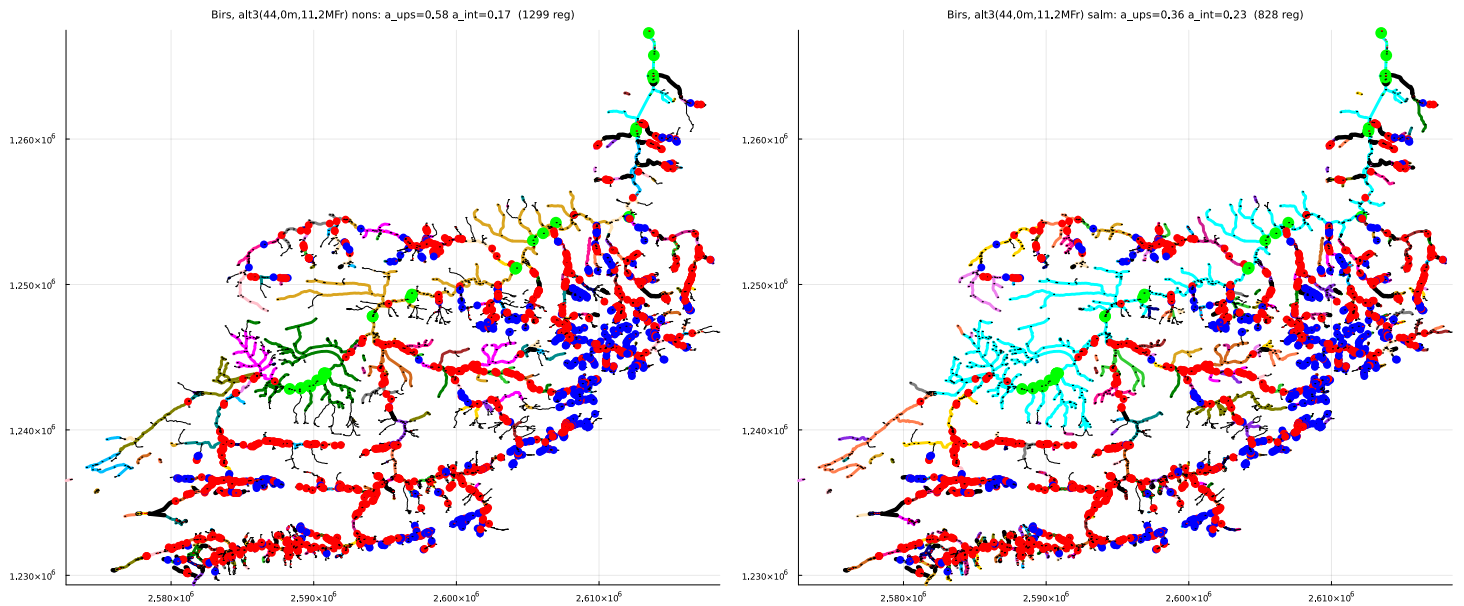


Abbildung A1.29: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.23 beschrieben.

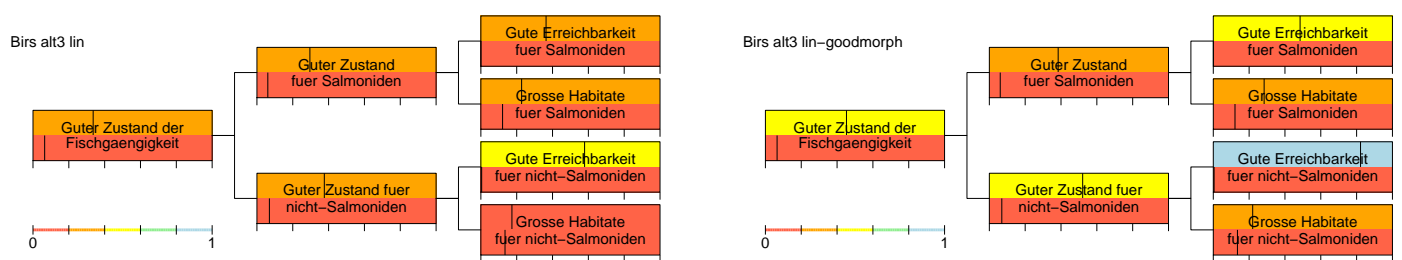


Abbildung A1.30: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.24 für eine Erklärung der Linien und Farben.

A1.2.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.31 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Durch die wesentlich kleineren Kosten der Variante 1 im Vergleich zu den Varianten 2 und 3 und

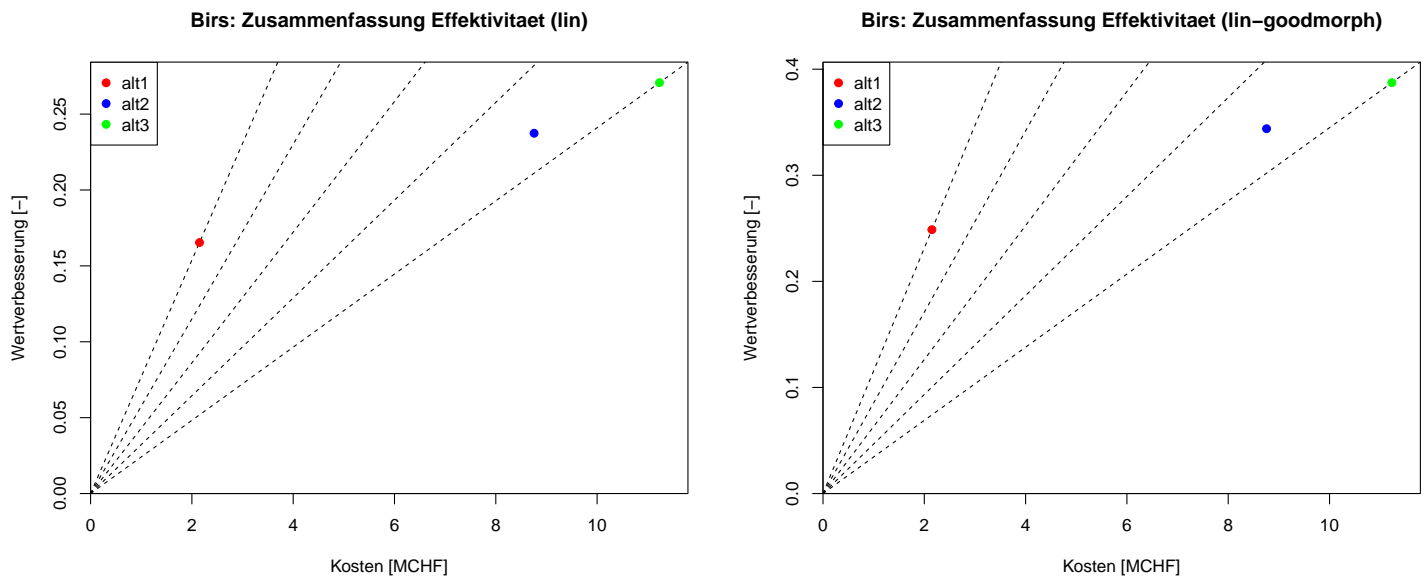


Abbildung A1.31: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

die doch relevante Wertverbesserung, erreicht bereits die Variante 1 eine sehr gute Effektivität.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.32 die analogen Resultate zur Abbildung A1.31, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass das Resultat in Abbildung A1.31 nur unwesentlich von der Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung abhängt.

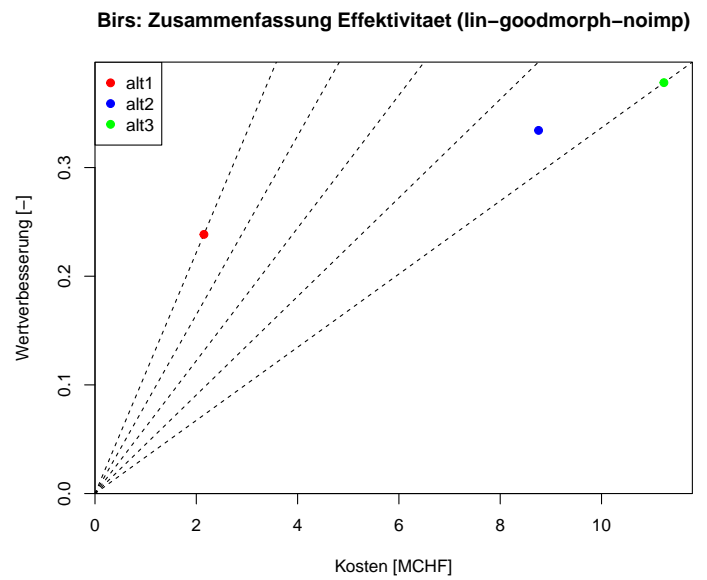
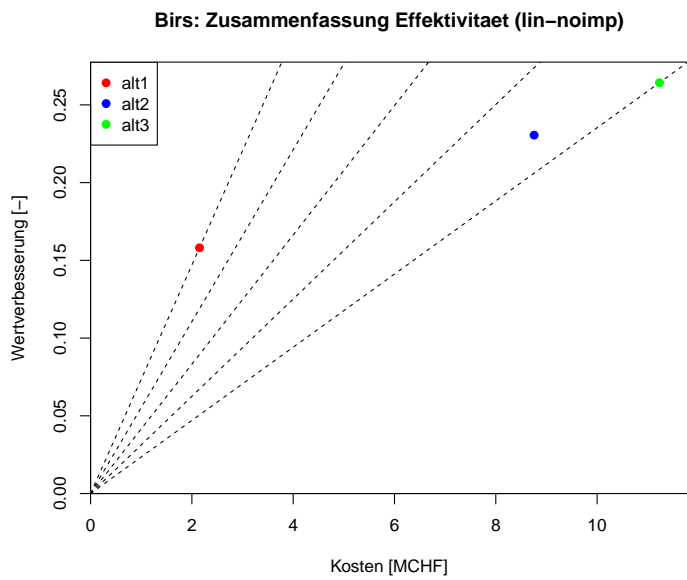


Abbildung A1.32: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.31 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fließstrecken.

A1.3 Aare Thun-Bern

Der Aareabschnitt von Thun nach Bern weist 6 grössere Zuflüsse auf. Von oben nach unten sind dies die Zulg, der Glütschbach, die Rotache, die Chise, die Giesse und die Gürbe. In den Abschnitten A1.3.1 bis A1.3.6 werden diese Zuflüsse einzeln analysiert und Revitalisierungsvarianten ausgearbeitet. Anschliessend wird in Abschnitt A1.3 eine einzugsgebietsübergreifende Bewertung durchgeführt.

Die Bewertung der fischökologischen Bedeutung von Flie遝sstrecken bedarf der Einschätzung lokaler Fischfachleute und muss in jedem Fall begründet werden. Zur Konsistenzsicherung in einer einzugsgebietsübergreifenden Analyse ist es wichtig, einheitliche Kriterien auf alle Teileinzugsgebiete anzuwenden. Aus diesem Grund werden die Kriterien hier, vorgängig zu den Analysen in den einzelnen Teileinzugsgebieten, diskutiert. Die Festlegung erfolgte basierend auf der Kriterienliste und dem Quantifizierungsvorschlag in Abschnitt 3.4.1.3, der Bedeutung der Kriterien für das System der Aare zwischen Thun und Bern und der Verfügbarkeit geografischer Daten, die die Implementation ermöglichen.

Wir verwenden die folgenden beiden positiven Kriterien (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3):

- In Abwesenheit von artspezifischer Information werden die drei Kriterien der Möglichkeit der Kolonisierung aus artenreicheren Strecken, von seltenen Arten und von Wanderfischen in ein Kriterium zusammengefasst und auf den Bereich angewandt, der unter naturnahen Bedingungen von nicht-Salmoniden von der Mündung her erreicht werden kann. Das ist eine naheliegende Möglichkeit, wenn keine artspezifische Information vorliegt, aber ein untenliegendes Gewässer sehr viel artenreicher ist, wie dies bei der Aare der Fall ist. Dieses Verfahren erhöht die Gewichtung des Ziels der von der Mündung erreichbaren Habitate im Vergleich zum Ziel von generell grossen Habitaten in der Zielhierarchie.
- Auengebiete von nationaler Bedeutung sind in digitaler Form verfügbar und können deshalb gut als weiteres Kriterium berücksichtigt werden.

Zusätzlich verwenden wir das negative Kriterium (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3):

- Strecken mit gestörtem Geschieberegime.

Da wir zwei positive Kriterien berücksichtigen, wählen wir einen Faktor von $\sqrt{2} \approx 1.414$ für jedes Kriterium (siehe Vorschlag in Abschnitt 3.4.1.3). Das ergibt eine Erhöhung des Gewichts um den Faktor 1.414 bei Vorliegen eines positiven Kriteriums und 2 bei Vorliegen beider positiver Kriterien, also in einer Aue von nationaler Bedeutung, die in der unter natürlichen Bedingungen von nicht-Salmoniden von der Mündung her erreichbaren Region liegt. Umgekehrt ergibt sich eine Reduktion des Gewichts um den Faktor $1/\sqrt{2} \approx 0.707$ bei Vorliegen des negativen Kriteriums, also in diesem Fall eines gestörten Geschieberegimes. Die Kriterien können sich auch kompensieren, etwa wenn das Geschieberegime in der unter natürlichen Verhältnissen für nicht-Salmoniden erreichbaren Region gestört ist. Dies führt dann zu einem Gewicht von $\sqrt{2} \cdot 1/\sqrt{2} = 1$, wie wenn kein Kriterium vorliegen würde. Von den 6 Zuflüssen zur Aare zwischen Thun und Bern weisen nur zwei, die Giesse und die Gürbe, wesentliche Auengebiete von nationaler

Bedeutung auf (jeweils im Aaretal kurz vor dem Zufluss in die Aare) und nur der Glütschbach hat teilweise ein gestörtes Geschieberegime. Trotzdem verwenden wir aus Konsistenzgründen in allen Teileinzugsgebieten dieselben, oben genannten, Gewichtungsfaktoren.

A1.3.1 Zulg

Die Zulg ist der erste rechtsseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees und mündet gleich nach Thun in die Aare.

A1.3.1.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.33 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Zulg. Die Zulg hat

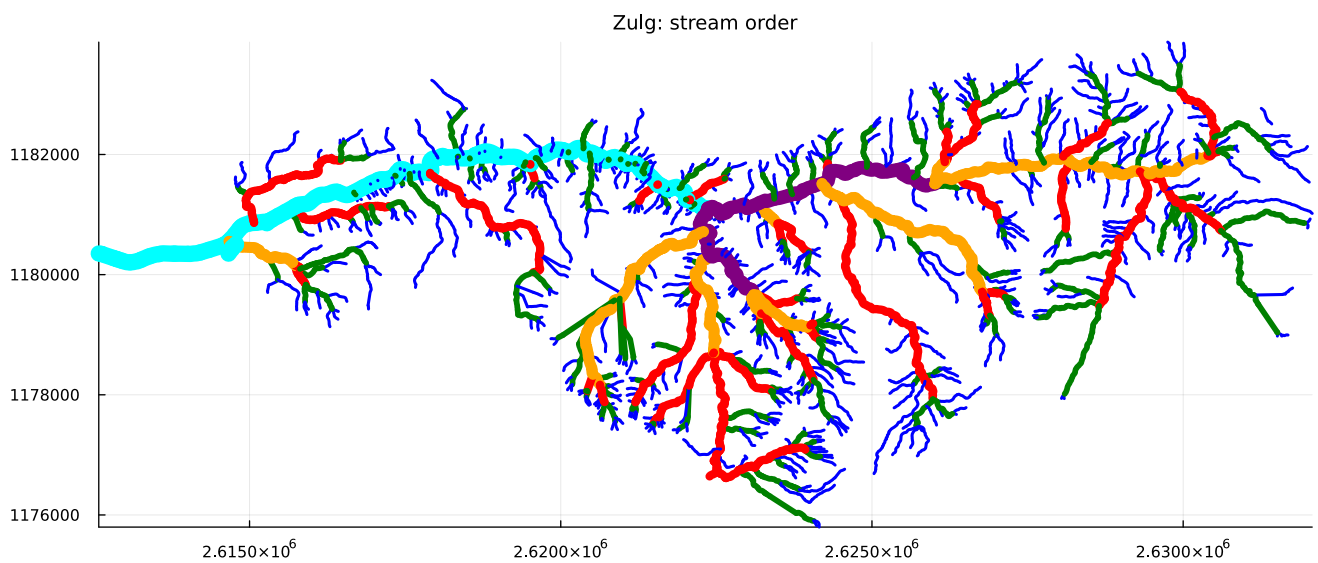


Abbildung A1.33: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

ein Einzugsgebiet von ca. 90 km^2 und erreicht bis zum Zufluss in die Aare die Flussordnung 6.

A1.3.1.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.34 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Zulg. Mit

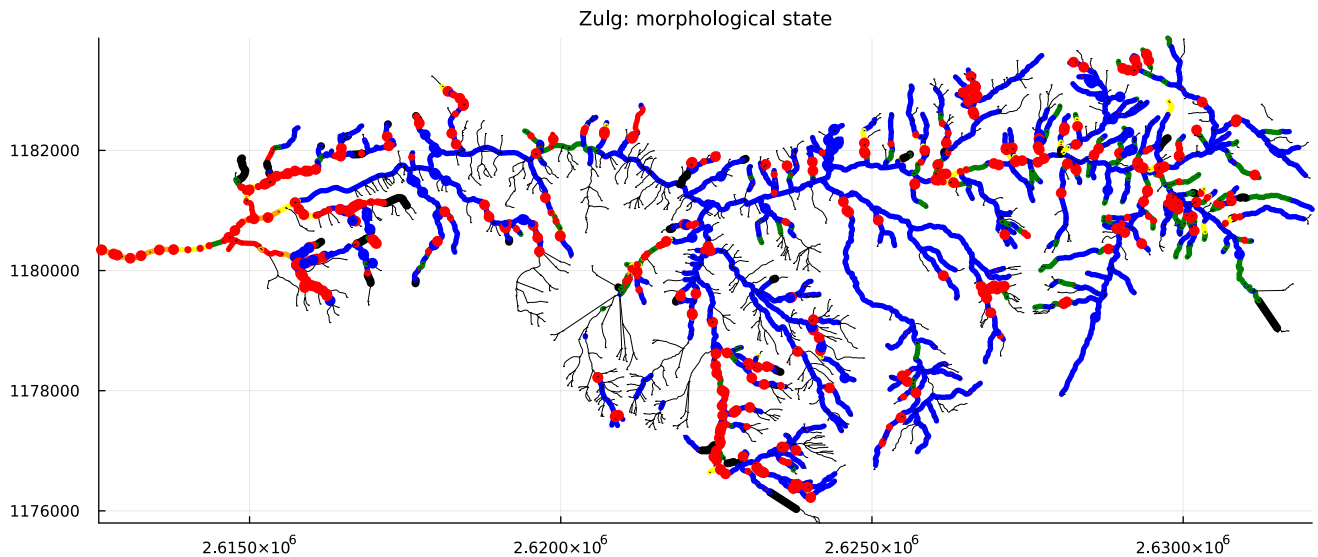


Abbildung A1.34: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

Ausnahme des Unterlaufs ist die Zulg in einem sehr guten ökomorphologischen Zustand.

A1.3.1.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.35 zeigt die für diese Analyse verwendete Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. Für die angewandten Kriterien siehe

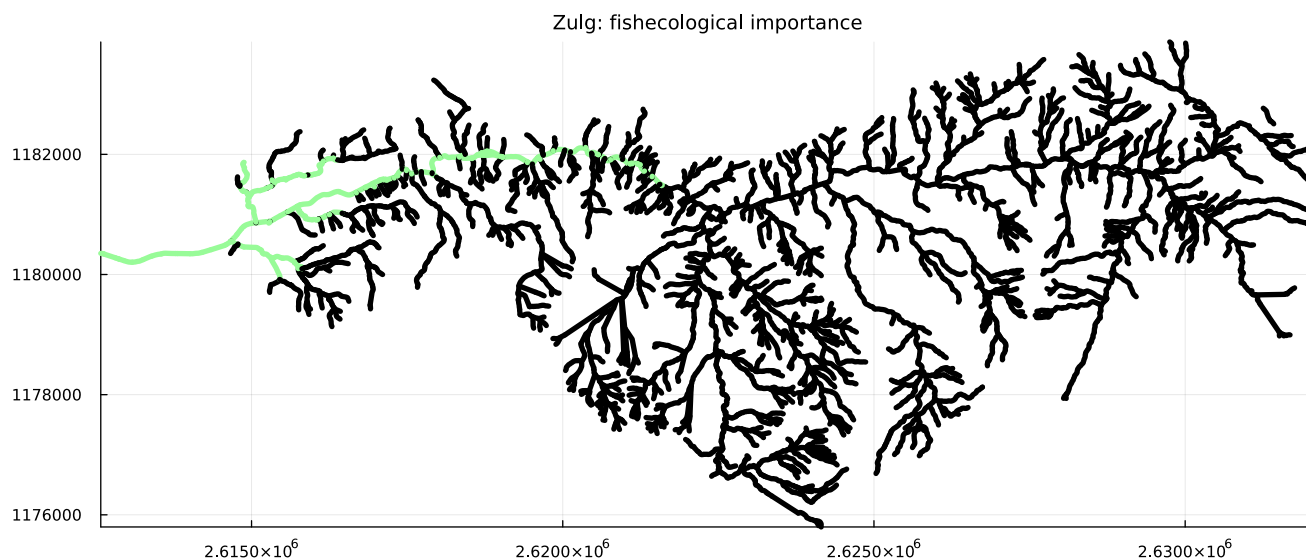


Abbildung A1.35: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Zulg enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

Beginn von Kapitel A1.3. Da die Zulg keine Auen von nationaler Bedeutung enthält weist sie eine positive Bewertung in der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden von der Mündung aus erreichbaren Region auf (vergleiche mit dem oberen Teil der Abbildung A1.37).

A1.3.1.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildungen A1.36 und A1.37 zeigen die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand.

Durch die dichte Folge von Wanderhindernissen im untersten Teil des Unterlaufs ist der Fischeufstieg vollständig unterbunden. Demgegenüber gibt es im Oberlauf grössere zusammenhängende Regionen. Dies widerspiegelt sich in den Bewertungen in Abbildung A1.38: Die Erreichbarkeit von der Mündung ist sowohl für Salmoniden als auch für nicht-Salmoniden im schlechtestmöglichen Zustand, während die grösseren zusammenhängenden Regionen im Oberlauf zu einer etwas besseren Bewertung für die Habitatgrösse unabhängig von der Erreichbarkeit führen.

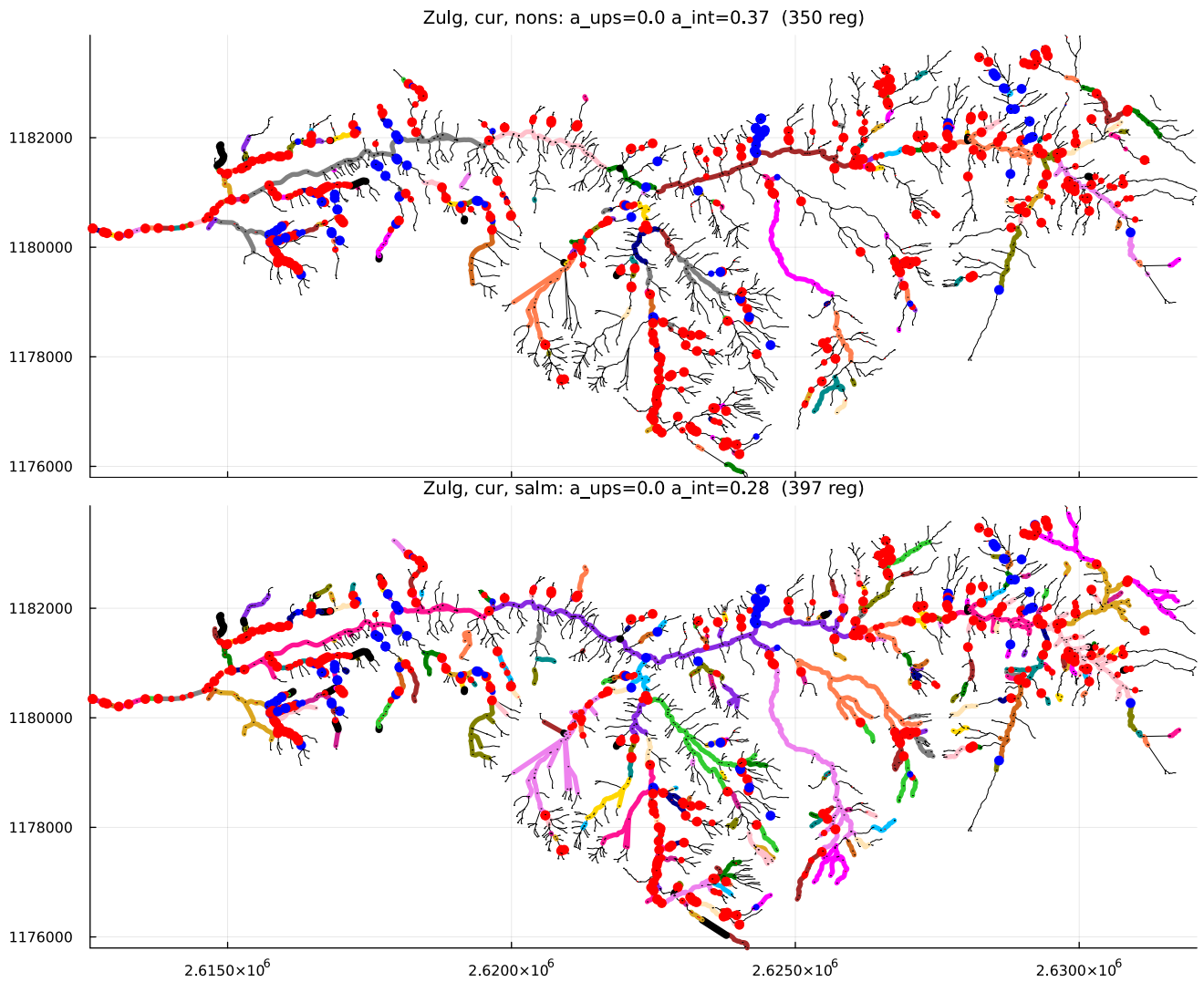


Abbildung A1.36: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{\text{ups}}=a_{\text{ups}}$ (3.1), $a_{\text{int}}=a_{\text{int}}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

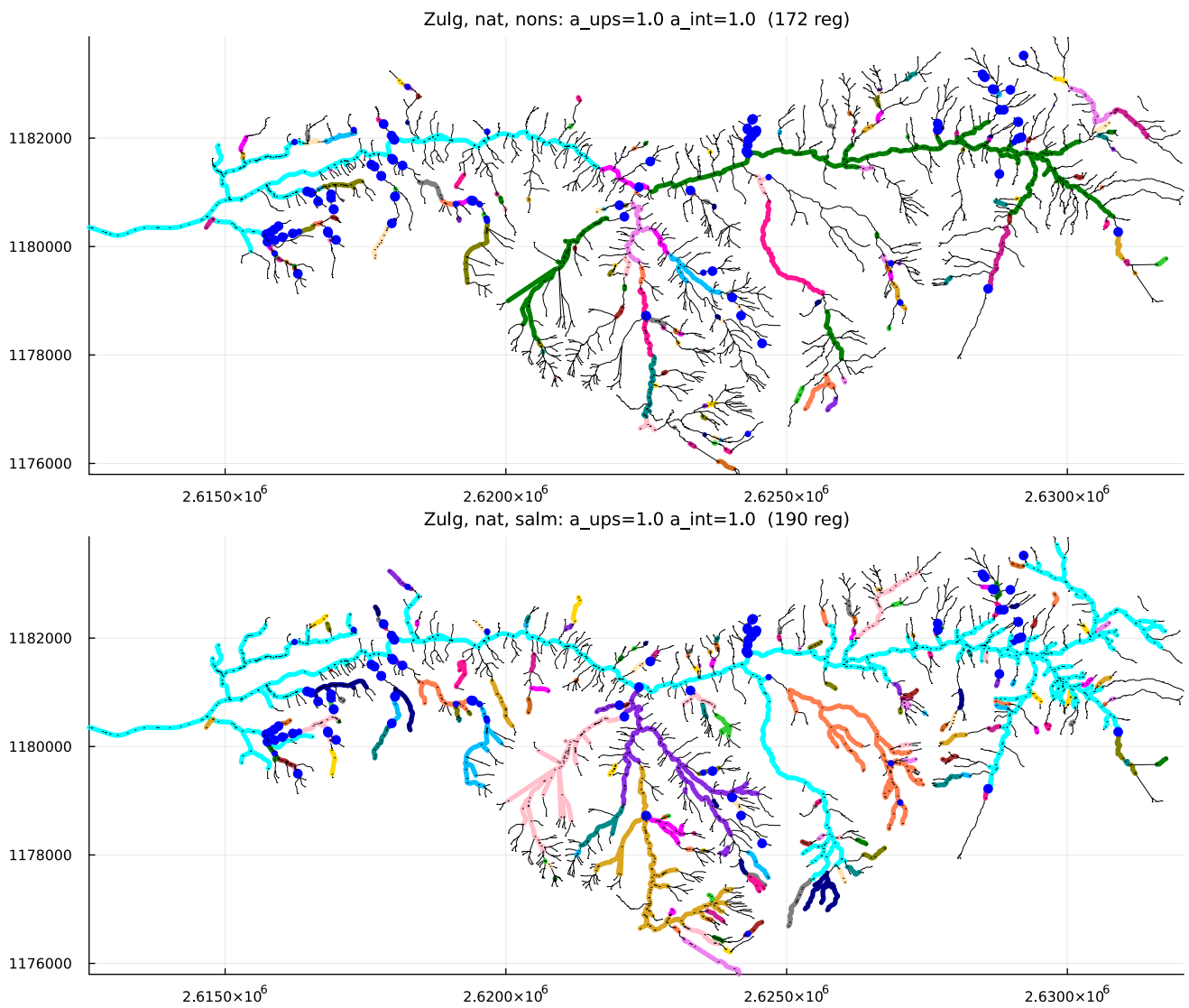


Abbildung A1.37: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{\text{ups}}=a_{\text{ups}}$ (3.1), $a_{\text{int}}=a_{\text{int}}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.38 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie.

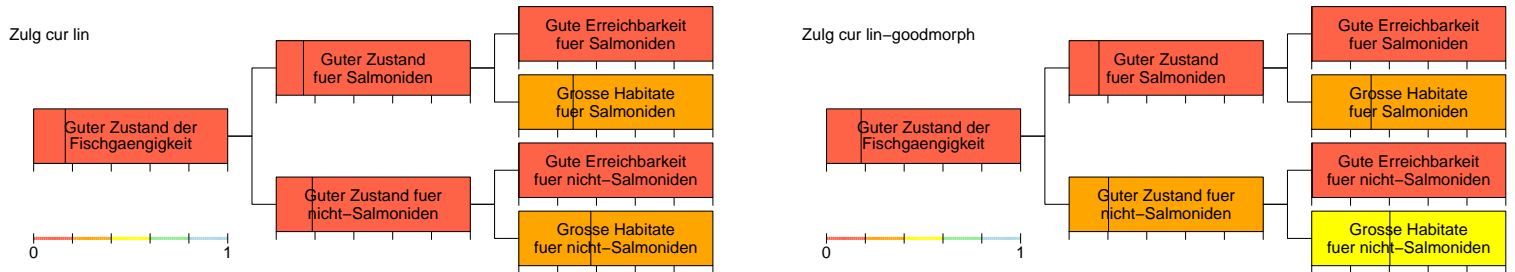


Abbildung A1.38: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

A1.3.1.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.3 gibt einen

Var.	Anzahl ent-fernter Barrie-ren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	21	0 m	2.0 MCHF	Anschluss des Unterlaufs der Zulg an die Mündung
2	22	0 m	2.1 MCHF	Erweiterung der Variante 1
3	24	0 m	2.1 MCHF	Anschluss des untersten rechtseitigen Nebenbachs für nicht-Salmoniden

Tabelle A1.3: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Zulg.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.39 bis A1.44 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.3 gelisteten Varianten. Es zeigt sich, dass wenn die Hindernisse im Unterlauf fischgängig gemacht wurden, mit relativ geringen Kosten weitere Verbesserungen möglich sind. Dies ist eine Konsequenz aus den relative grossen zusammenhängenden Regionen im Oberlauf, wie sie in Abbildung A1.36 ersichtlich sind. Die relativ grosse Verbesserung, die mit den Varianten 2 und 3 erreicht werden kann, ist auch dem guten morphologischen Zustand vieler Flussabschnitte zu verdanken.

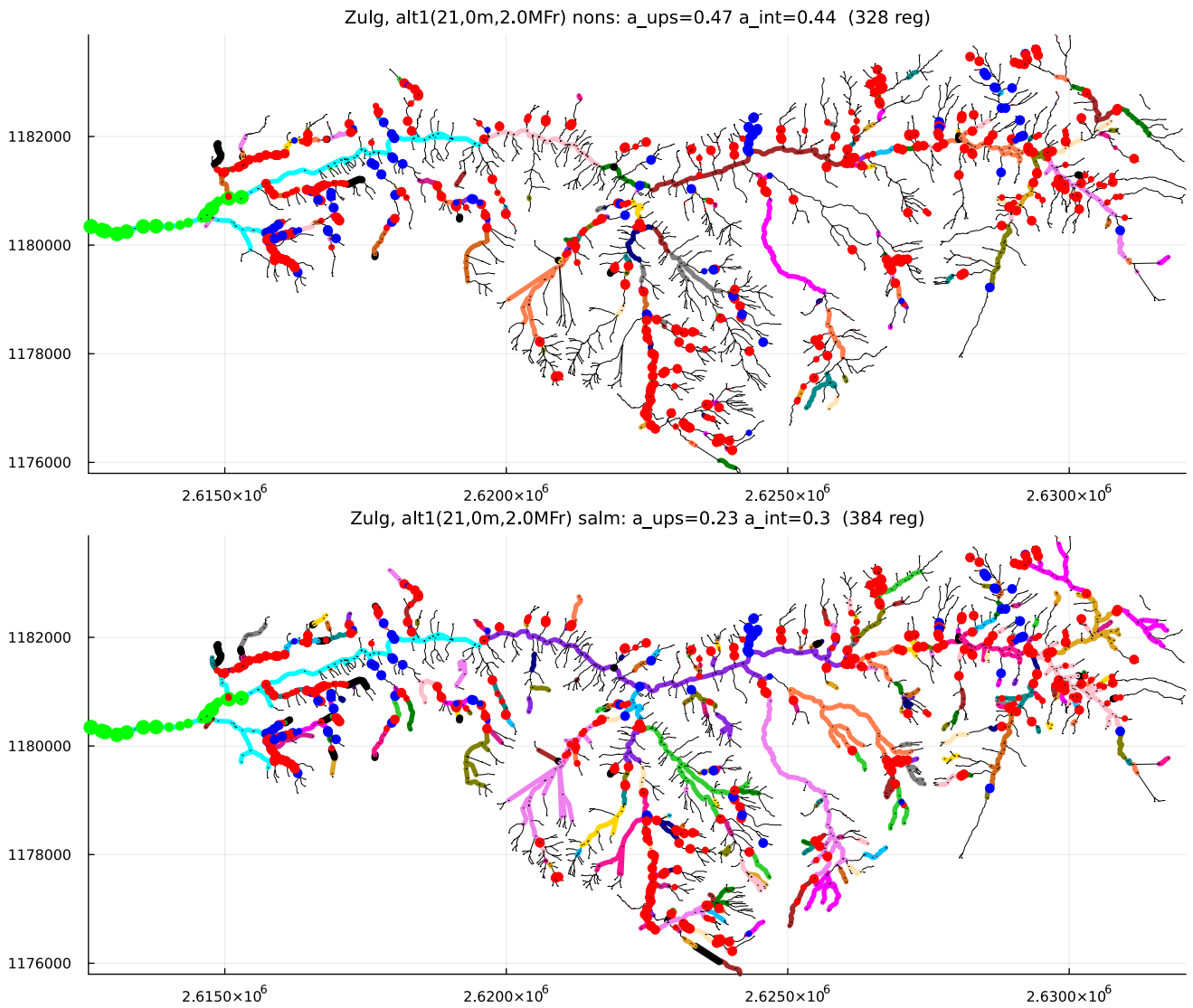


Abbildung A1.39: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.36 beschrieben.

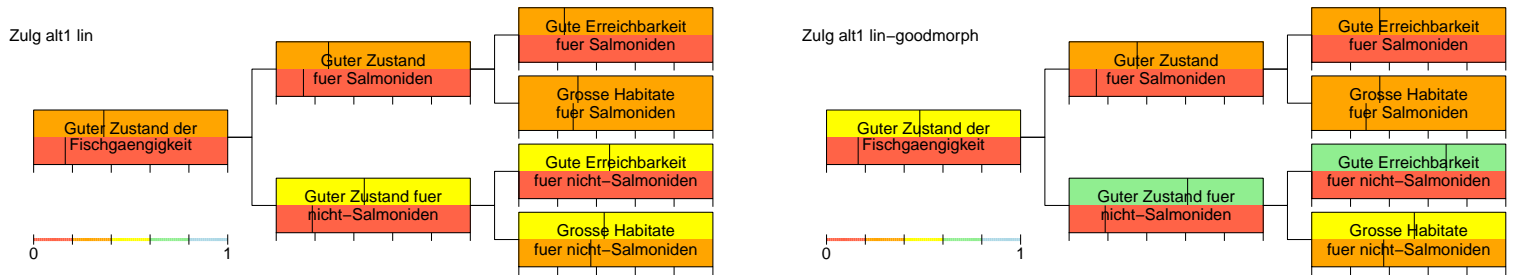


Abbildung A1.40: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.38 für eine Erklärung der Linien und Farben.

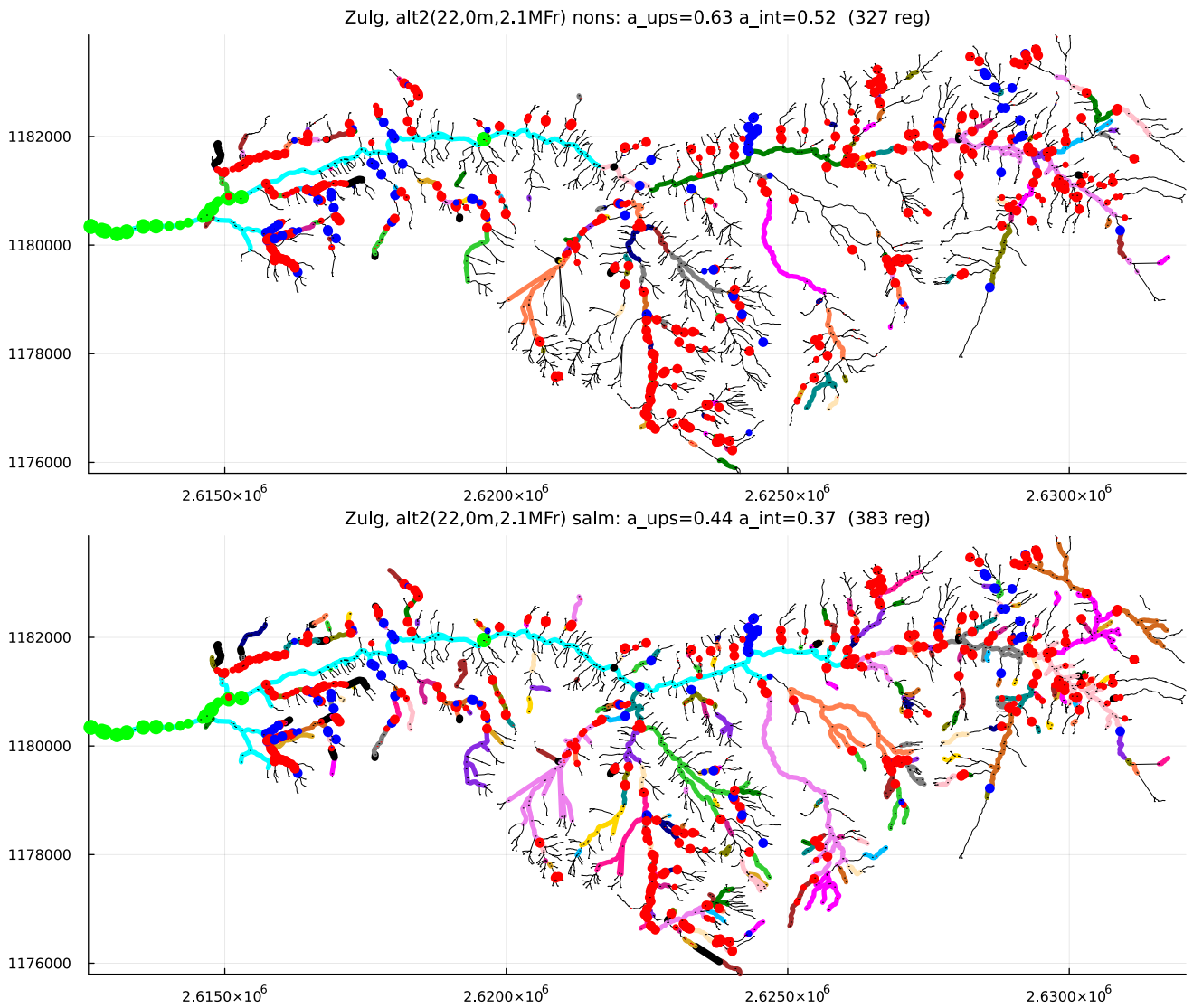


Abbildung A1.41: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.36 beschrieben.

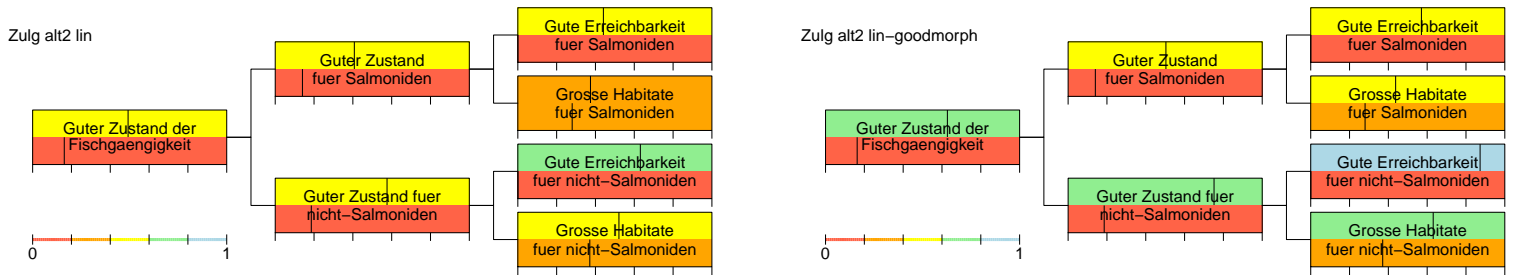


Abbildung A1.42: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.38 für eine Erklärung der Linien und Farben.

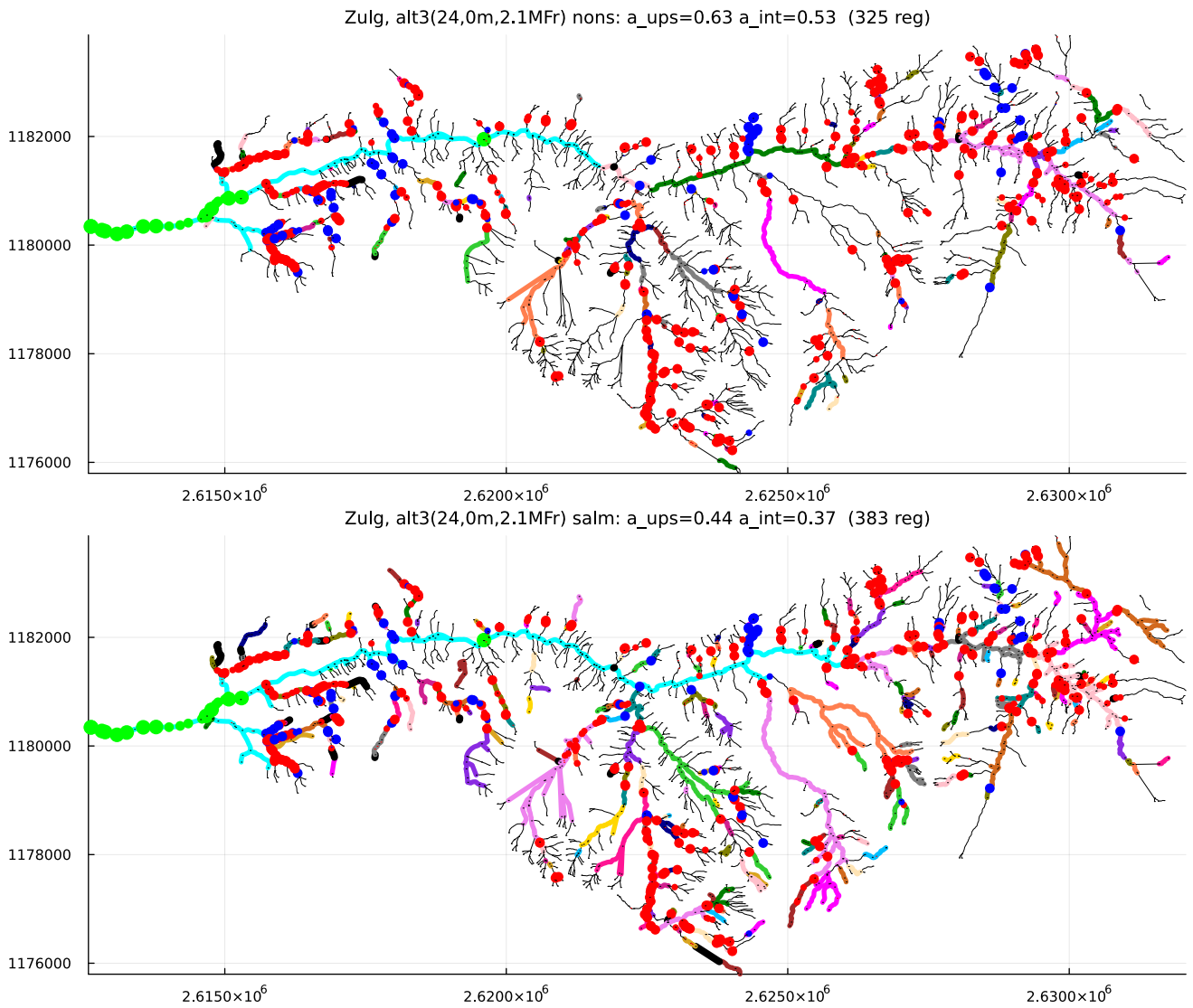


Abbildung A1.43: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.36 beschrieben.

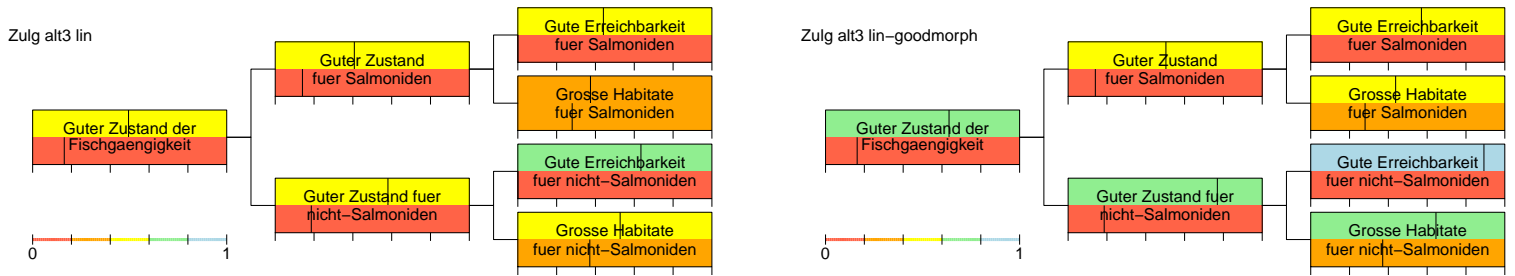


Abbildung A1.44: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.38 für eine Erklärung der Linien und Farben.

A1.3.1.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.45 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Wie schon im vorherigen Abschnitt vermerkt, kann man bei der Zulug nach der Elimination der

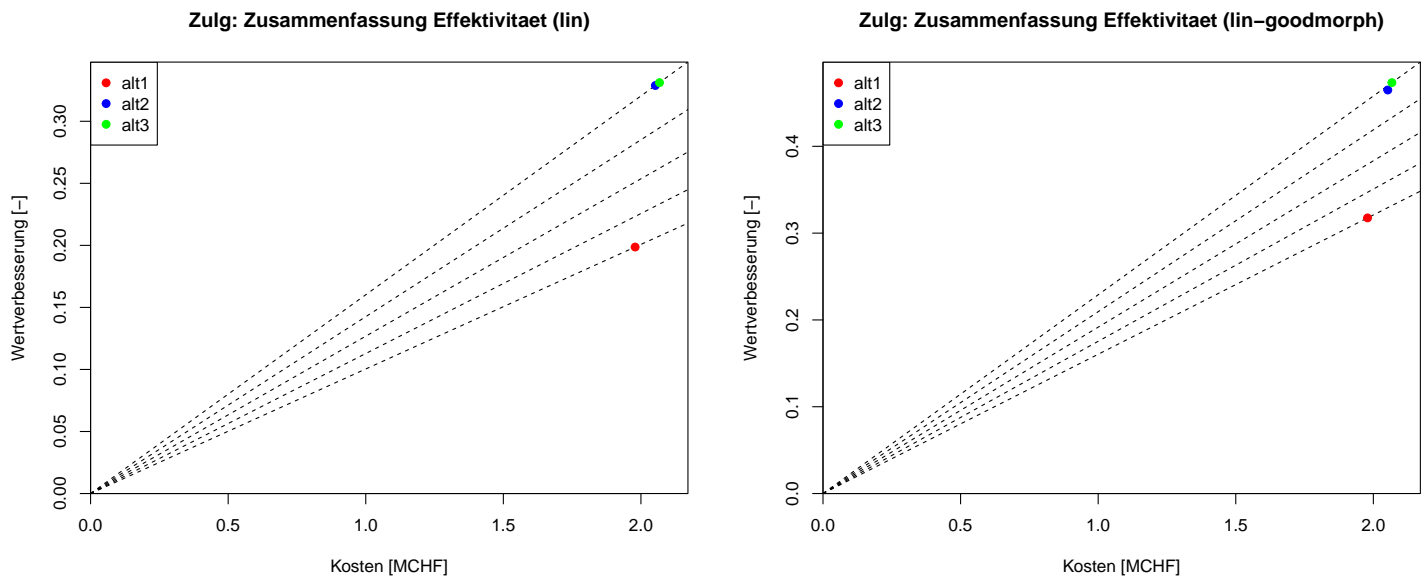


Abbildung A1.45: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

Hindernisse im Unterlauf relativ kostengünstig relativ viel erreichen. Die Varianten 2 und 3 zeigen deshalb eine bessere Effektivität als die Variante 1, die aber in diesen enthalten ist.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.46 die analogen Resultate zur Abbildung A1.45, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung nur einen sehr geringen Einfluss auf die in Abbildung A1.45 gezeigten Resultate hat.

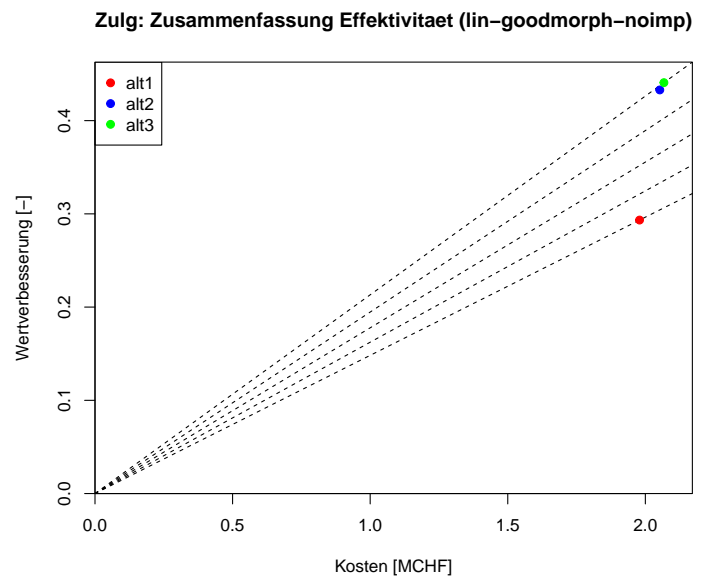
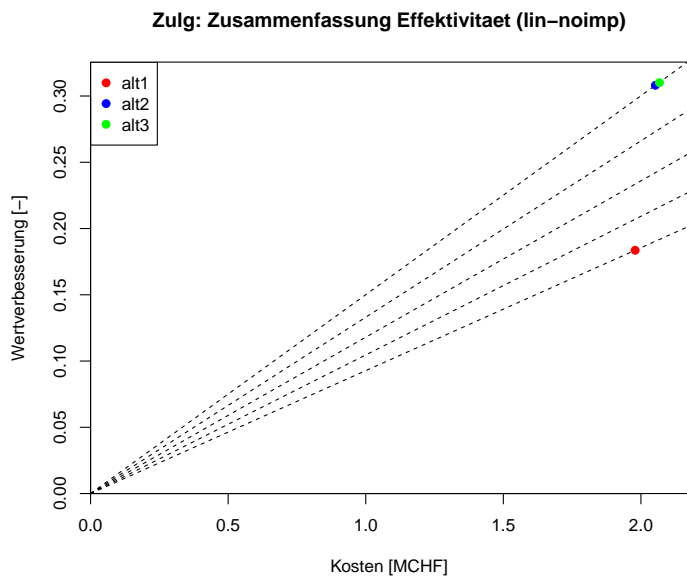


Abbildung A1.46: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.45 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fließstrecken.

A1.3.2 Glütschbach

Der Glütschbach ist der erste wesentliche linksseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees. Im Mittel- und Unterlauf fliesst er im ehemaligen Kandertal, welches wegen der Kanderkorrektion von 1714 (Ableitung der Kander in den Thunersee, siehe auch Abschnitt A1.1) frei wurde. Ein Teil des Wassers, und insbesondere des Geschiebes, wird in die Kander abgeleitet.

A1.3.2.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.47 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen des Glütschbachs. Das Einzugsgebiet des Glütschbachs umfasst ca. 55 km² und der Fluss erreicht die Flussordnung 5.

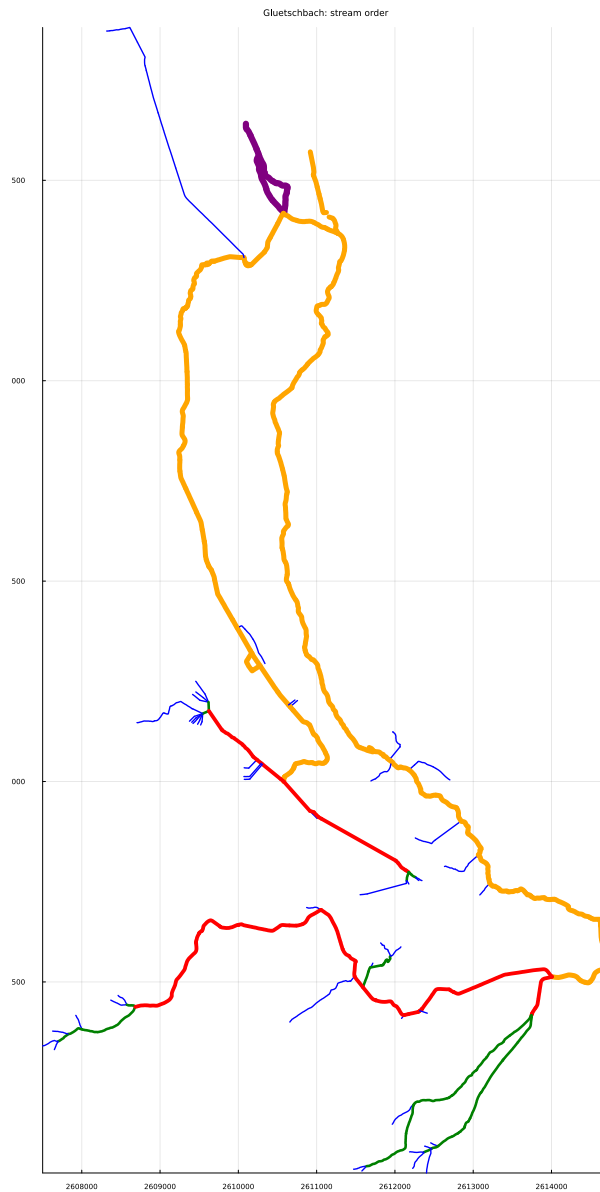


Abbildung A1.47: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

A1.3.2.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.48 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte des Glütschbachs. Insbesondere im oberen Teil des ehemaligen Kandertals, kurz nach der Teil-Ausleitung in die Kander, ist er in einem sehr guten morphologischen Zustand.

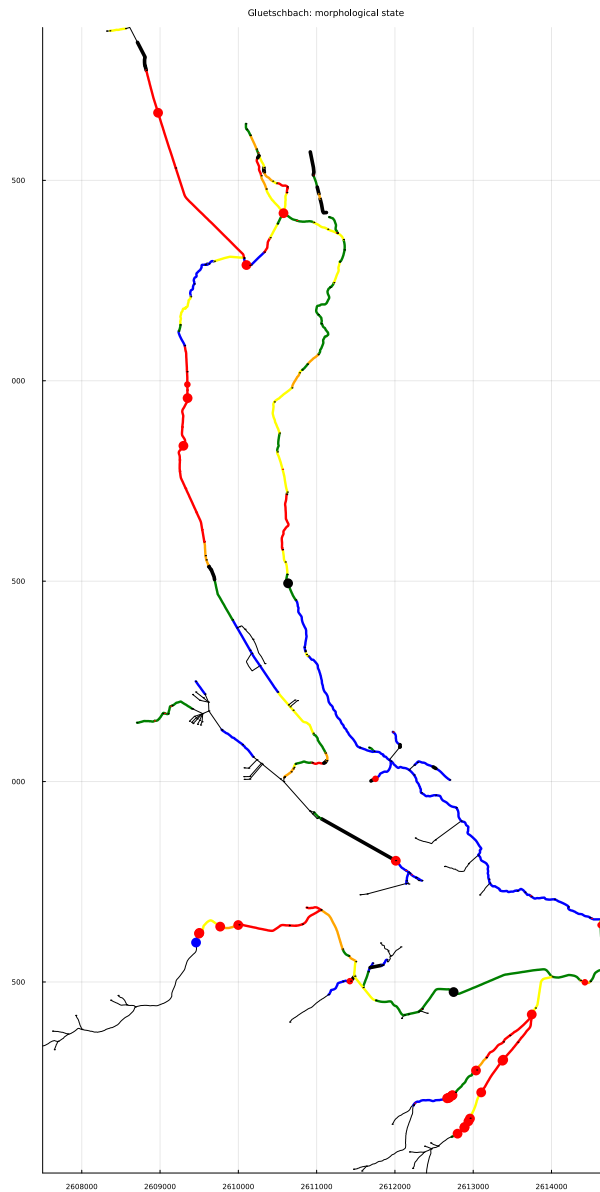


Abbildung A1.48: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

A1.3.2.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.49 zeigt die für diese Analyse verwendete Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. Für die angewandten Kriterien siehe Beginn von Kapitel A1.3. Da der Abschnitt mit der negativen Bewertung gleichzeitig zu der unter naturnahen Bedingungen von der Mündung her erreichbaren Region befindet (siehe Abbildung A1.51, links), ergeben sich in der Abbildung A1.49 keine roten Bereiche, sondern der rechte Ast des Flusses wird schwarz anstatt grün, da sich der negative und der positive Effekt kompensieren.

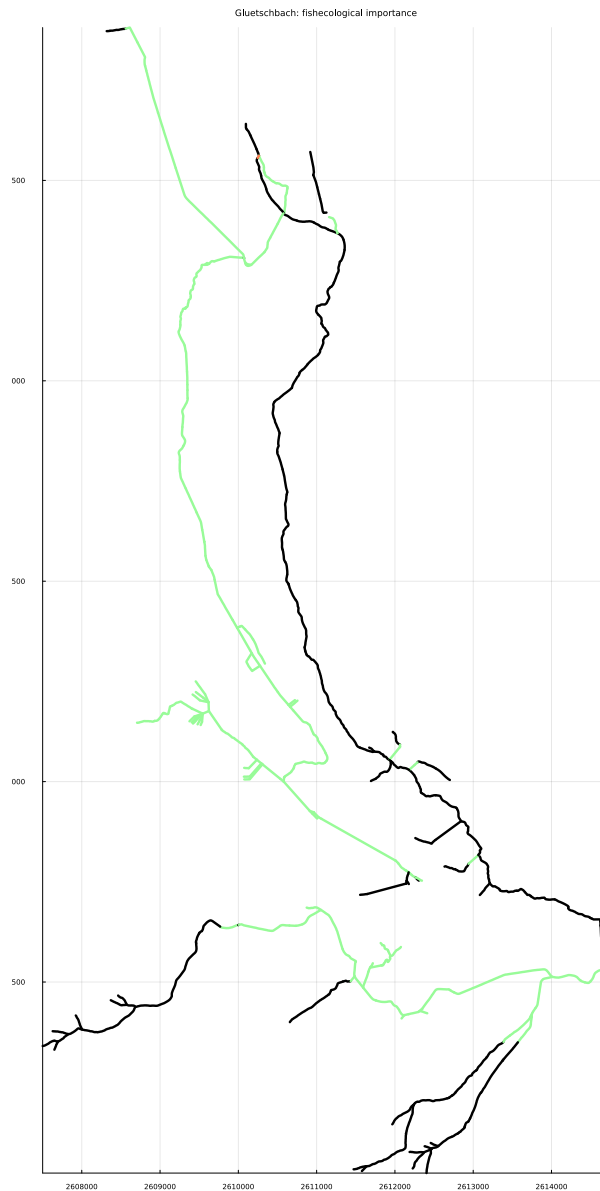


Abbildung A1.49: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Der Gluetschbach enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

A1.3.2.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildungen A1.50 und A1.51 zeigen die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand.

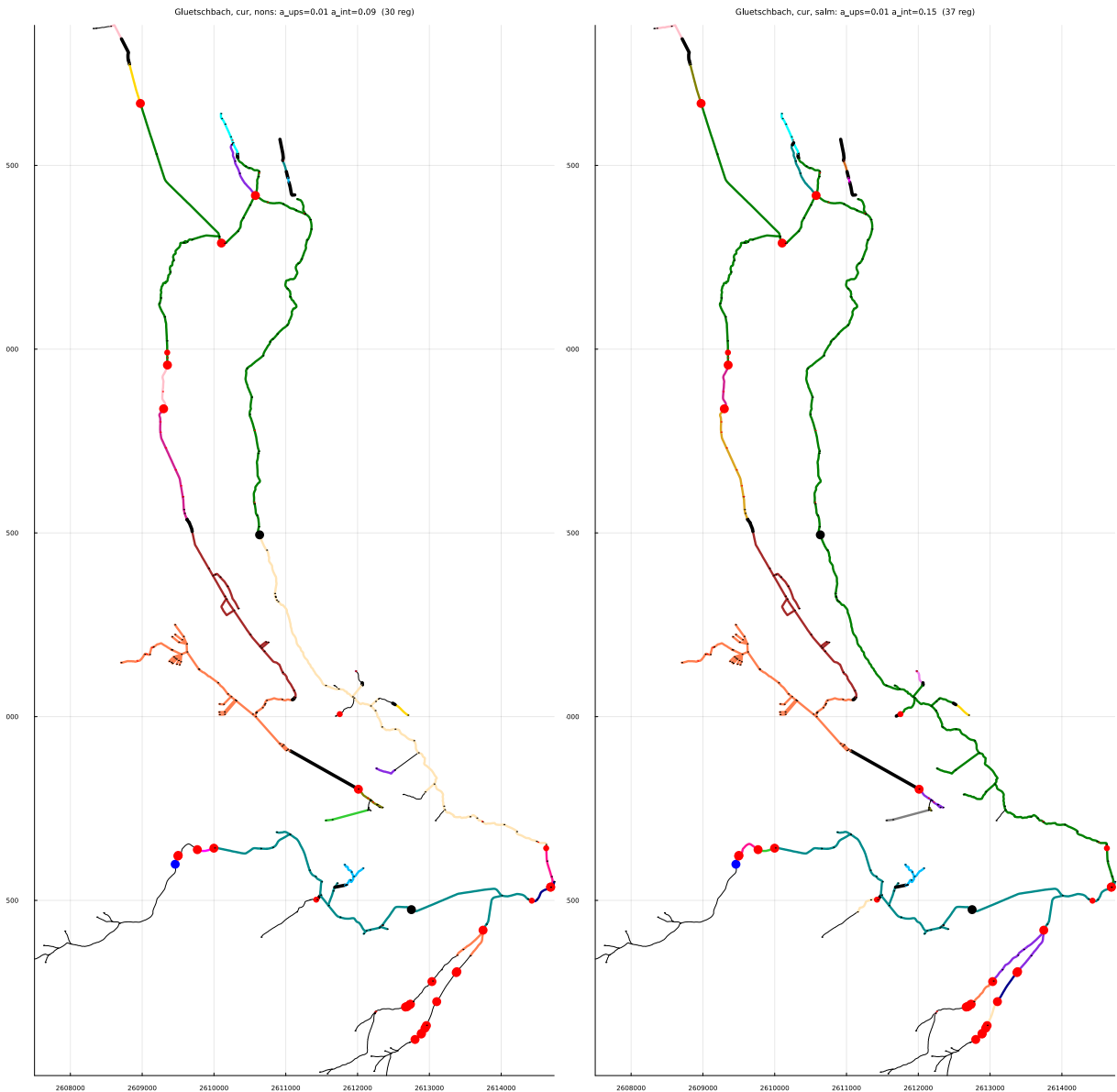


Abbildung A1.50: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{\text{ups}}=a_{\text{ups}}$ (3.1), $a_{\text{int}}=a_{\text{int}}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

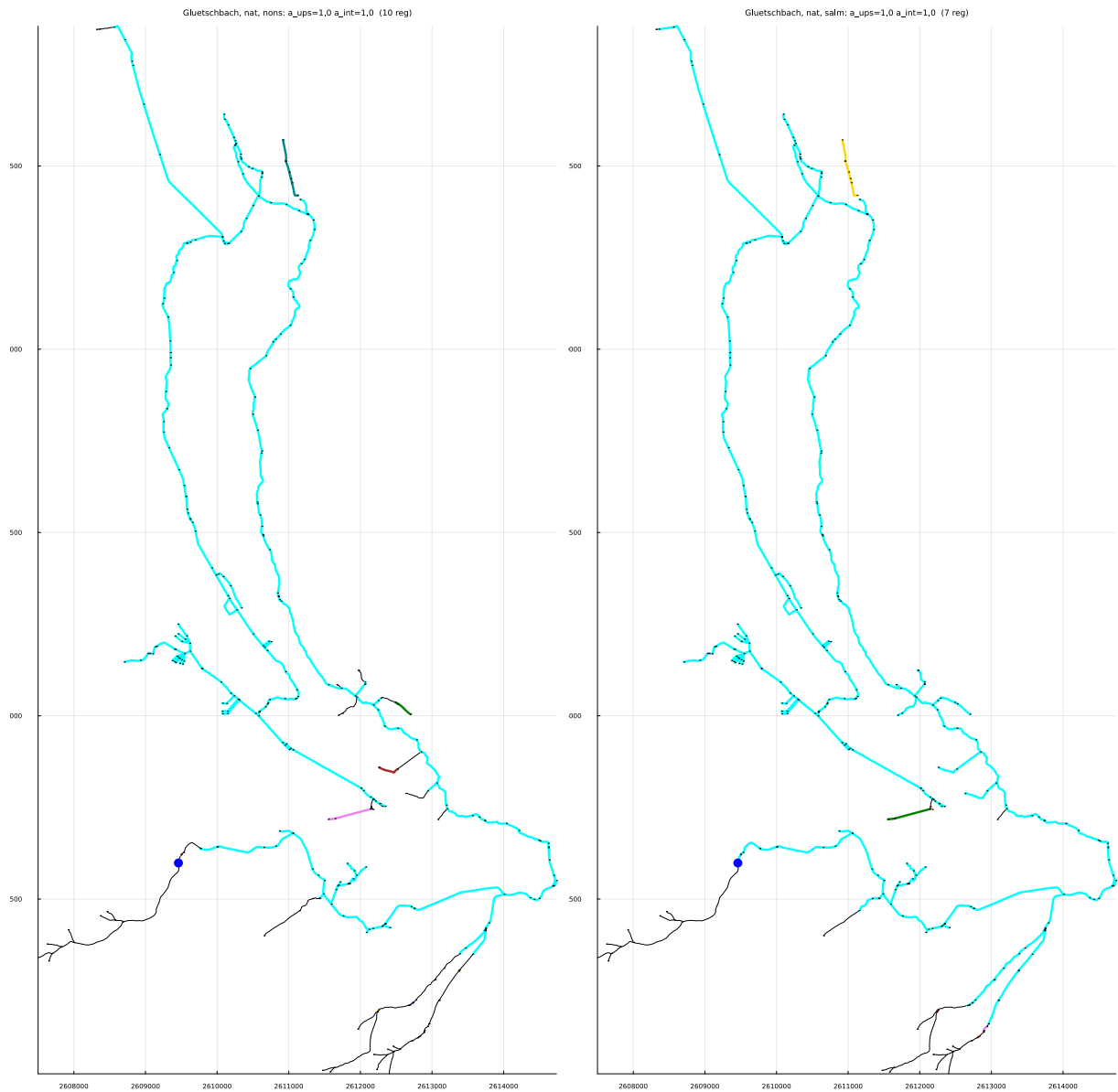


Abbildung A1.51: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{ups}=a_{ups}$ (3.1), $a_{int}=a_{int}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.52 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Aufgrund der starken Fragmentierung durch künstliche Hindernisse ist die Bewertung sehr schlecht.

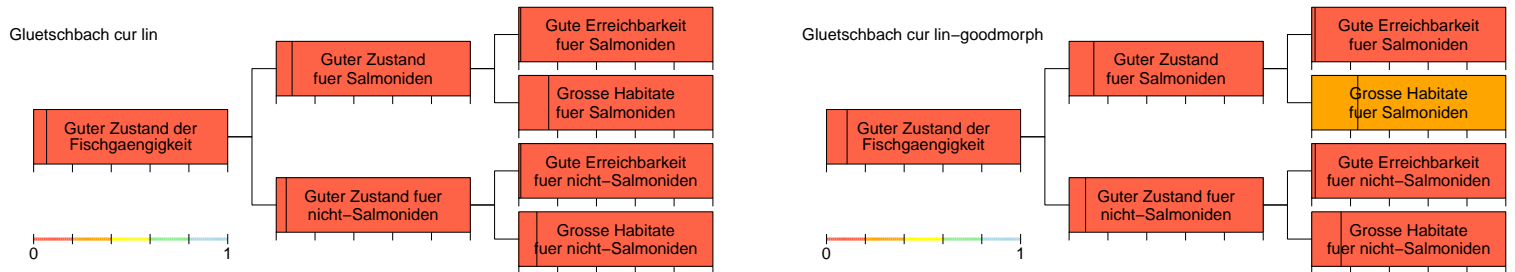


Abbildung A1.52: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

A1.3.2.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.4 gibt einen

Var.	Anzahl ent-fernter Barrie-ren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	0	60 m	0.1 MCHF	Anschluss des Mittellaufs des Glütschbachs an die Mündung
2	1	60 m	0.2 MCHF	Erweiterung der Variante 1 auf den Oberlauf
3	5	60 m	0.3 MCHF	Erweiterung der Variante 2 auf den Oberlauf
4	8	60 m	0.3 MCHF	Erweiterung der Variante 3 auf den Oberlauf
5	8	250 m	0.7 MCHF	Erweiterung der Variante 4 auf den wichtigsten Nebenbach
6	8	300 m	0.8 MCHF	Weitere Erweiterung der Variante 5 auf den Oberlauf des Nebenbachs

Tabelle A1.4: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für den Glütschbach.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.53 bis A1.64 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.4 gelisteten Varianten. Die grossen Unterschiede in den Bewertungen der Varianten 3 - 6 für den aktuellen und einen sehr guten morphologischen Zustand (Abbildungen A1.58, A1.60, A1.62, A1.64) zeigen, dass für die Erreichung eines guten Zustandes bezüglich der Fischmigration auch die Revitalisierung der Fliessstrecken wichtig ist.

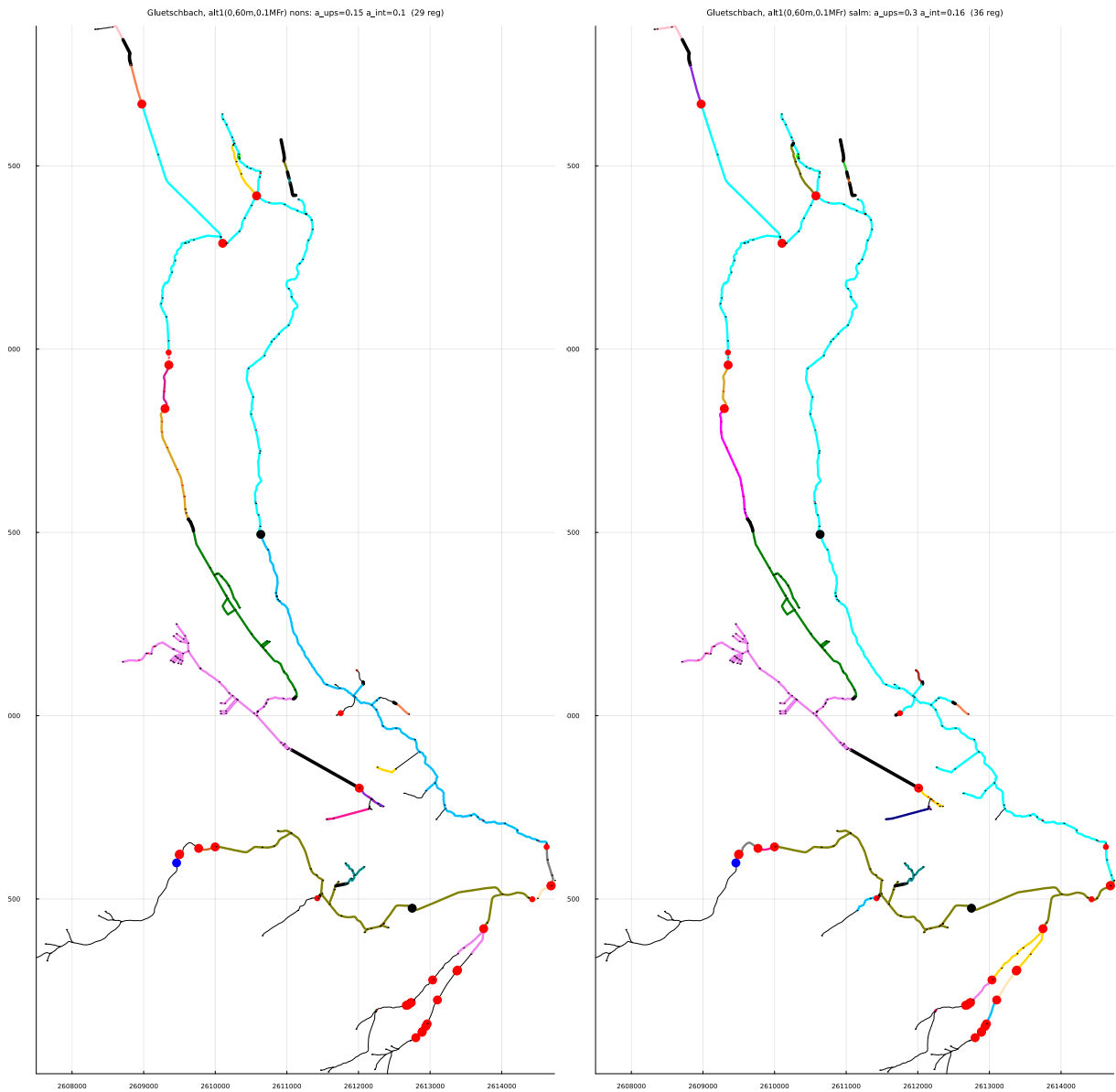


Abbildung A1.53: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

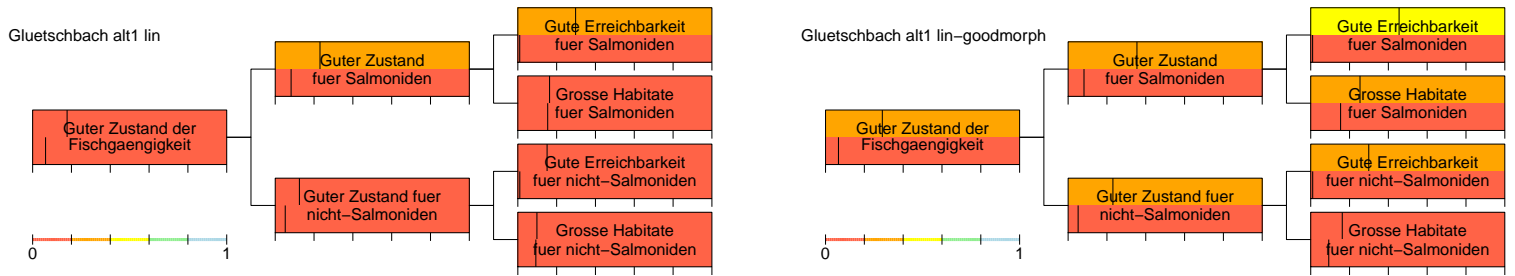


Abbildung A1.54: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

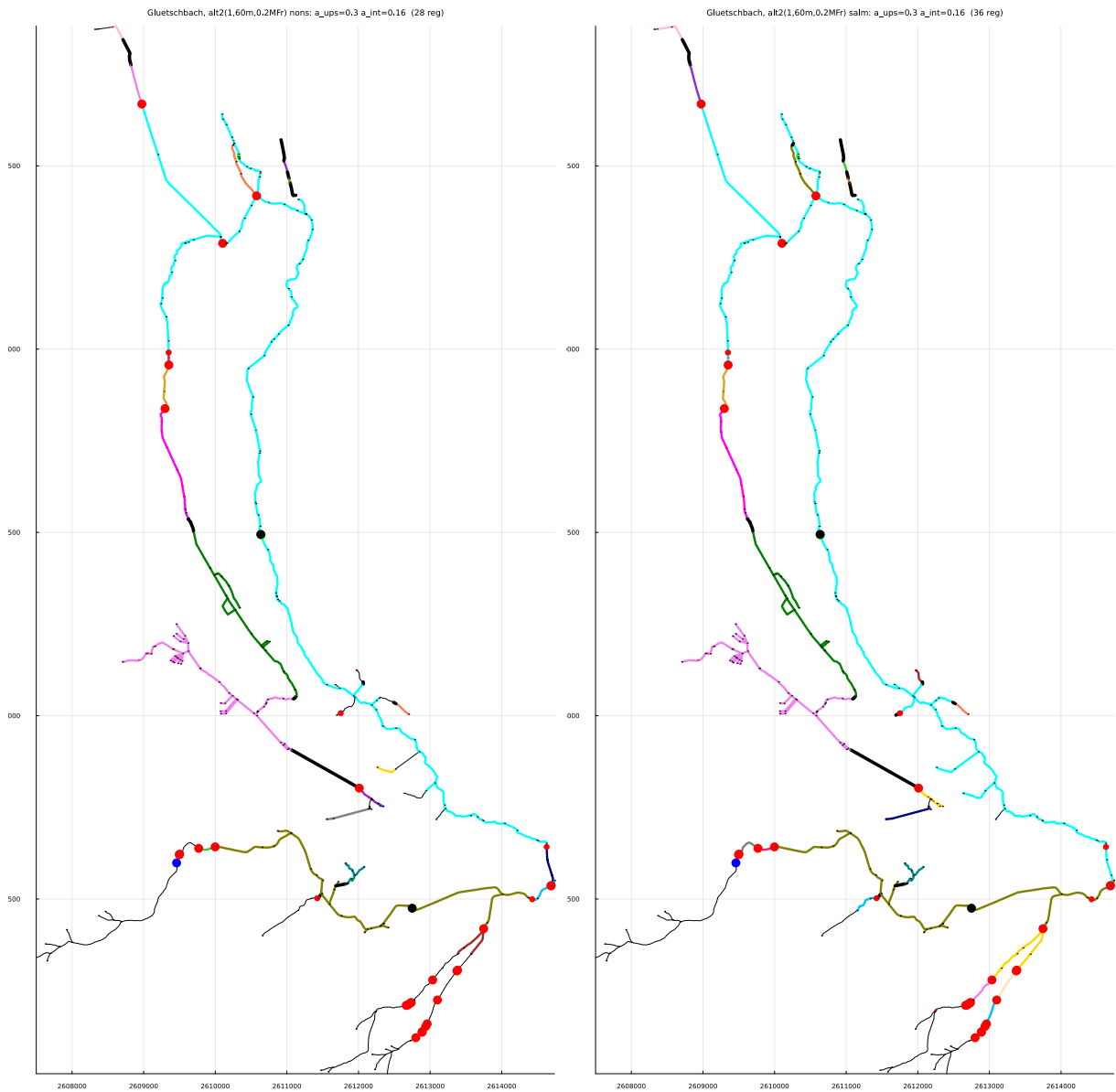


Abbildung A1.55: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

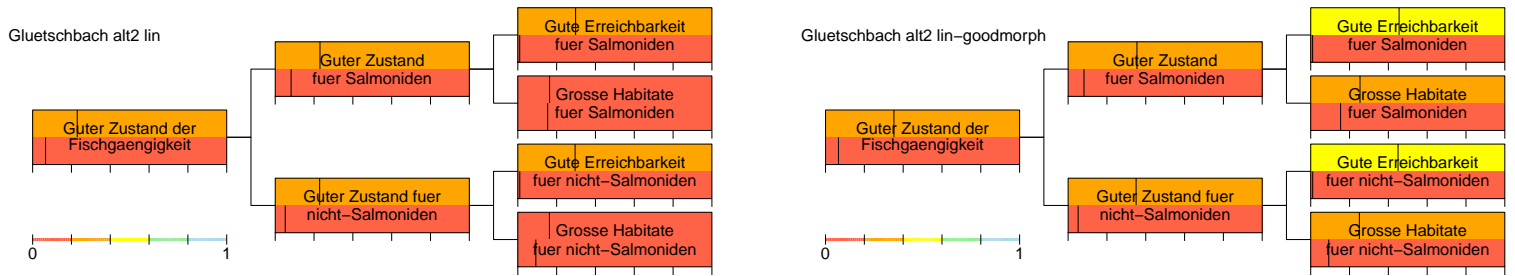


Abbildung A1.56: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

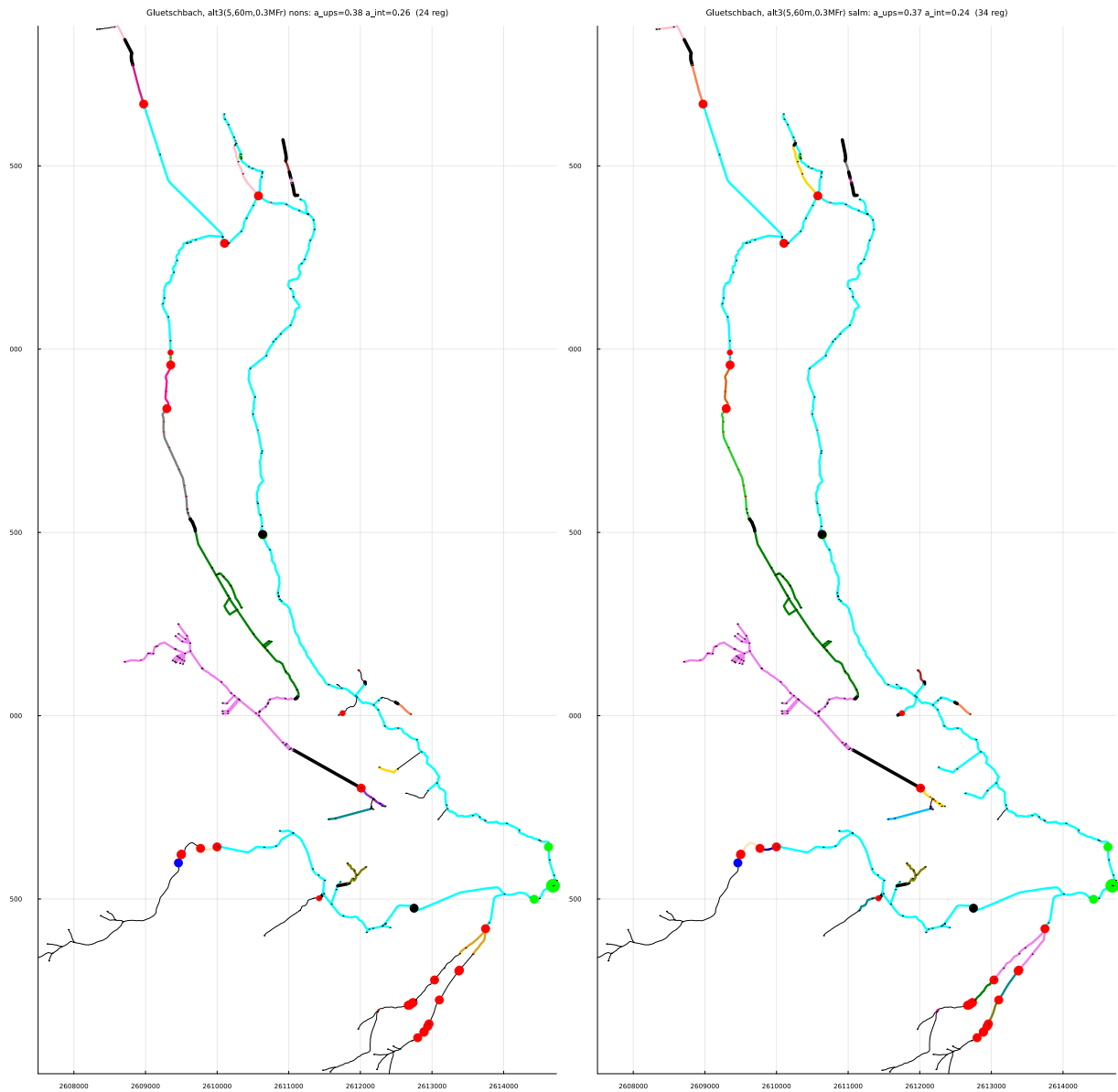


Abbildung A1.57: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

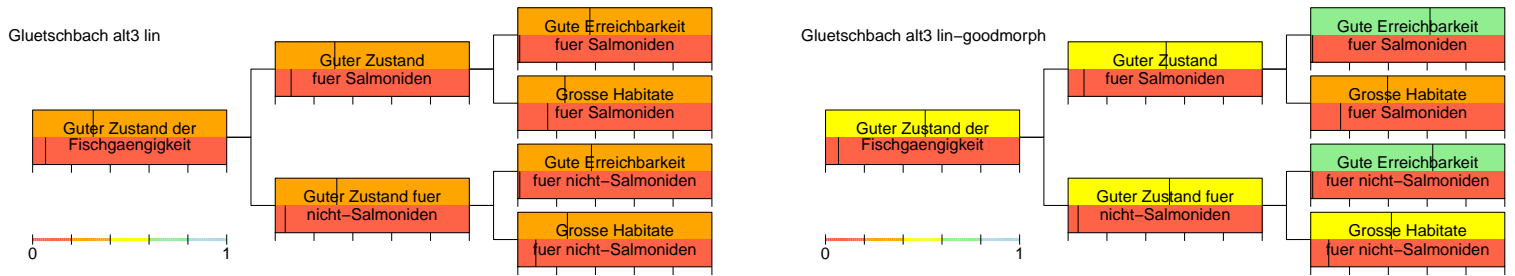


Abbildung A1.58: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

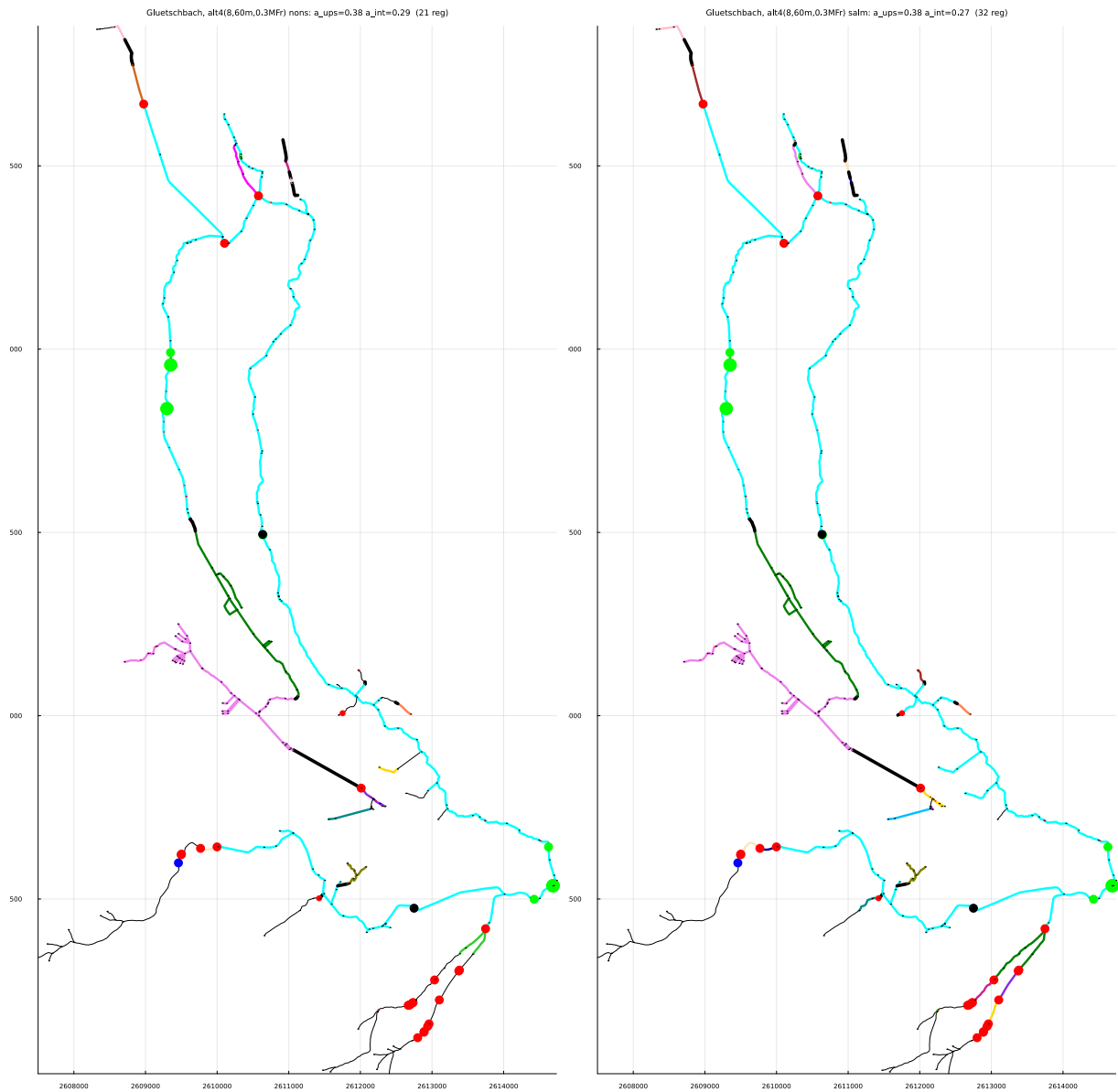


Abbildung A1.59: Variante 4. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

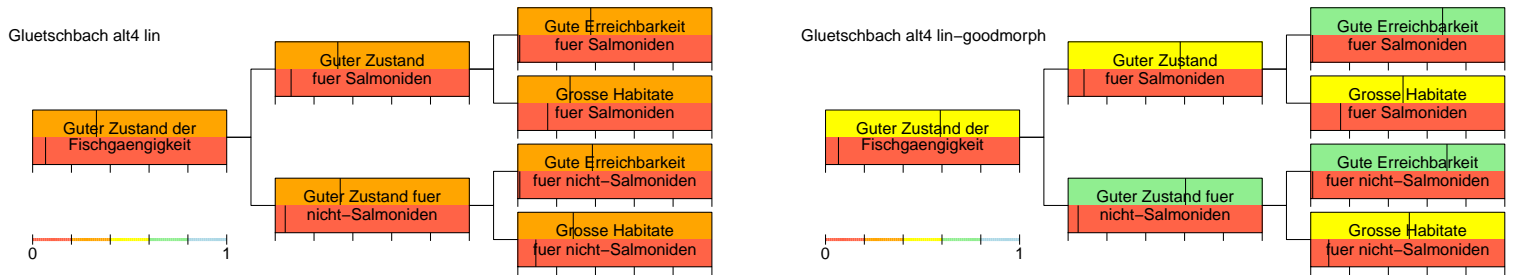


Abbildung A1.60: Vergleich der Bewertung der Variante 4 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

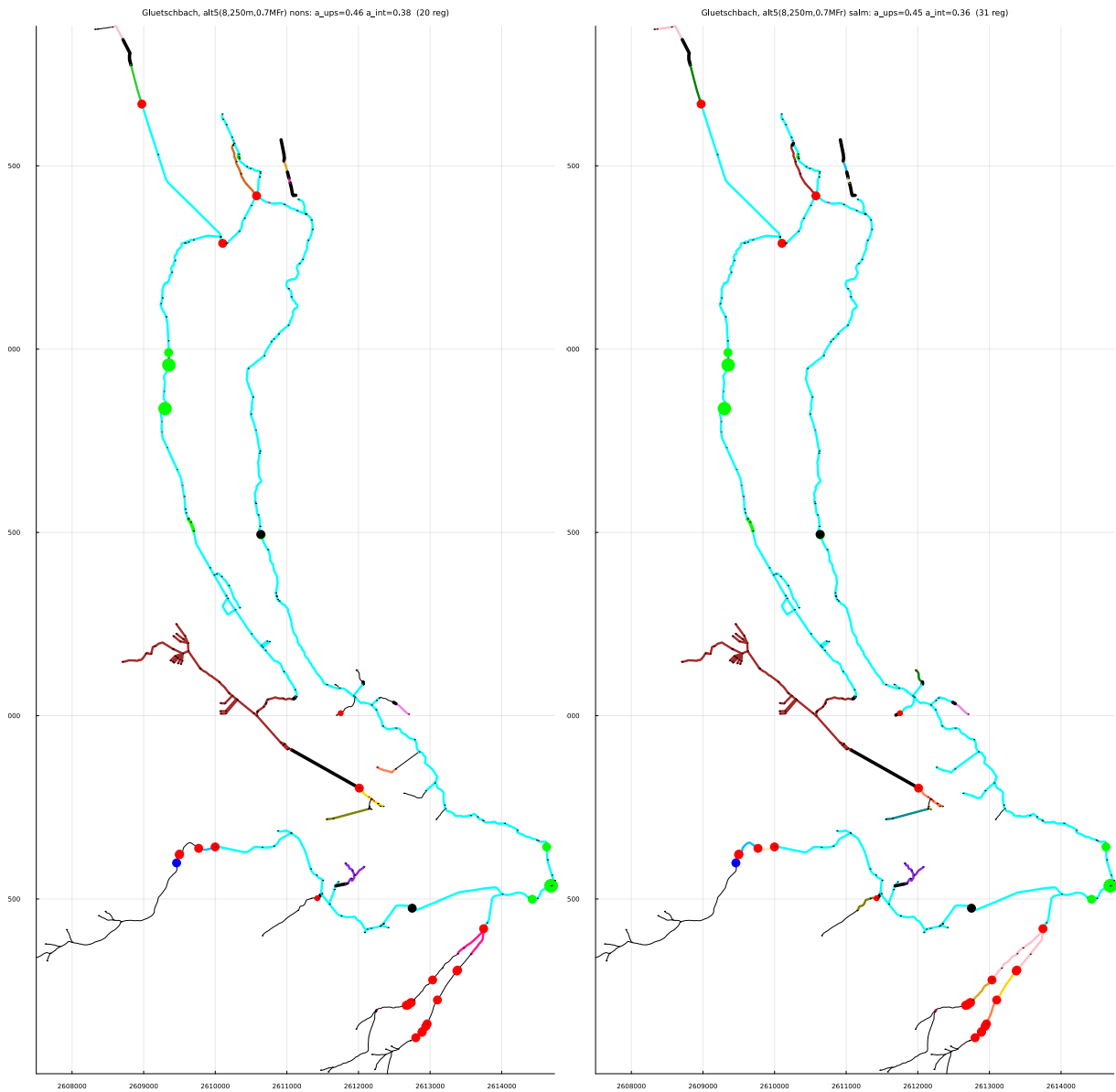


Abbildung A1.61: Variante 5. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

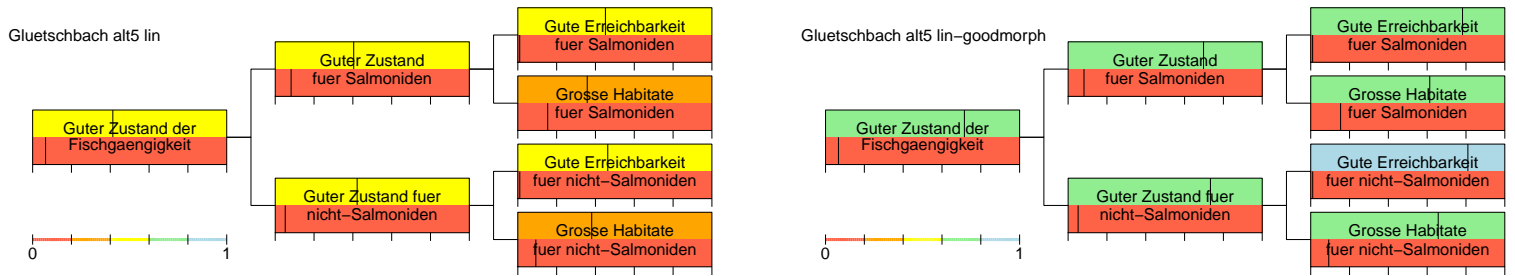


Abbildung A1.62: Vergleich der Bewertung der Variante 5 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

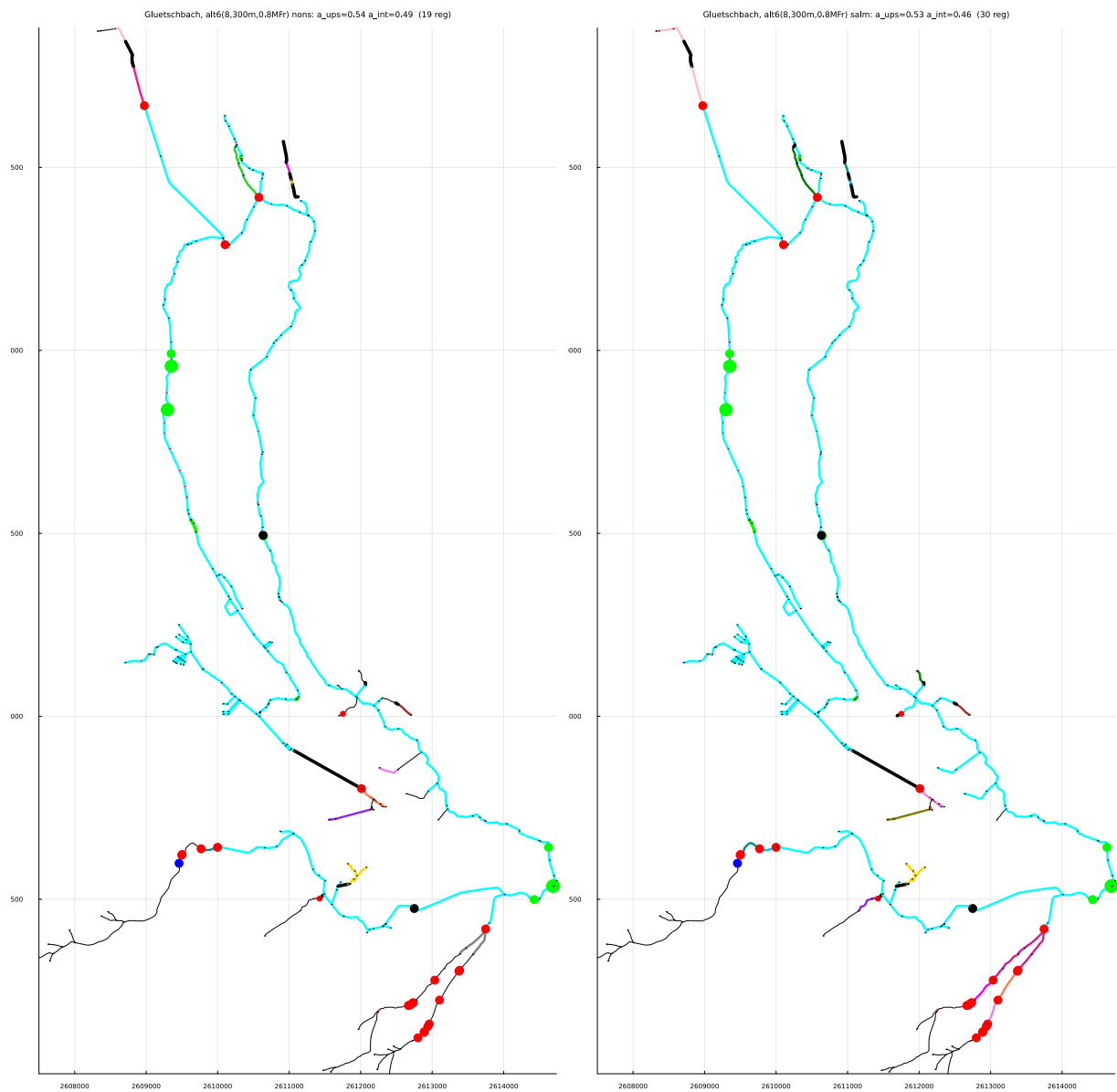


Abbildung A1.63: Variante 6. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

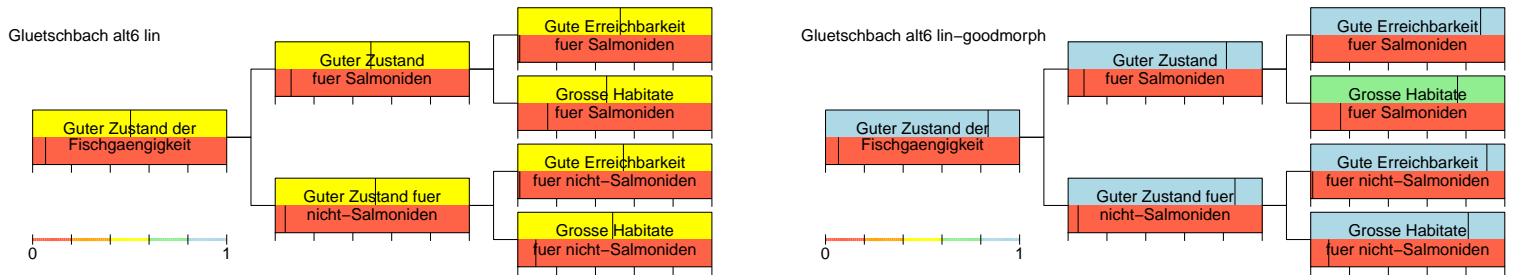


Abbildung A1.64: Vergleich der Bewertung der Variante 6 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

A1.3.2.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.65 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Es zeigt sich, dass die Varianten 1 - 4 kosteneffektiver sind als die Varianten 5 und 6. Allerdings

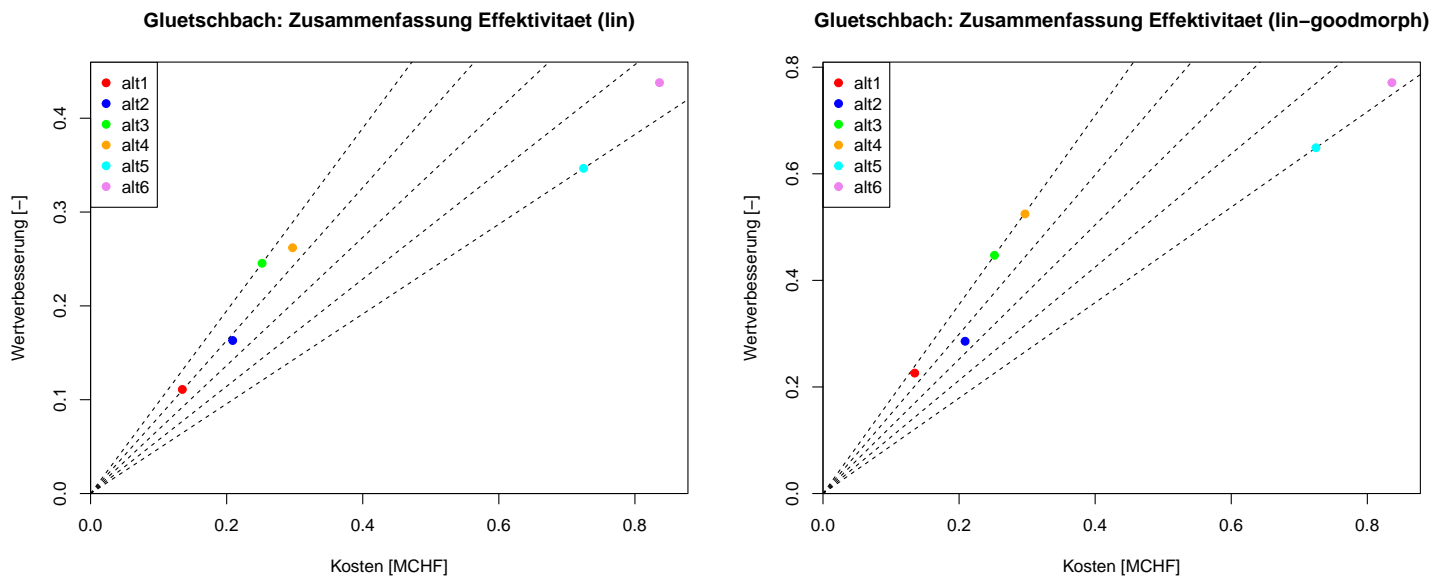


Abbildung A1.65: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

ist der Unterschied nicht so gross wie bei anderen Einzugsgebieten.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.66 die analogen Resultate zur Abbildung A1.65, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung kaum einen Einfluss auf das in Abbildung A1.65 gezeigte Resultat hat.

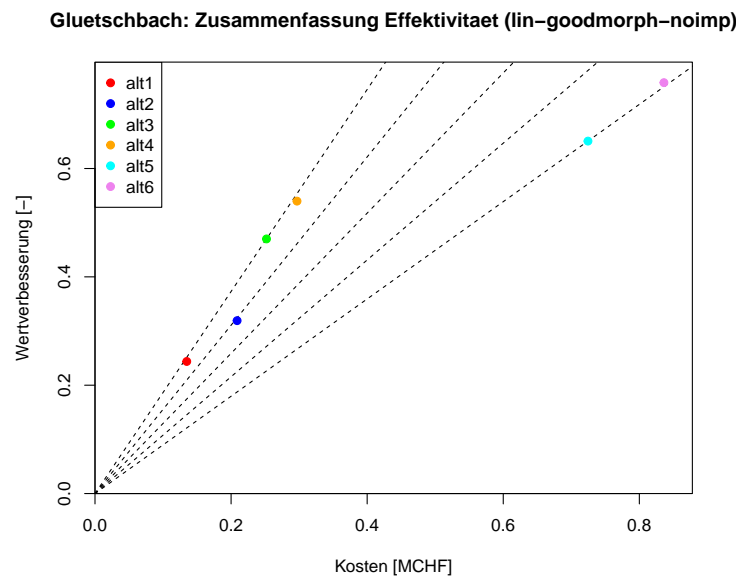
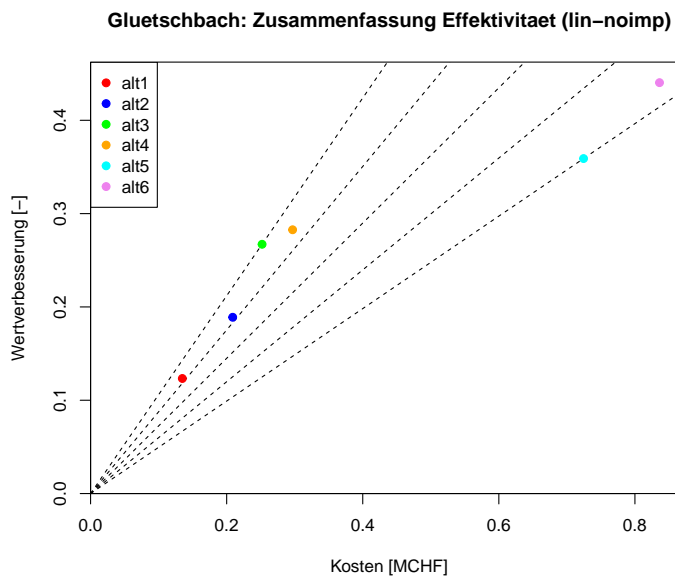


Abbildung A1.66: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.65 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fließstrecken.

A1.3.3 Rotache

Die Rotache ist der zweite rechtsseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees.

A1.3.3.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.67 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Rotache. Die Rotache

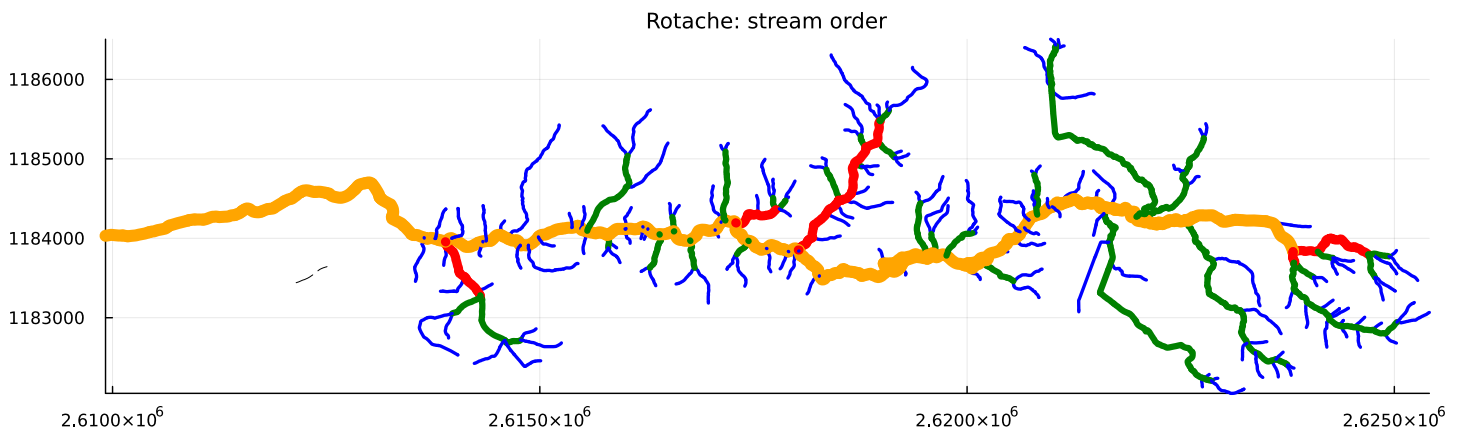


Abbildung A1.67: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

erreicht die Flussordnung 4.

A1.3.3.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.68 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Rotache.

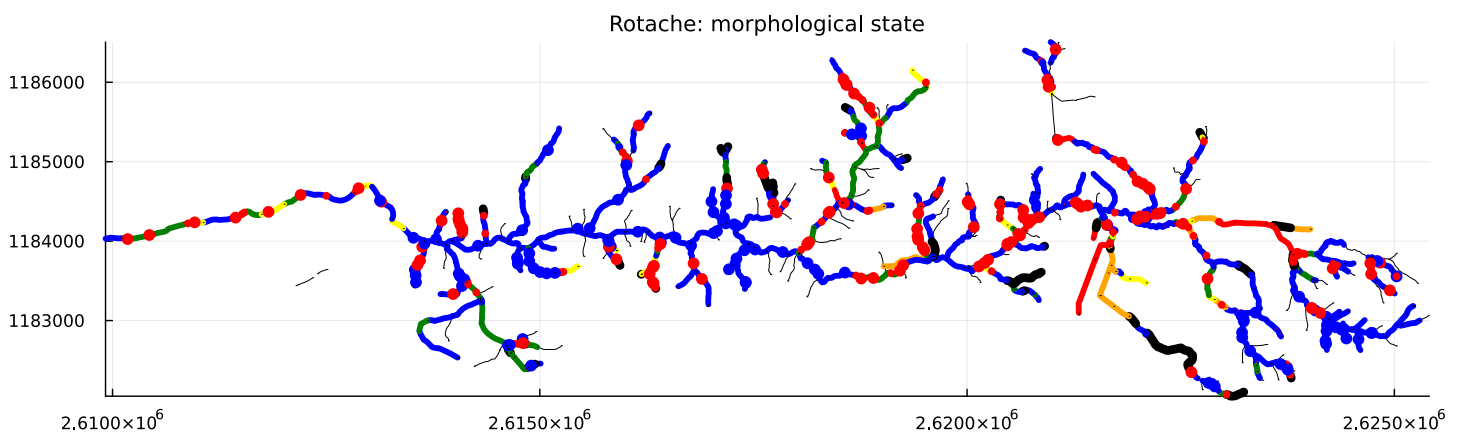


Abbildung A1.68: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

A1.3.3.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.69 zeigt die für diese Analyse verwendete Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. Für die angewandten Kriterien siehe

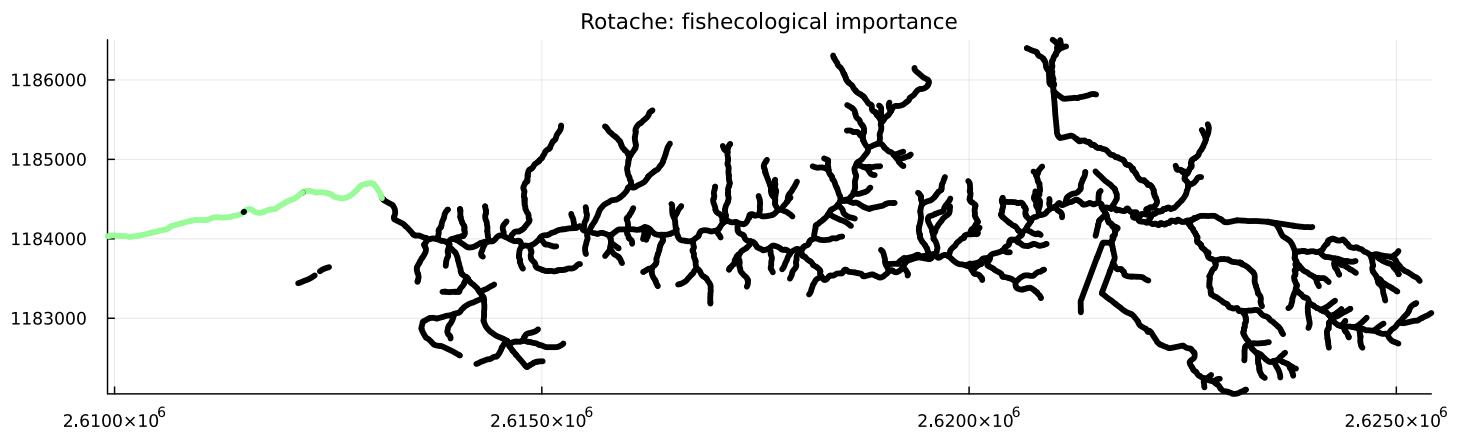


Abbildung A1.69: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Rotache enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

Beginn von Kapitel A1.3. Da die Rotache keine Auen von nationaler Bedeutung enthält und weist sie ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf (vergleiche mit dem oberen Teil der Abbildung A1.71).

A1.3.3.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildungen A1.70 und A1.71 zeigen die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Die Rotache ist offbar im Mittel-

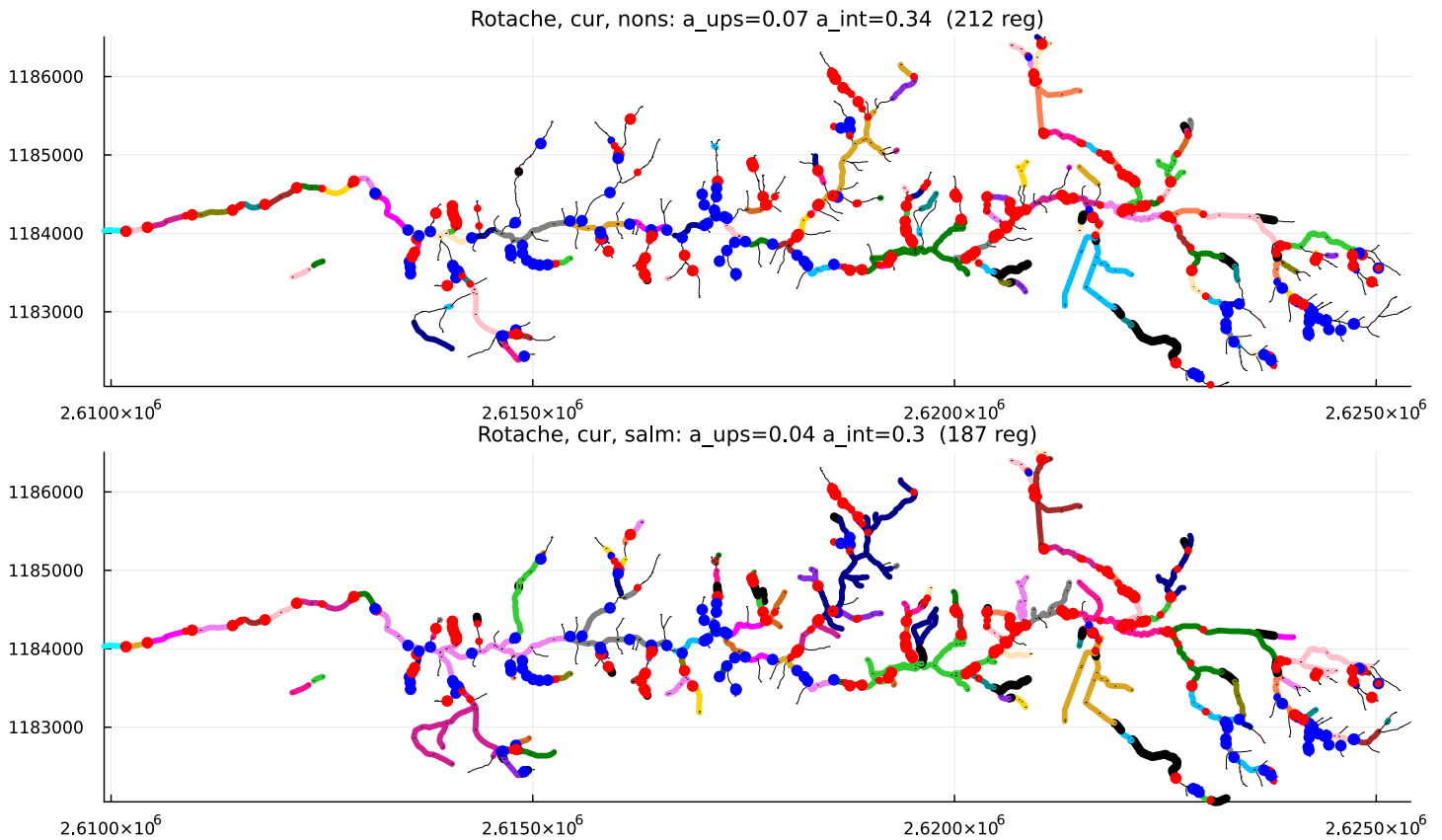


Abbildung A1.70: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{ups}=a_{ups}$ (3.1), $a_{int}=a_{int}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

lauf schon aus natürlichen Gründen sehr stark fragmentiert. Das limitiert schon im natürlichen Zustand die erreichbaren Habitate für Fische, die aus der Aare aufsteigen. Im aktuellen Zustand ist der Fischeaufstieg bis auf den Mündungsbereich völlig verunmöglicht.

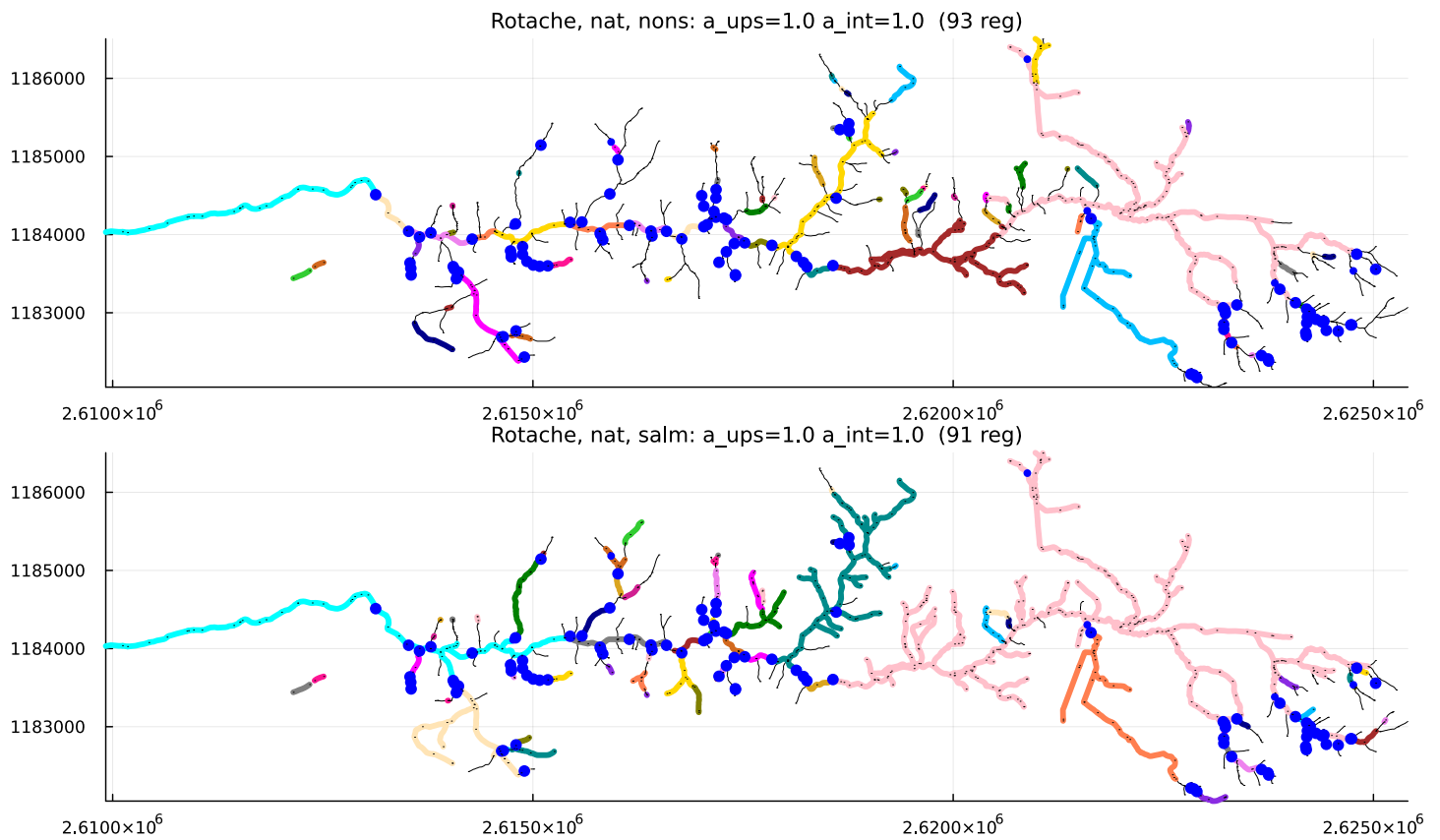


Abbildung A1.71: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{\text{ups}}=a_{\text{ups}}$ (3.1), $a_{\text{int}}=a_{\text{int}}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.72 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Wegen der grösseren

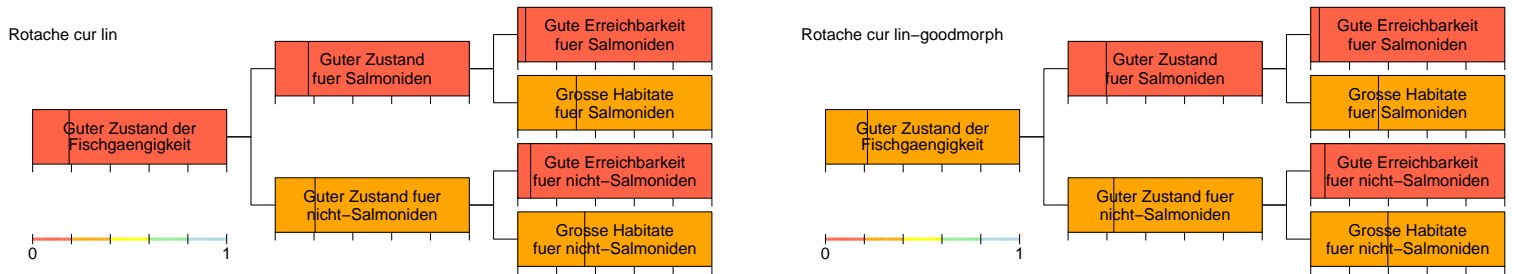


Abbildung A1.72: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

zusammenhängenden Regionen im Oberlauf ist die Beurteilung der Ziele von grossen Habitaten besser als diejenigen der Erreichbarkeit von der Mündung her.

A1.3.3.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchte Variante ist motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.5 gibt einen Überblick

Var.	Anzahl ent-fernter Barrie-ren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	12	0 m	1.0 MCHF	Anschluss des Unterlaufs der Rotache an die Mündung

Tabelle A1.5: Überblick über die untersuchte Revitalisierungsvariante für die Rotache.

über die untersuchte Variante.

Die Abbildungen A1.73 bis A1.74 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.5 gelistete Variante. Wegen der schon unter natürlichen Verhältnissen beschränkten von der Mündung her erreichbaren Region ergibt sich durch die Elimination der Wanderhindernisse im Unterlauf eine wesentliche Verbesserung des Zustandes.

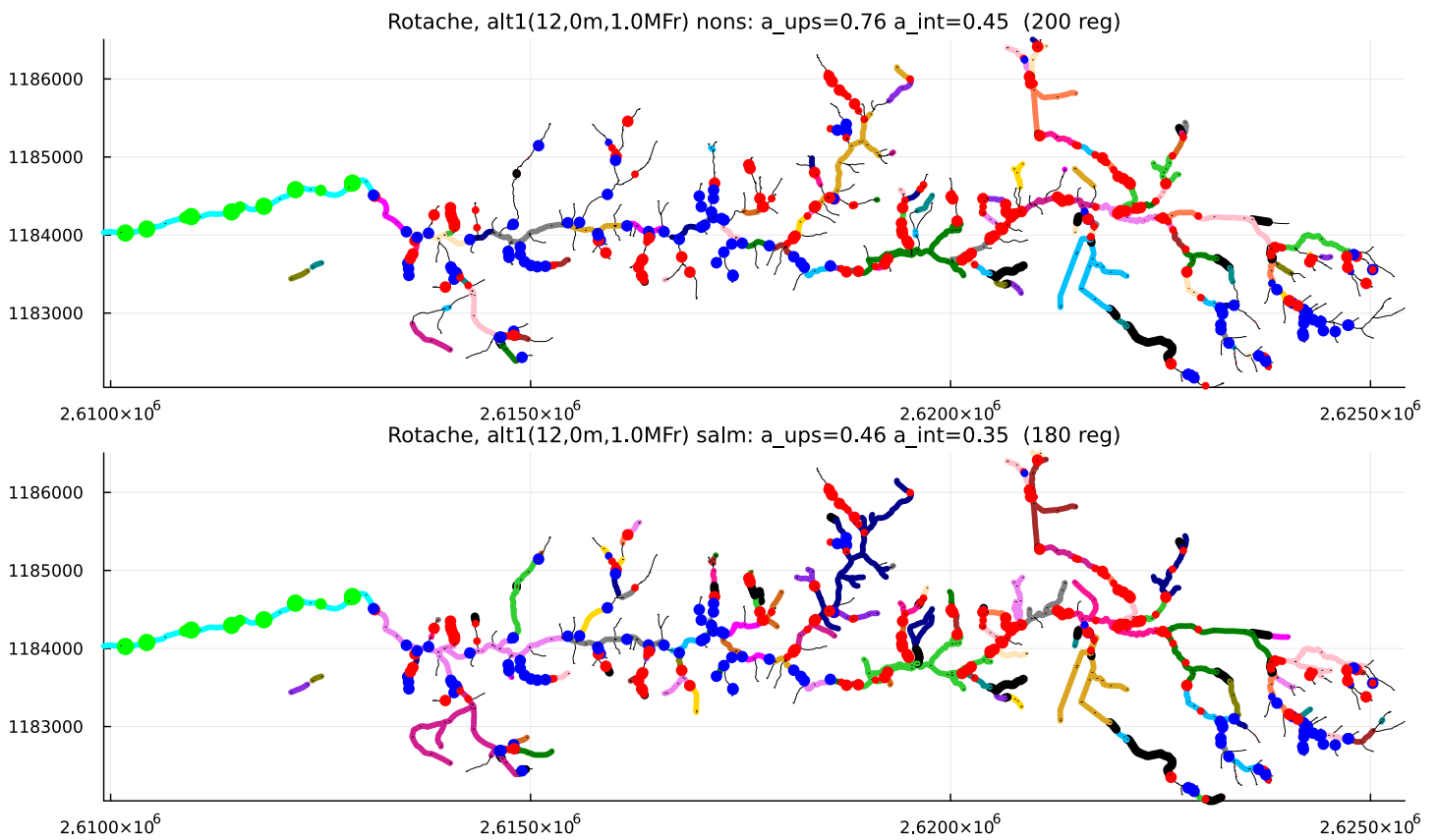


Abbildung A1.73: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.70 beschrieben.

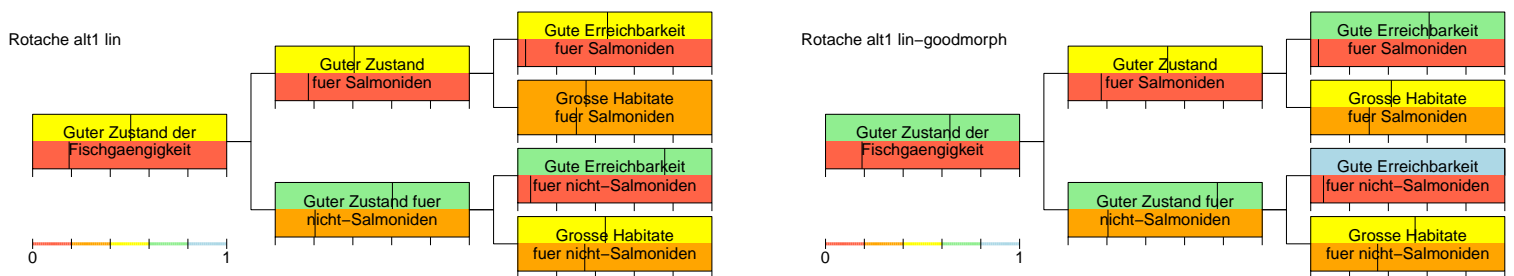


Abbildung A1.74: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.72 für eine Erklärung der Linien und Farben.

A1.3.3.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.75 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Da wir hier nur eine Variante untersuchen, fällt dieser Vergleich für dieses eine Einzugsgebiet

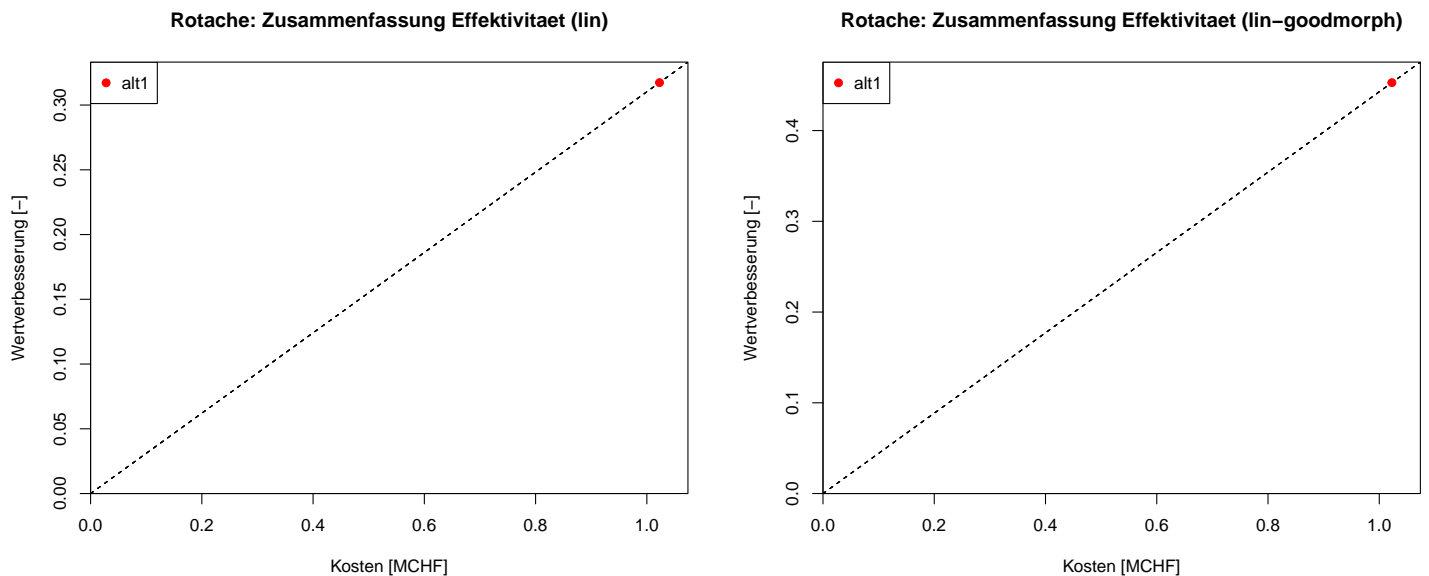


Abbildung A1.75: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

aus. Diese Variante wird aber in Abschnitt A1.3.7 mit ausgewählten Varianten in anderen Einzugsgebieten des Aareabschnitts von Thun bis Bern verglichen.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.76 die analogen Resultate zur Abbildung A1.75, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Der Wertzuwachs ist hier etwas geringer, da die grössere fischökologische Bedeutung der von der Aare aus unter natürlichen Bedingungen erreichbaren Region nicht berücksichtigt wird.

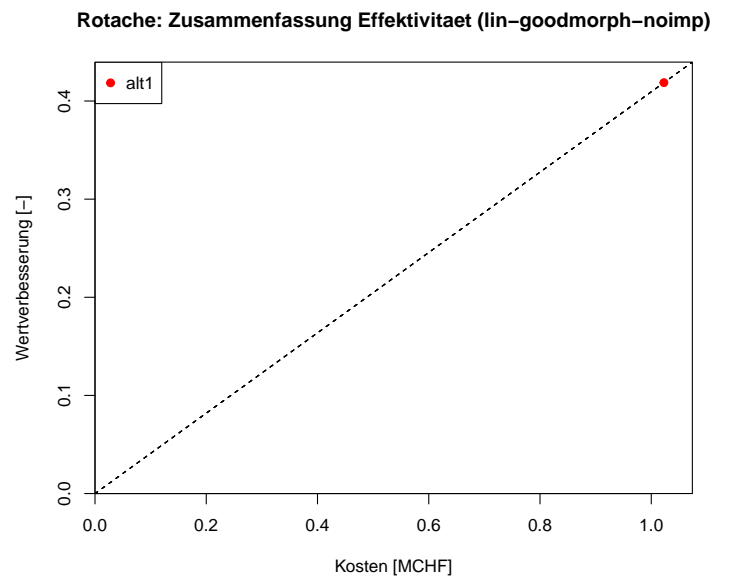
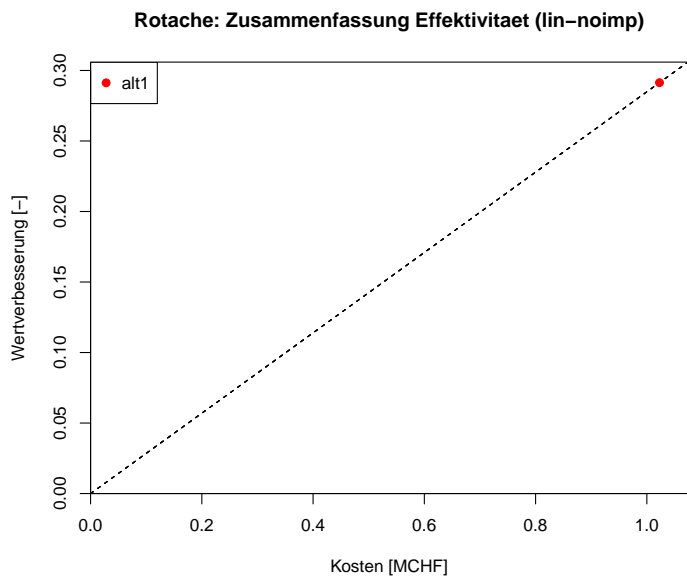


Abbildung A1.76: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.75 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fließstrecken.

A1.3.4 Chise

Die Chise ist der dritte rechtsseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees.

A1.3.4.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.77 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Chise. Die Chise

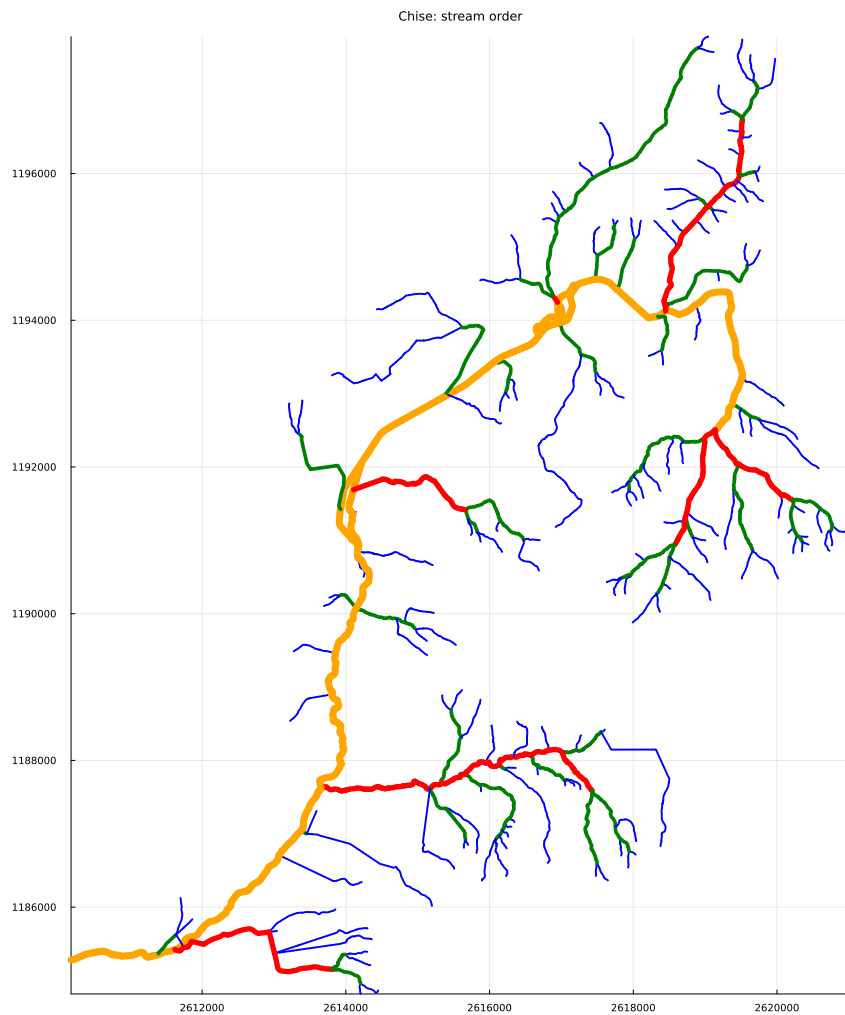


Abbildung A1.77: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

erreicht die Flussordnung 4.

A1.3.4.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.78 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Chise. Diese ist weitgehend in einem schlechten ökomorphologischen Zustand.

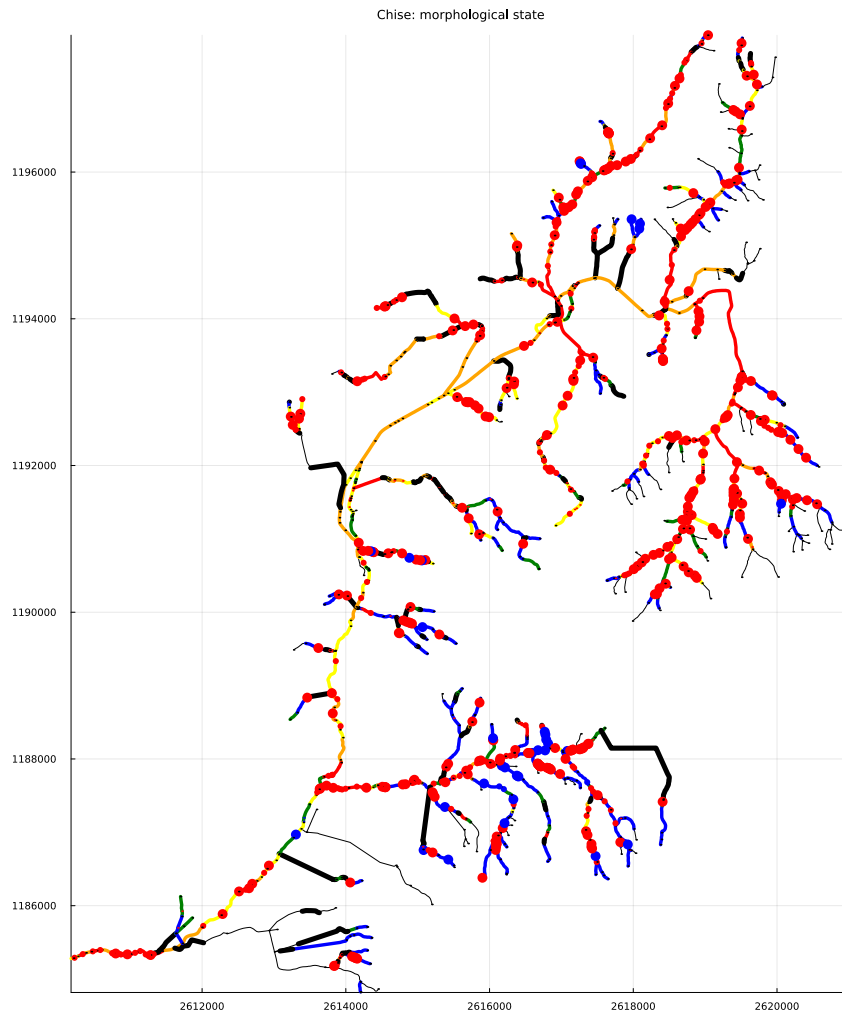


Abbildung A1.78: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

A1.3.4.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.79 zeigt die für diese Analyse verwendete Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. Für die angewandten Kriterien siehe

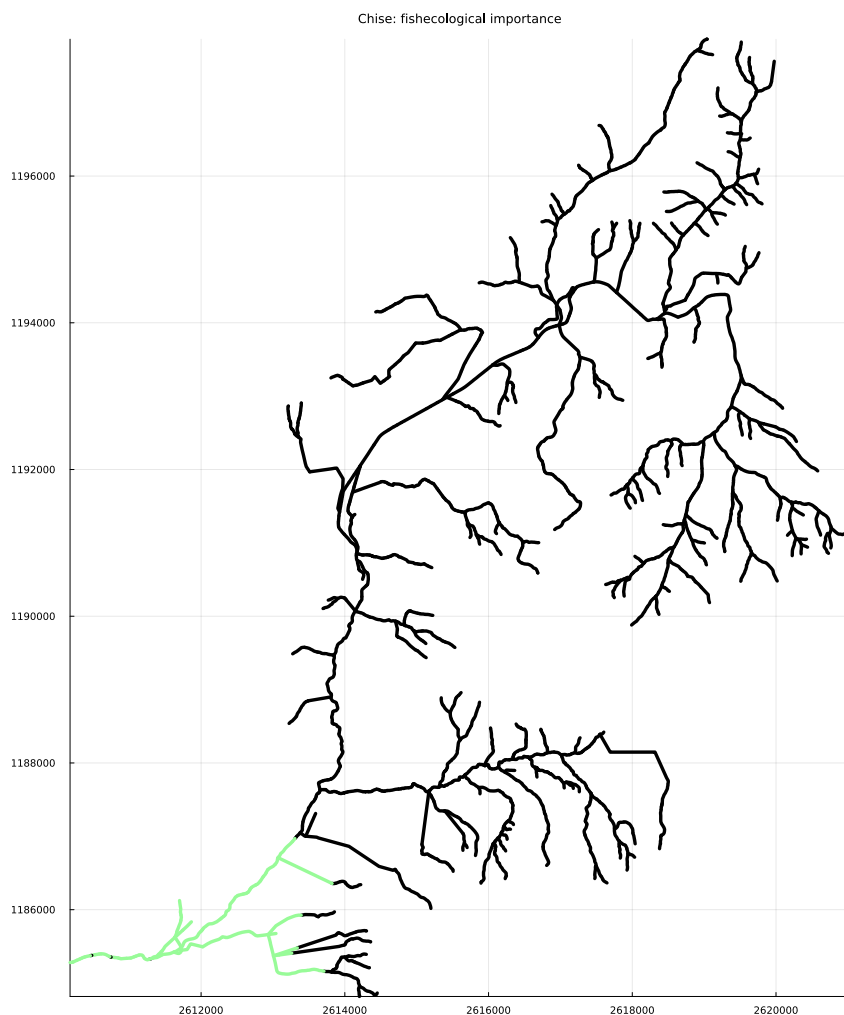


Abbildung A1.79: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Chise enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

Beginn von Kapitel A1.3. Da die Chise keine Auen von nationaler Bedeutung enthält und weist sie ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf (vergleiche mit dem linken unteren Teil der Abbildung A1.80).

A1.3.4.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildungen A1.80 und A1.81 zeigen die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Die Chise ist sehr stark künstlich

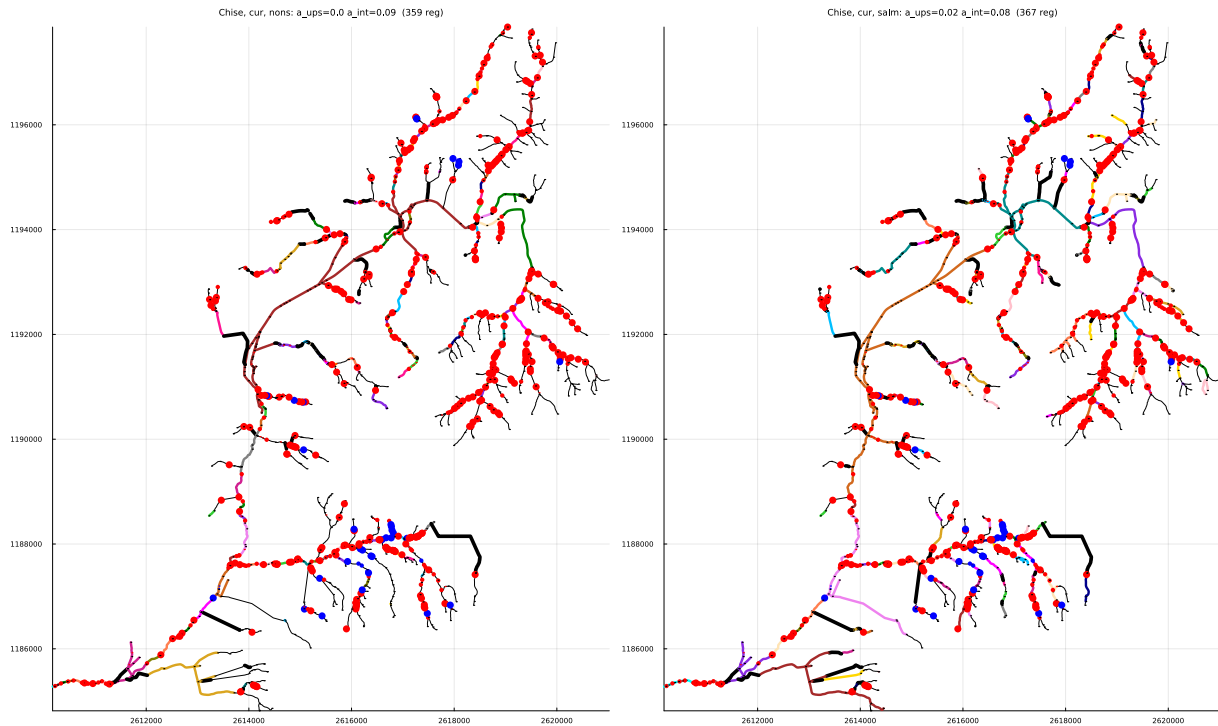


Abbildung A1.80: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{\text{ups}}=a_{\text{ups}}$ (3.1), $a_{\text{int}}=a_{\text{int}}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

fragmentiert, aber aufgrund des natürlichen Wanderhindernisses zwischen dem Unter- und dem Mittellauf wäre ein Fischeaufstieg in den Mittel- und Oberlauf auch unter naturnahen Bedingungen nicht möglich.

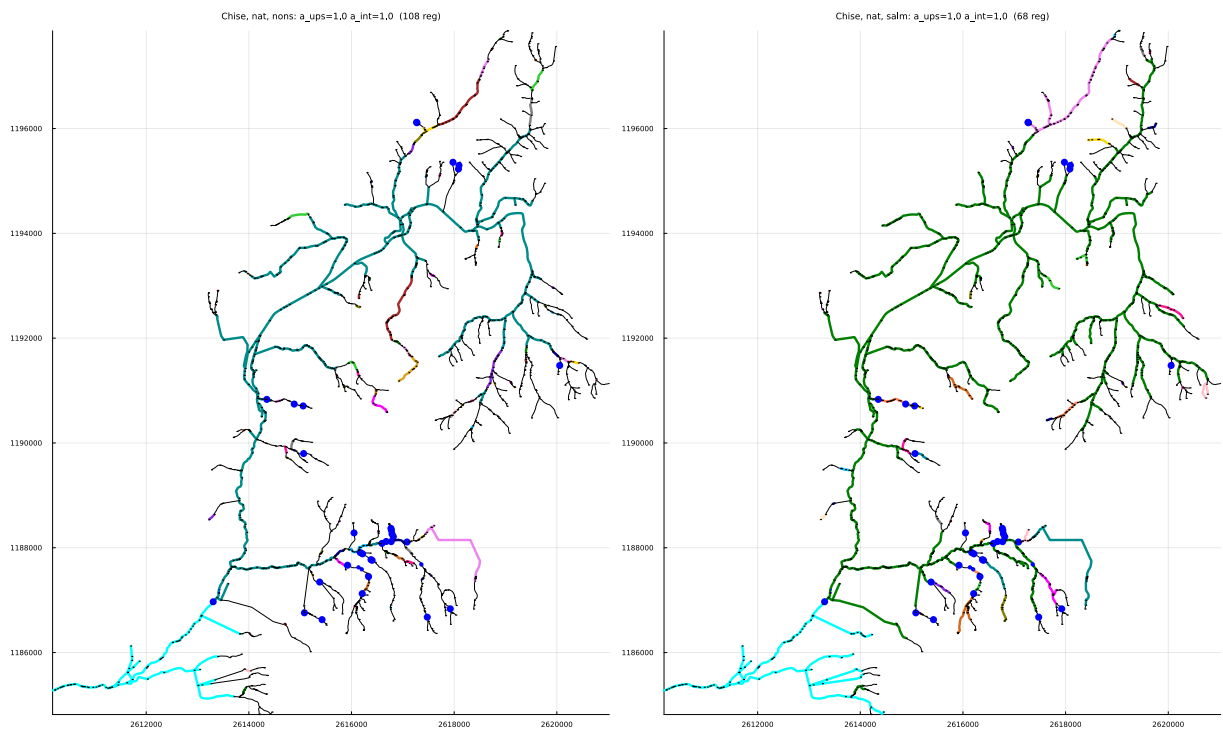


Abbildung A1.81: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen) (unten). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{ups}=a_{ups}$ (3.1), $a_{int}=a_{int}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.82 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Die starke Fragmentierung durch künstliche Hindernisse führt zu einer sehr schlechten Bewertung.

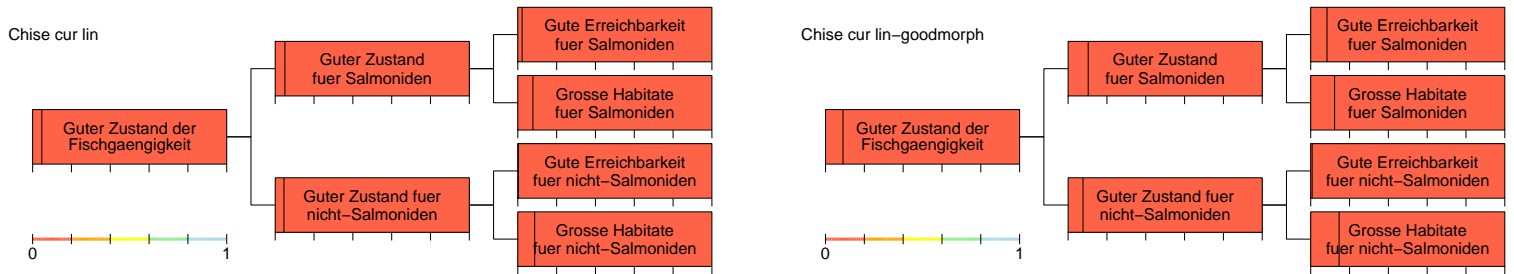


Abbildung A1.82: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

Fragmentierung durch künstliche Hindernisse führt zu einer sehr schlechten Bewertung.

A1.3.4.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.6 gibt einen

Var.	Anzahl ent- fernter Barrie- ren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	16	0 m	0.4 MCHF	Anschluss eines Teils des Unterlaufs der Chise an die Mündung
2	25	0 m	0.9 MCHF	Erweiterung der Variante 1

Tabelle A1.6: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Chise.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.83 bis A1.86 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.6 gelisteten Varianten.

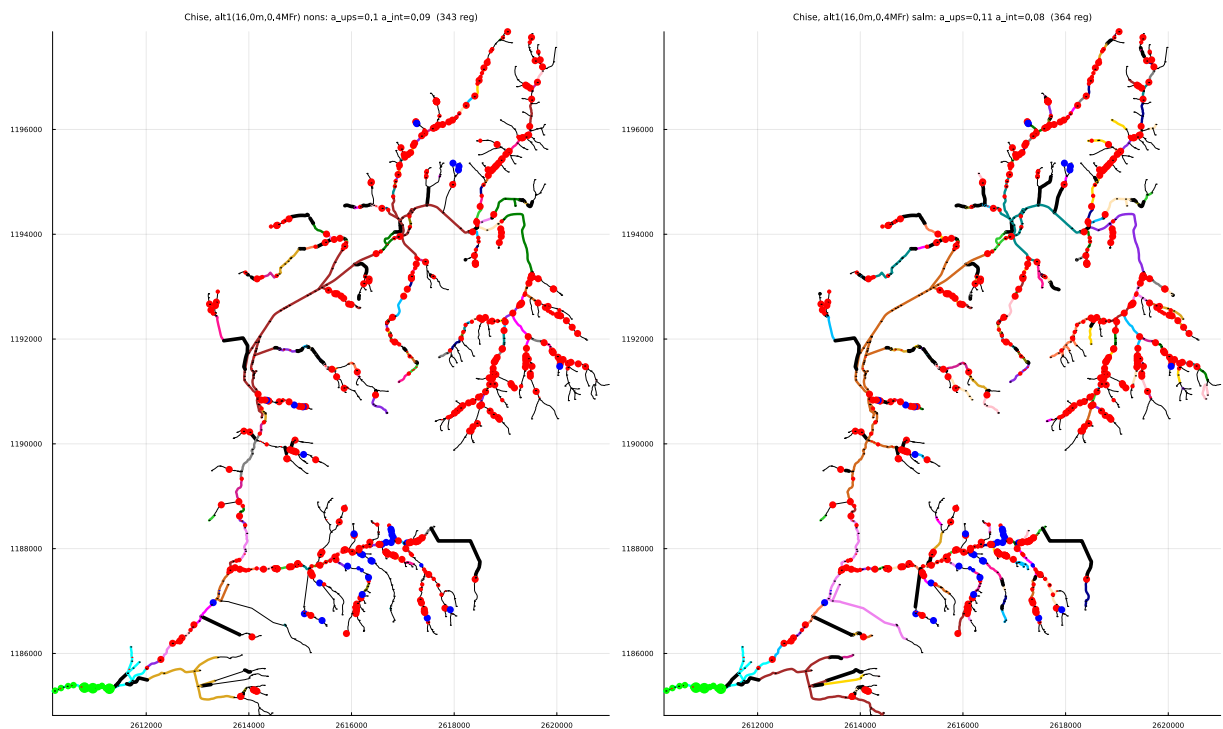


Abbildung A1.83: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.80 beschrieben.

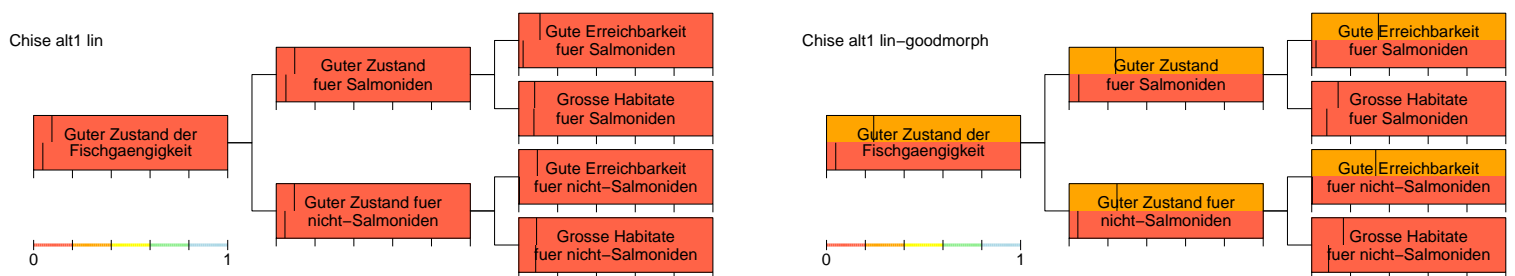


Abbildung A1.84: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.82 für eine Erklärung der Linien und Farben.

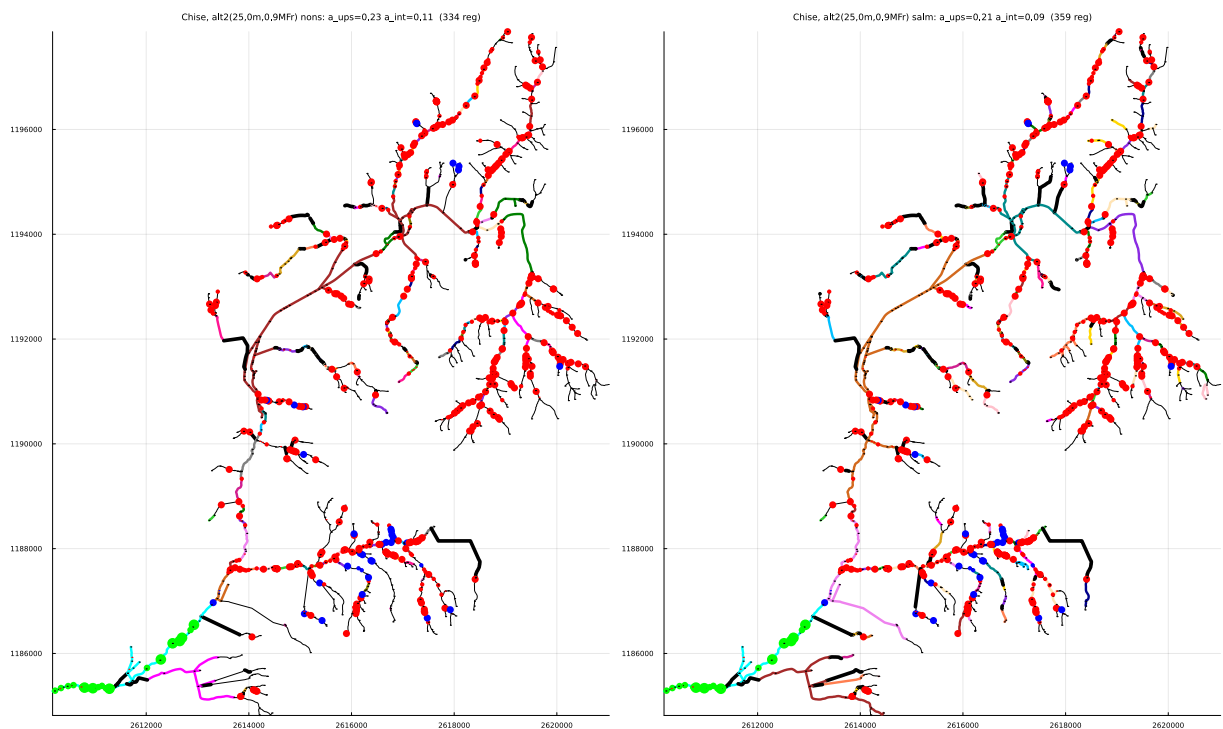


Abbildung A1.85: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.80 beschrieben.

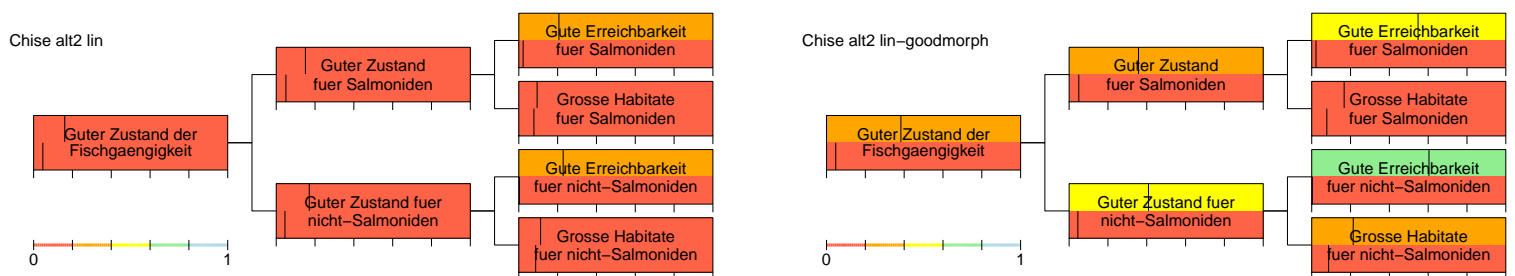


Abbildung A1.86: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.82 für eine Erklärung der Linien und Farben.

A1.3.4.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.87 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. In diesem Fall ist das Nutzen zu Kosten - Verhältnis für die beiden Varianten ähnlich. Mit der

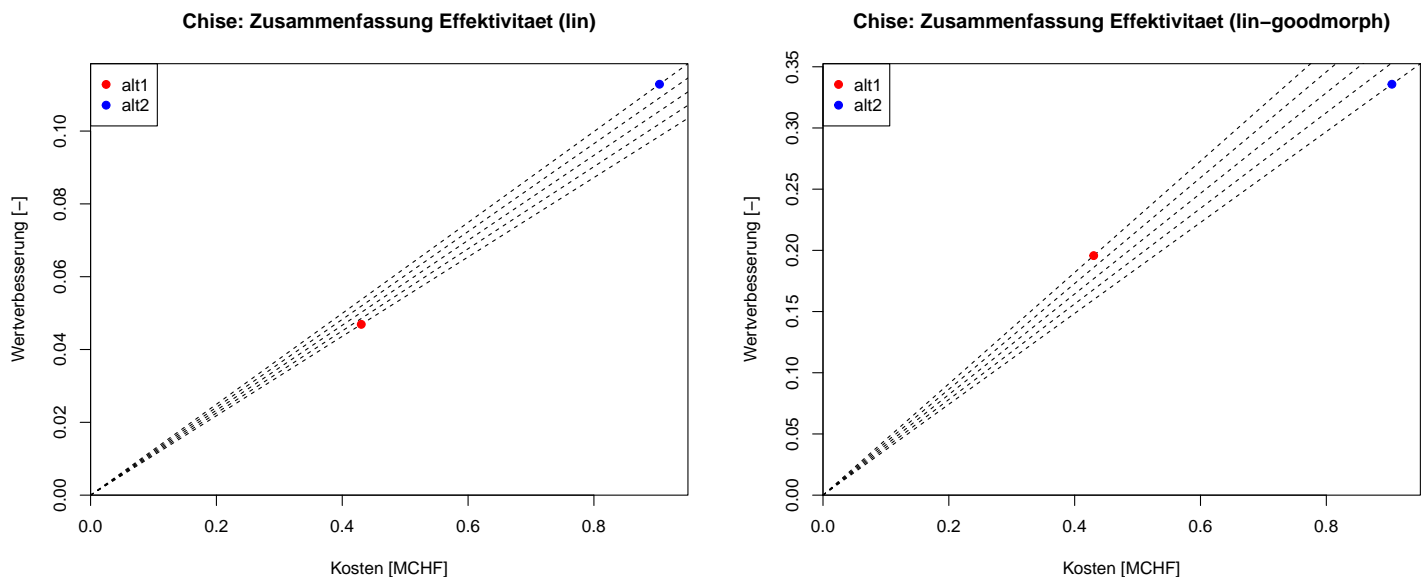
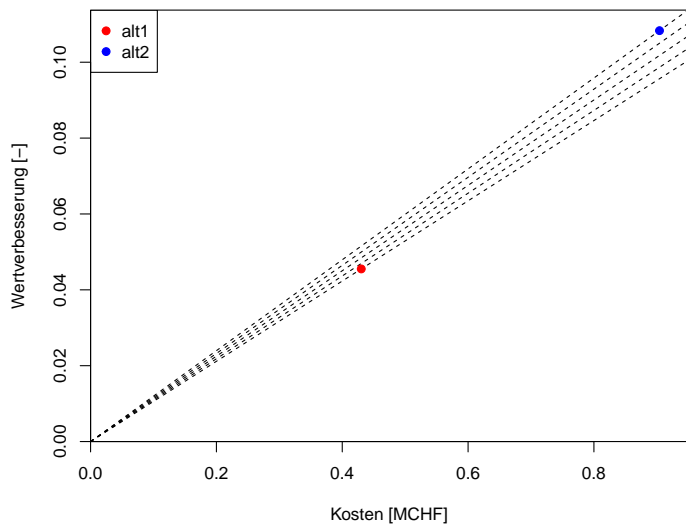


Abbildung A1.87: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

Variante 2 erreicht man mehr mit geringfügig geringeren Kosten pro Wertverbesserungseinheit. Derart kleine Unterschiede sind jedoch nicht signifikant, da sowohl die Kostenschätzung (sehr) ungenau ist als auch der Wertzuwachs. Der geringe Unterschied führt hier auch dazu, dass sich die Effizienz unter der Annahme eines guten morphologischen Zustands umkehrt. Es ist allerdings zu beachten, dass das nur die Annahme eines guten Zustandes ist, um zu sehen, inwiefern der Wertzuwachs durch den morphologischen Zustand der Fließstrecken beschränkt ist. Die Analyse schließt nicht die Kosten für eine Streckenrevitalisierung ein.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.88 die analogen Resultate zur Abbildung A1.87, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Der Unterschied zur Abbildung A1.87 ist gering.

Chise: Zusammenfassung Effektivitaet (lin-noimp)



Chise: Zusammenfassung Effektivitaet (lin-goodmorph-noimp)

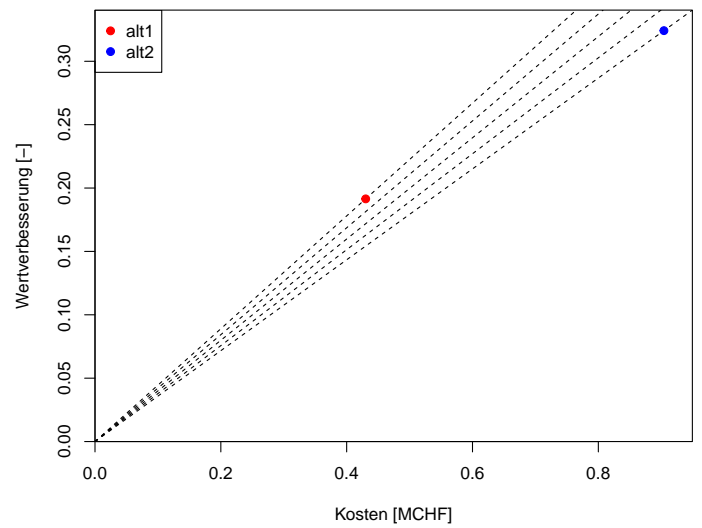


Abbildung A1.88: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.87 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fließstrecken.

A1.3.5 Giese

Die Giese ist der vierte rechtsseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees und der letzte rechtsseitige Zufluss vor Bern. Sie fliesst auf ihrem letzten Teil durch die rechtsseitigen Aare-Auen von nationaler Bedeutung.

A1.3.5.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.89 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Giese. Das Einzugs-

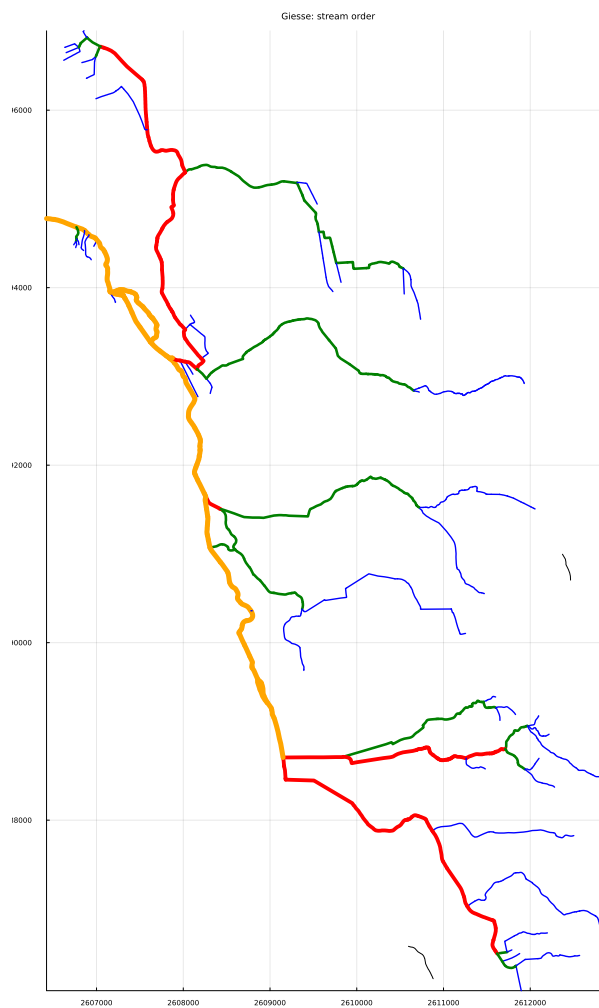


Abbildung A1.89: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

gebiet der Giese umfasst ca. 45 km² und die Giese erreicht die Flussordnung 4.

A1.3.5.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.90 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Giesse. Abgesehen von der guten Ökomorphologie in den Aare-Auen ist die Giesse sehr stark durch mor-

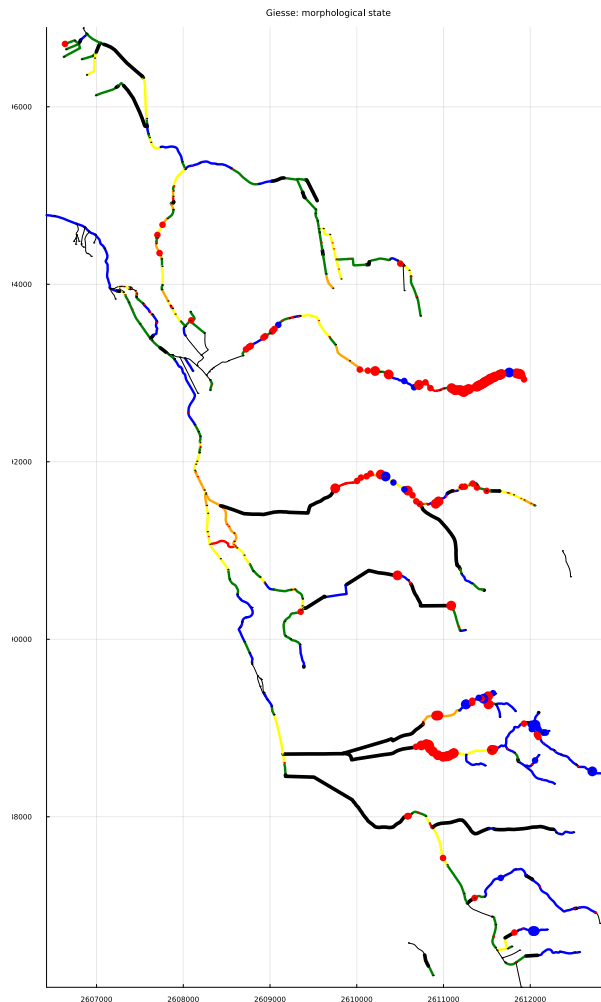


Abbildung A1.90: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

phologische Einschränkungen und sogar Eindolungen im Siedlungsraum geprägt. Die längeren Eindolungen lassen erkennen, dass der kosteneffizienten Revitalisierung Grenzen gesetzt sind.

A1.3.5.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.91 zeigt die verwendete Gewichtung zur Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung. Es zeigt sich hier (und in Abbildung A1.93), dass ein grosser Teil des Flussnetz-

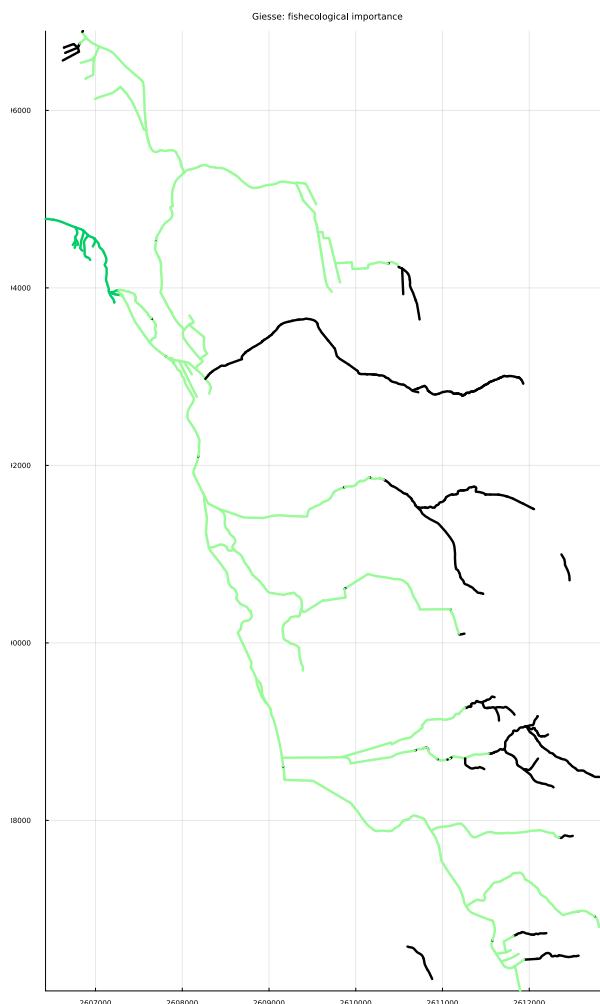


Abbildung A1.91: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Giesse enthält ausschliesslich positive Bewertungen für die im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region und für Auen von nationaler Bedeutung.

werks unter naturnahen Bedingungen für nicht-Salmoniden von der Mündung her erreichbar wäre. Zudem erkennt man im Unterlauf durch die mittelgrüne Färbung die Auen von nationaler Bedeutung.

A1.3.5.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildung A1.92 zeigt die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Es zeigt sich, dass nur ein geringer Teil

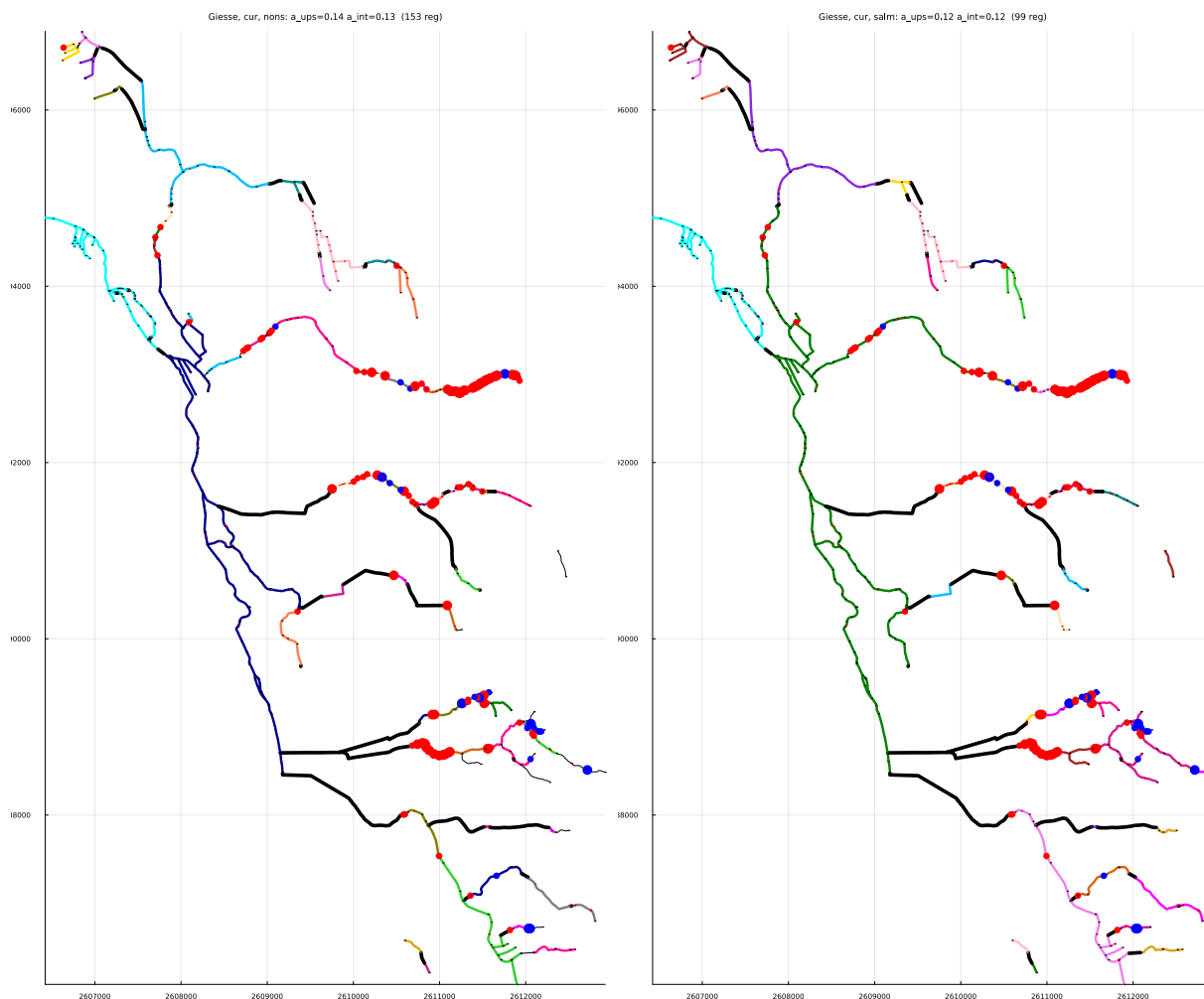


Abbildung A1.92: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{ups}=a_{ups}$ (3.1), $a_{int}=a_{int}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

der unter naturnahen Bedingungen von der Mündung aus erreichbaren Region unter aktuellen Bedingungen erreichbar ist. Zudem ist der Oberlauf insbesondere durch Eindolungen sehr stark fragmentiert.

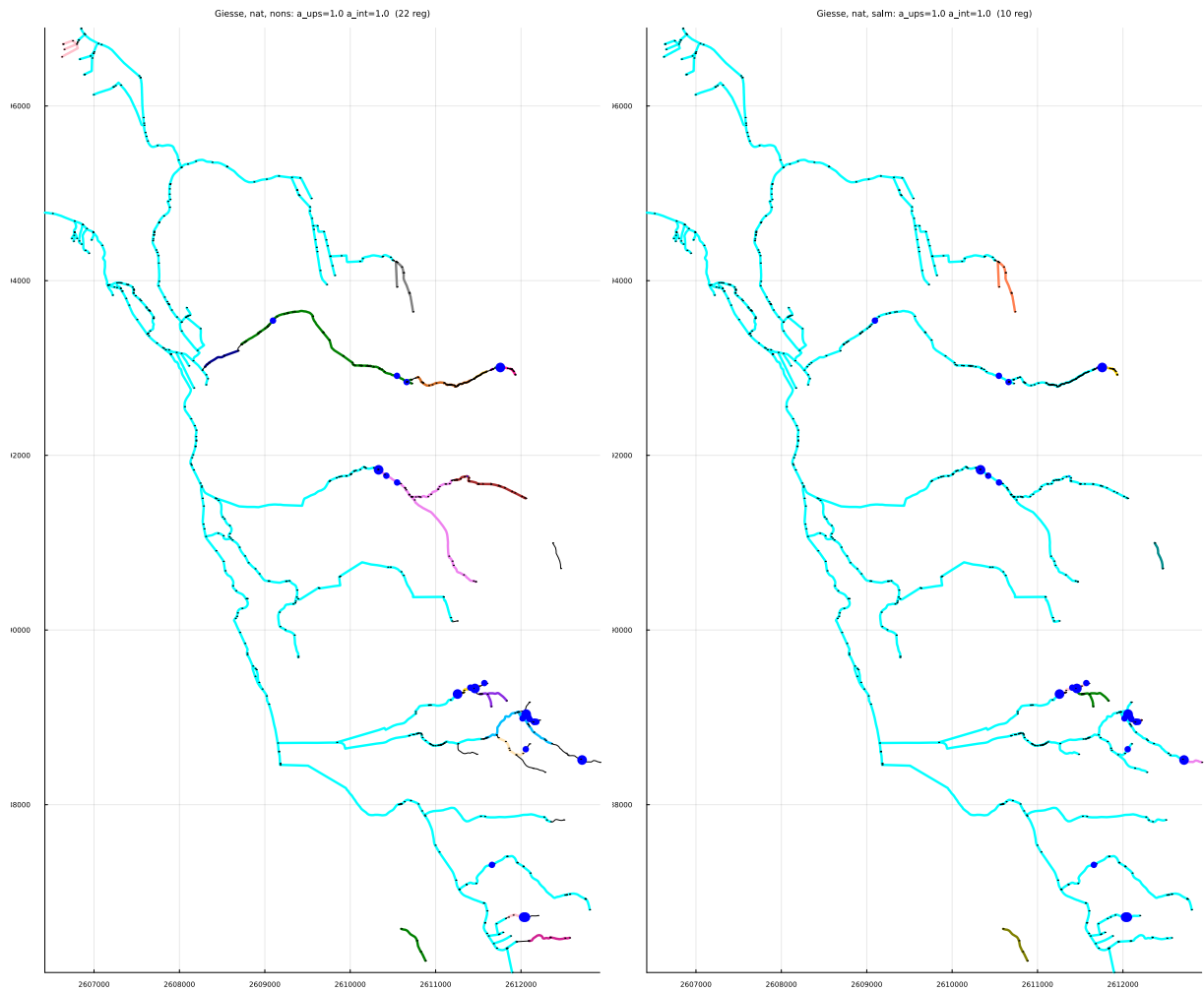


Abbildung A1.93: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{ups}=a_{ups}$ (3.1), $a_{int}=a_{int}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.94 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Entsprechend der

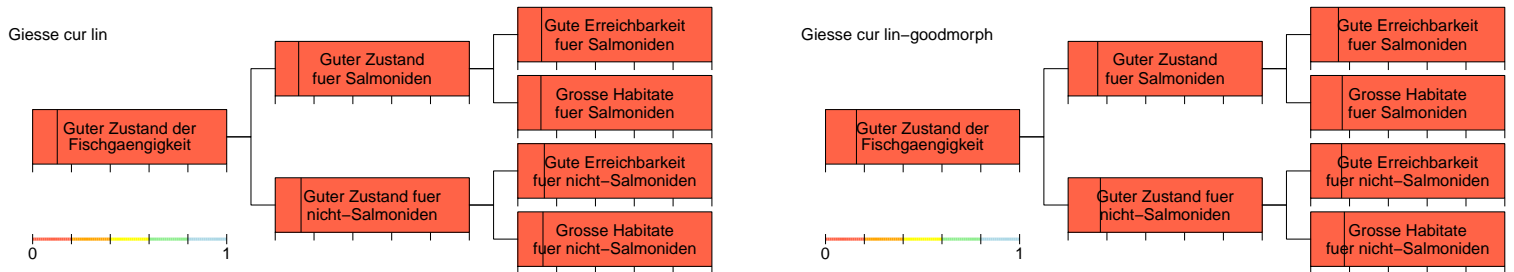


Abbildung A1.94: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

sehr starken Fragmentierung (siehe Abbildungen A1.92 und A1.93) ist der Zustand bezüglich der Längsvernetzung für Fische sehr schlecht.

A1.3.5.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.7 gibt einen

Var.	Anzahl ent-fernter Barrie-ren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	0	87 m	0.2 MCHF	Anschluss des Mittellaufs der Giesse an die Mündung
2	0	126 m	0.3 MCHF	Erweiterung der Variante 1 im nördlichsten Zufluss für Salmoniden
3	3	151 m	0.4 MCHF	Erweiterung der Variante 2 im nördlichsten Zufluss für nicht-Salmoniden

Tabelle A1.7: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Giesse.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.95 bis A1.100 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.7 gelisteten Varianten.

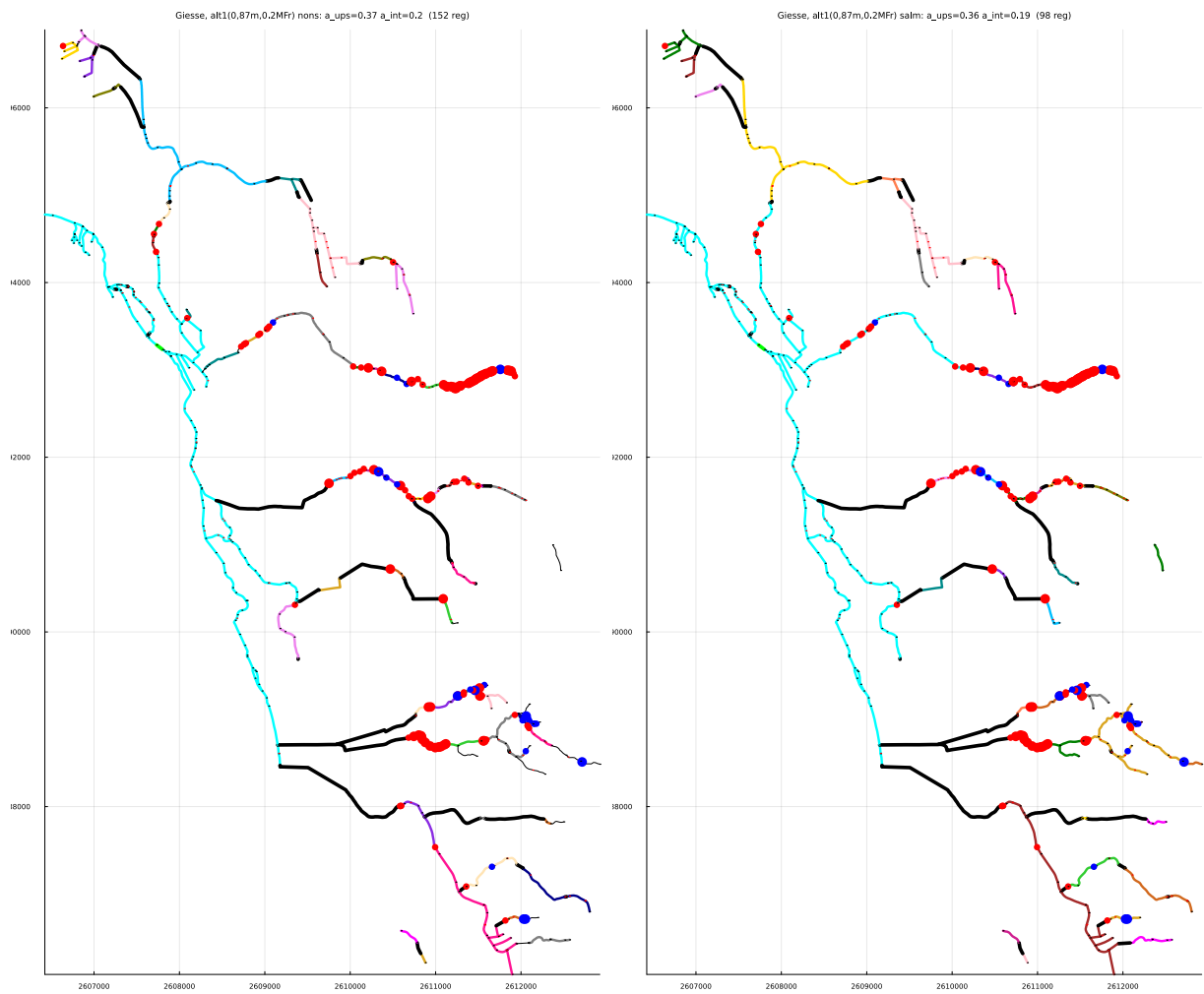


Abbildung A1.95: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.92 beschrieben.

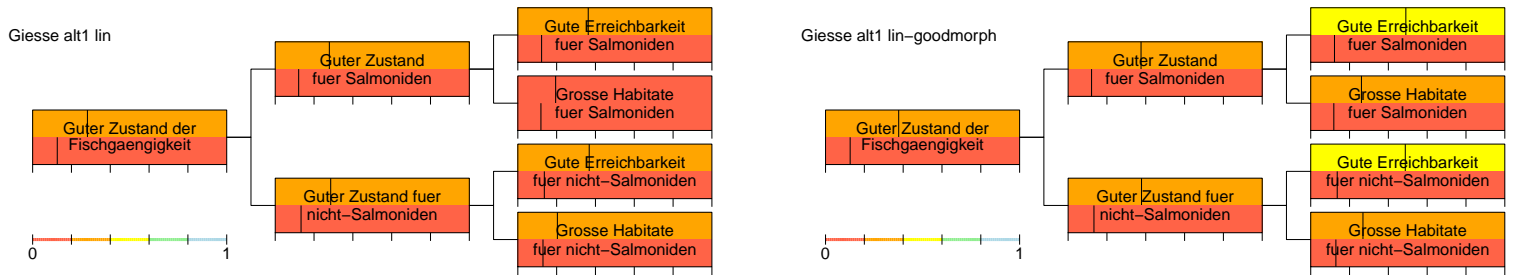


Abbildung A1.96: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.94 für eine Erklärung der Linien und Farben.

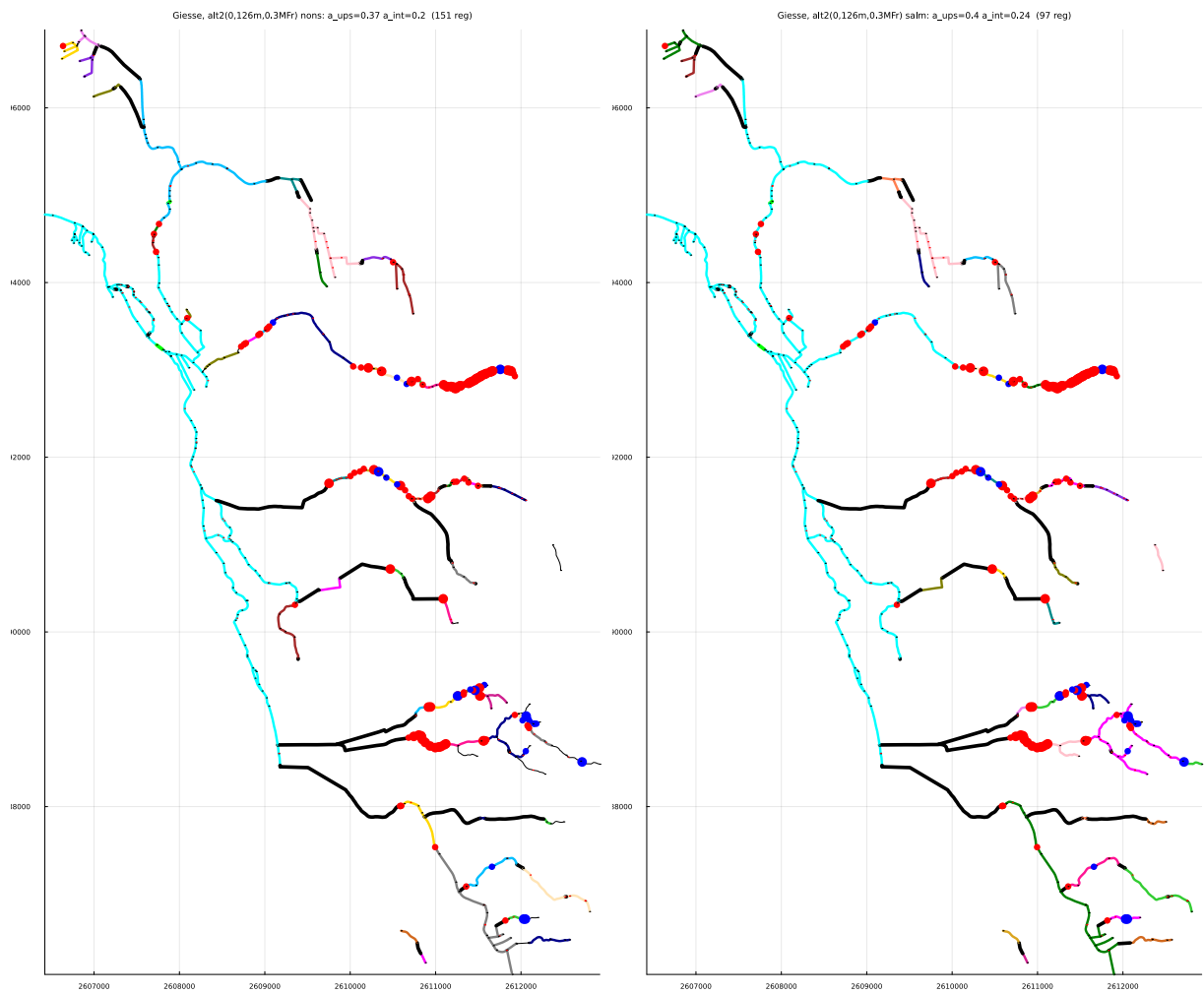


Abbildung A1.97: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.92 beschrieben.

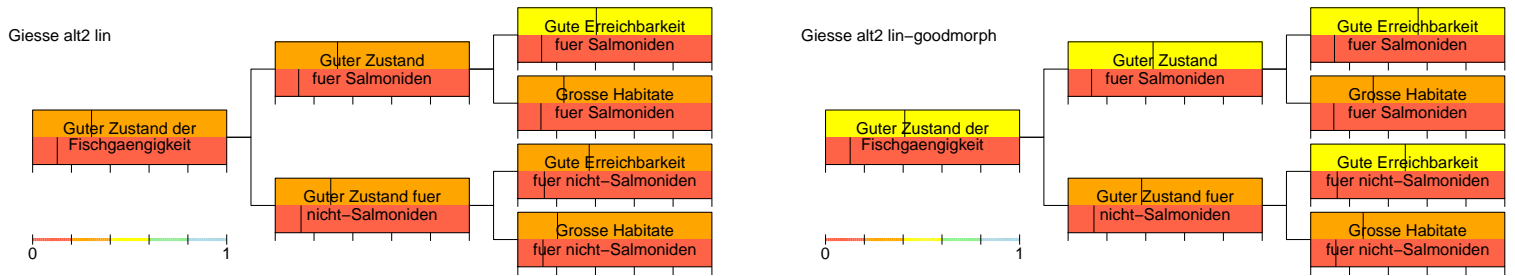


Abbildung A1.98: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.94 für eine Erklärung der Linien und Farben.

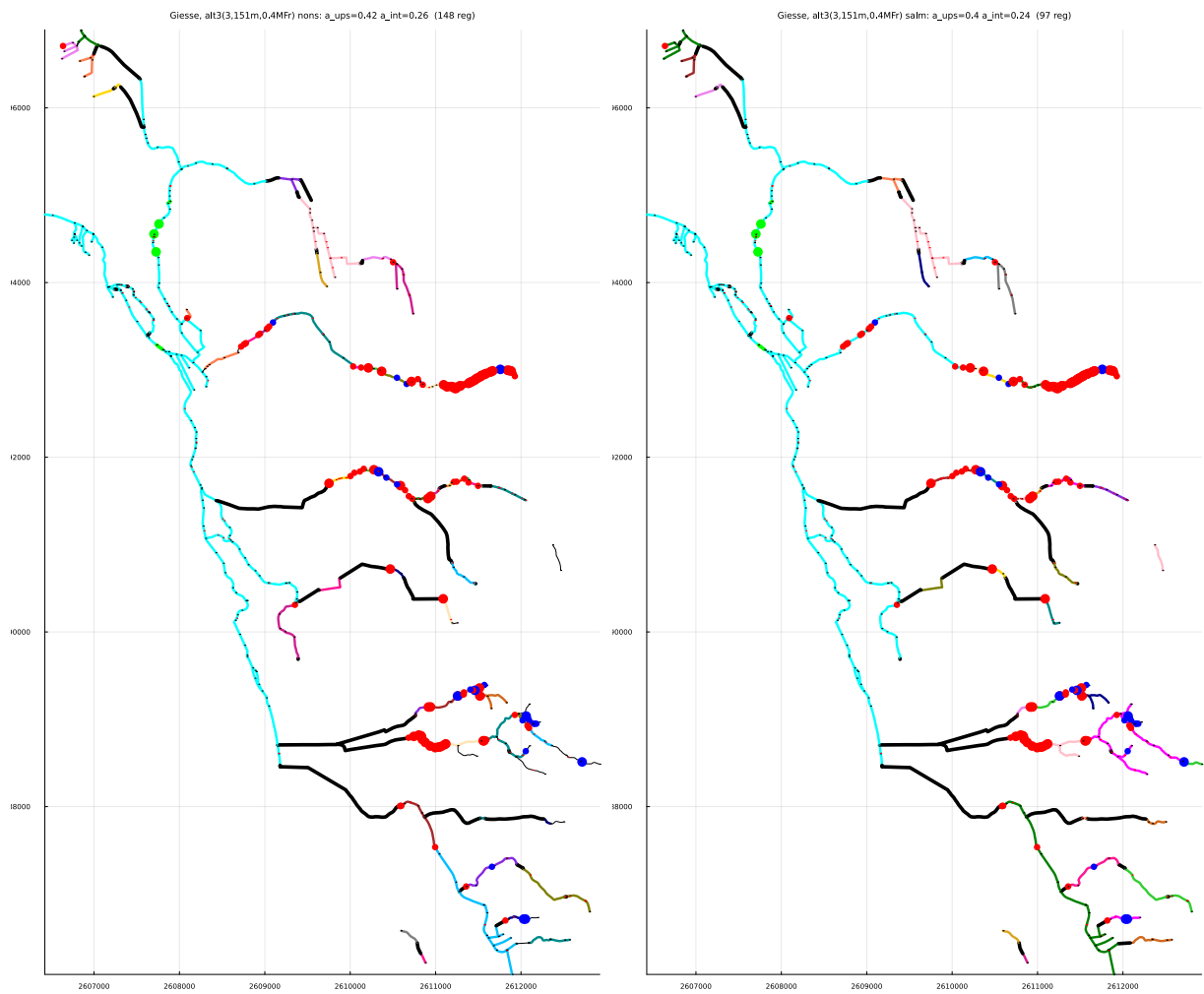


Abbildung A1.99: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.92 beschrieben.

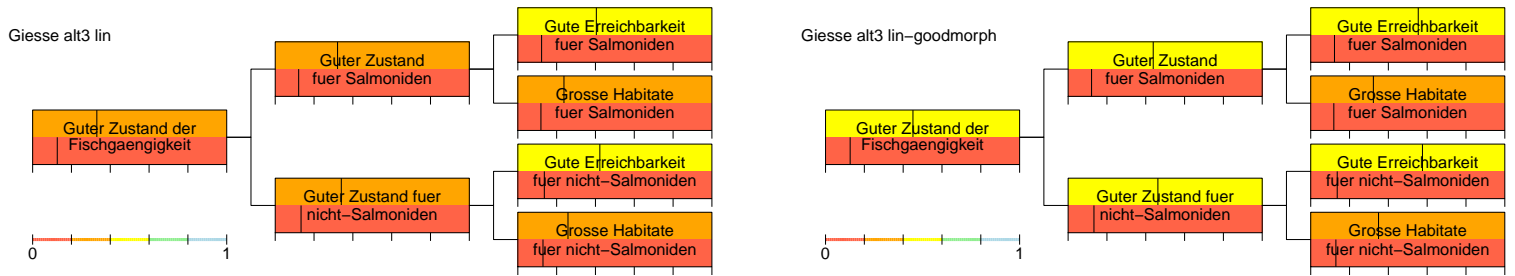


Abbildung A1.100: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.94 für eine Erklärung der Linien und Farben.

A1.3.5.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.101 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Offensichtlich weist die Variante 1 das beste Nutzen zu Kosten Verhältnis auf. Primär wegen

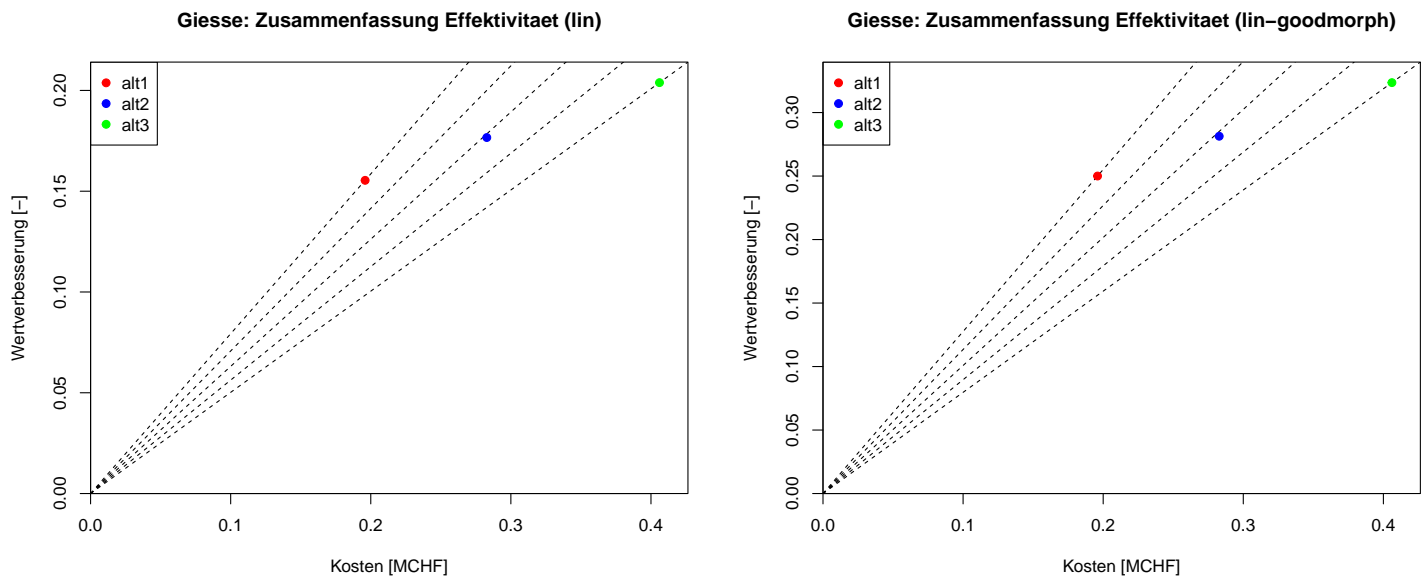


Abbildung A1.101: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

der hohen Kosten für die nötigen Ausdolungen.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.102 die analogen Resultate zur Abbildung A1.101, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Da die Auen bereits im aktuellen Zustand für die Fische von der Mündung her erreichbar sind, ergibt sich hier kein signifikanter Unterschied zur Bewertung mit Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung.

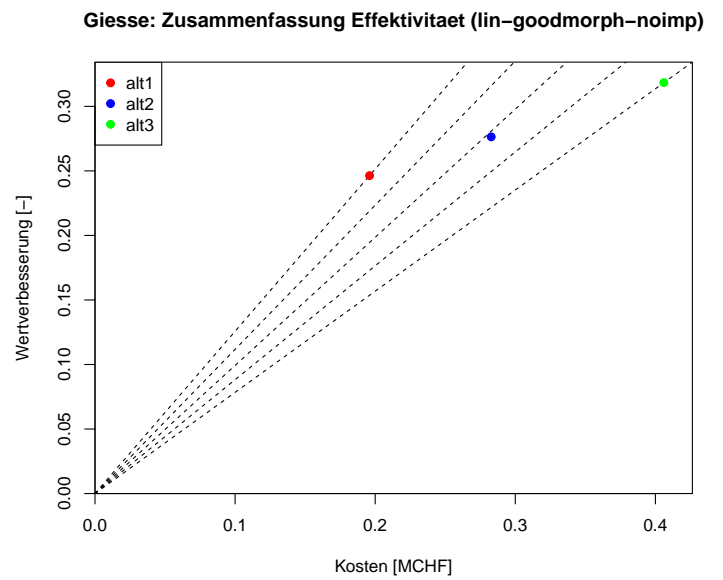
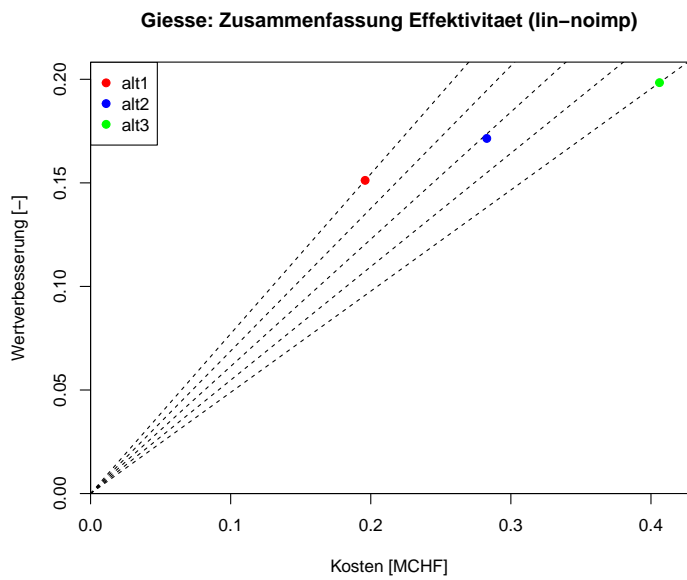


Abbildung A1.102: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.101 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fließstrecken.

A1.3.6 Gürbe

Die Gürbe fliesst vom Nordhang der Bergkette vom Gantrisch zum Stockhorn westlich der Aare (durch den Belpberg von dieser getrennt) ins Belpmoos und bildet letztlich den letzten linken Nebenfluss der Aare vor Bern. Kurz vor der Mündung fliesst rechtsseitig die Giesse zu. Diese Giesse ist nicht dieselbe wie die in Abschnitt A1.3.5 beschriebene, die rechtsseitig zur Aare fliesst. Die gemeinsame Eigenschaft beider Giessen sind das Durchfliessen von Auenlandschaften von nationaler Bedeutung bevor sie in die Aare bzw. in die Gürbe einmünden. Der letzte rechtsseitige Zufluss zur Gürbe durchfliesst die linksseitigen Auen der Aare während die in Abschnitt A1.3.5 beschriebene Giesse die rechtsseitigen Auen der Aare durchfliesst.

A1.3.6.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.103 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Gürbe. Das Einzugsgebiet der Gürbe umfasst ca. 140 km² und die Gürbe erreicht die Flussordnung 5.

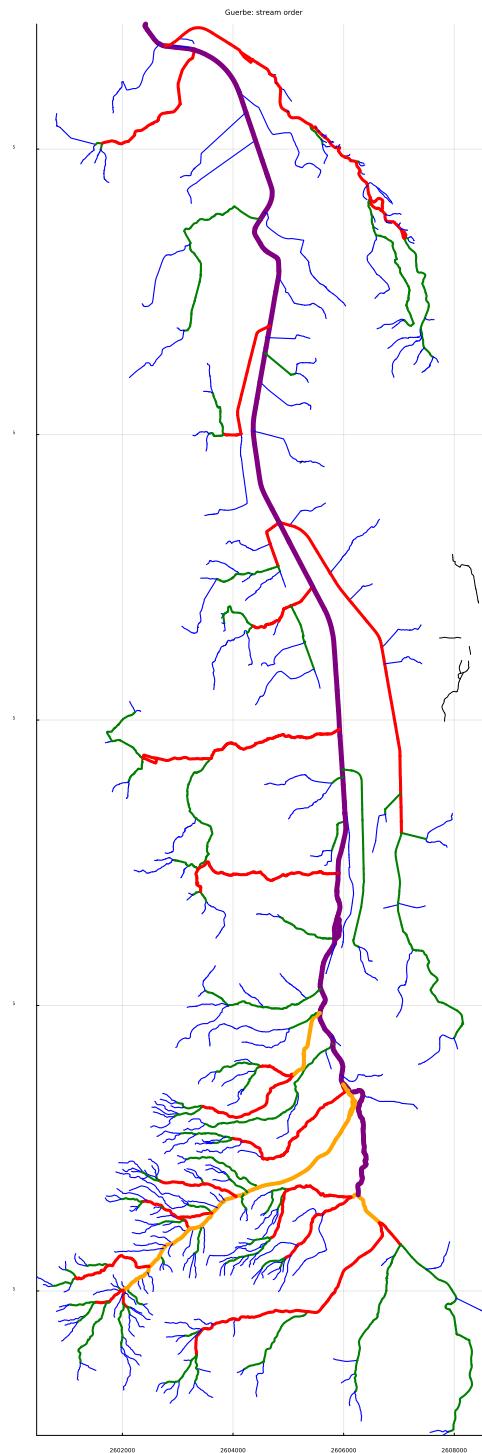


Abbildung A1.103: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

A1.3.6.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.104 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Gürbe. Klar zu erkennen ist der sehr gute bis gute ökomorphologische Zustand des untersten, rechten Nebenflusses, der Giesse im Bereich der linksseitigen Aare-Auen. Im Gegensatz dazu ist die Gürbe im stark landwirtschaftlich genutzten Gürbetal in einem schlechten morphologischen Zustand. Man beachte jedoch, dass unsere Daten von 2007 noch nicht die in den Jahren 2008-2009 erfolgten Hochwasserschutzmassnahmen und die damit verbundene Revitalisierung beinhalten. Für die konkrete Planung durch den Kanton, müssten hier nachgeführte Ökomorphologiedaten verwendet werden. Zur Illustration der Priorisierungsmethode ist aber genau diese Situation eines morphologisch schlechten Hauptflusses und eines Nebenflusses aus Auengebieten von nationaler Bedeutung von Interesse.

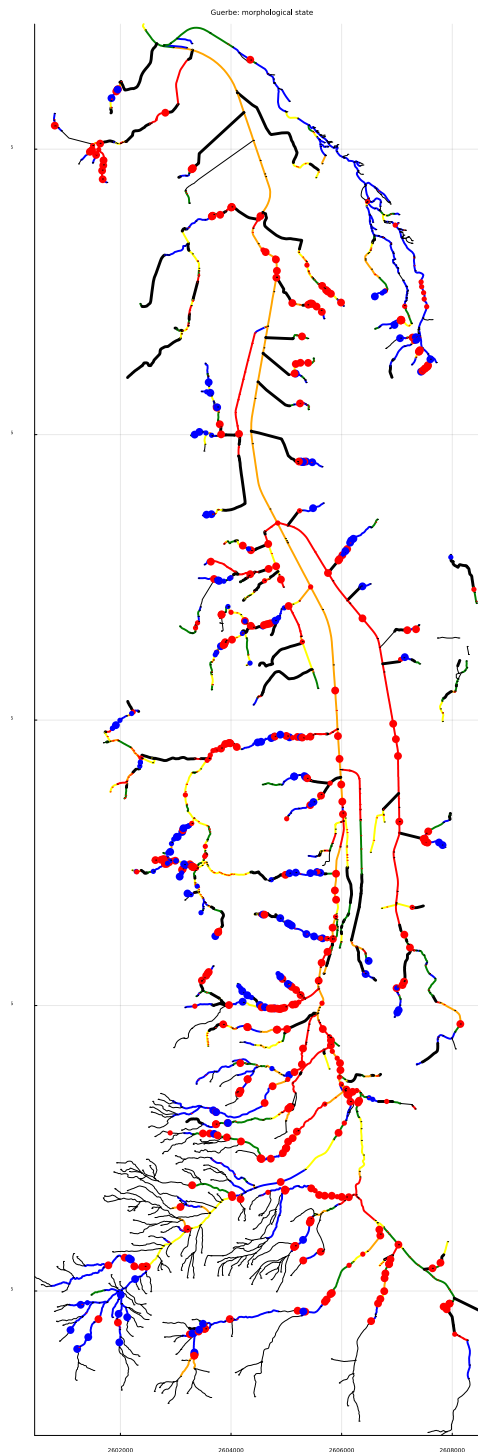


Abbildung A1.104: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

A1.3.6.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.105 zeigt die verwendete Gewichtung zur Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung. Für die angewandten Kriterien siehe Beginn von Kapitel A1.3. Es zeigt sich hier (und in Abbildung A1.107), dass ein grosser Teil des Hauptastes und der grösseren Nebenflüsse der Gürbe im naturnahen Zustand durch nicht-Salmoniden von der Mündung aus erreichbar wäre. Zusätzlich erkennt man in dunkelgrün die zusätzliche Erhöhung des Gewichts durch die Auen von nationaler Bedeutung im untersten rechten Nebenfluss.

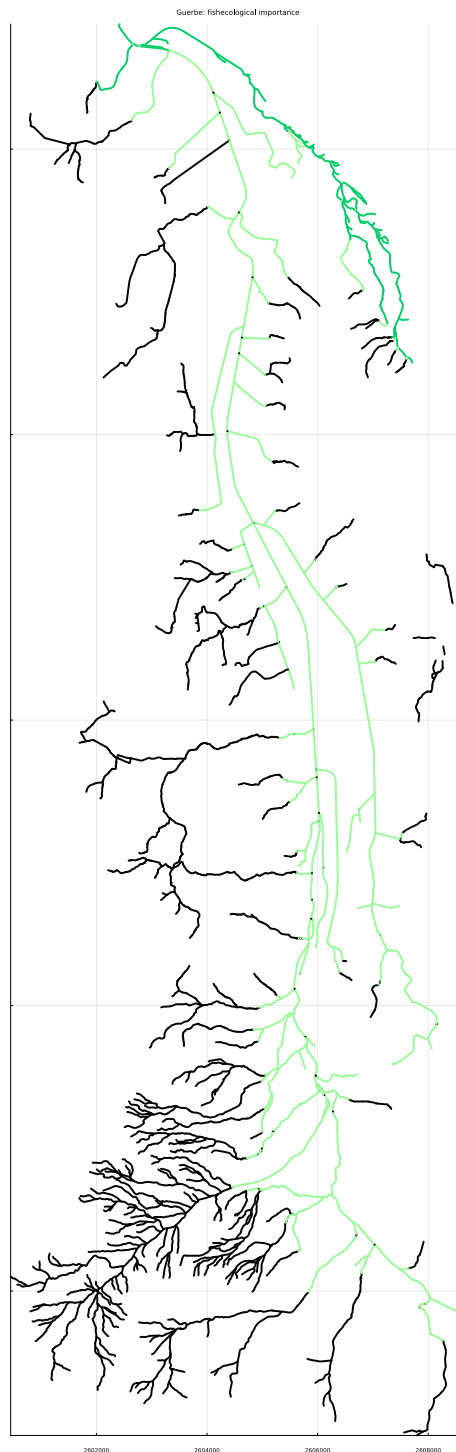


Abbildung A1.105: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Gürbe enthält ausschliesslich positive Bewertungen für die im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbare Region und für Auen von nationaler Bedeutung auf.

A1.3.6.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildung A1.106 zeigt die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Es zeigt sich, dass nur ein geringer Anteil der unter natürlichen Bedingungen von der Mündung her erreichbaren Region im aktuellen Zustand erreichbar ist. Zusätzlich ist auch der Oberlauf stark fragmentiert, weist aber auch längere zusammenhängende Regionen auf.

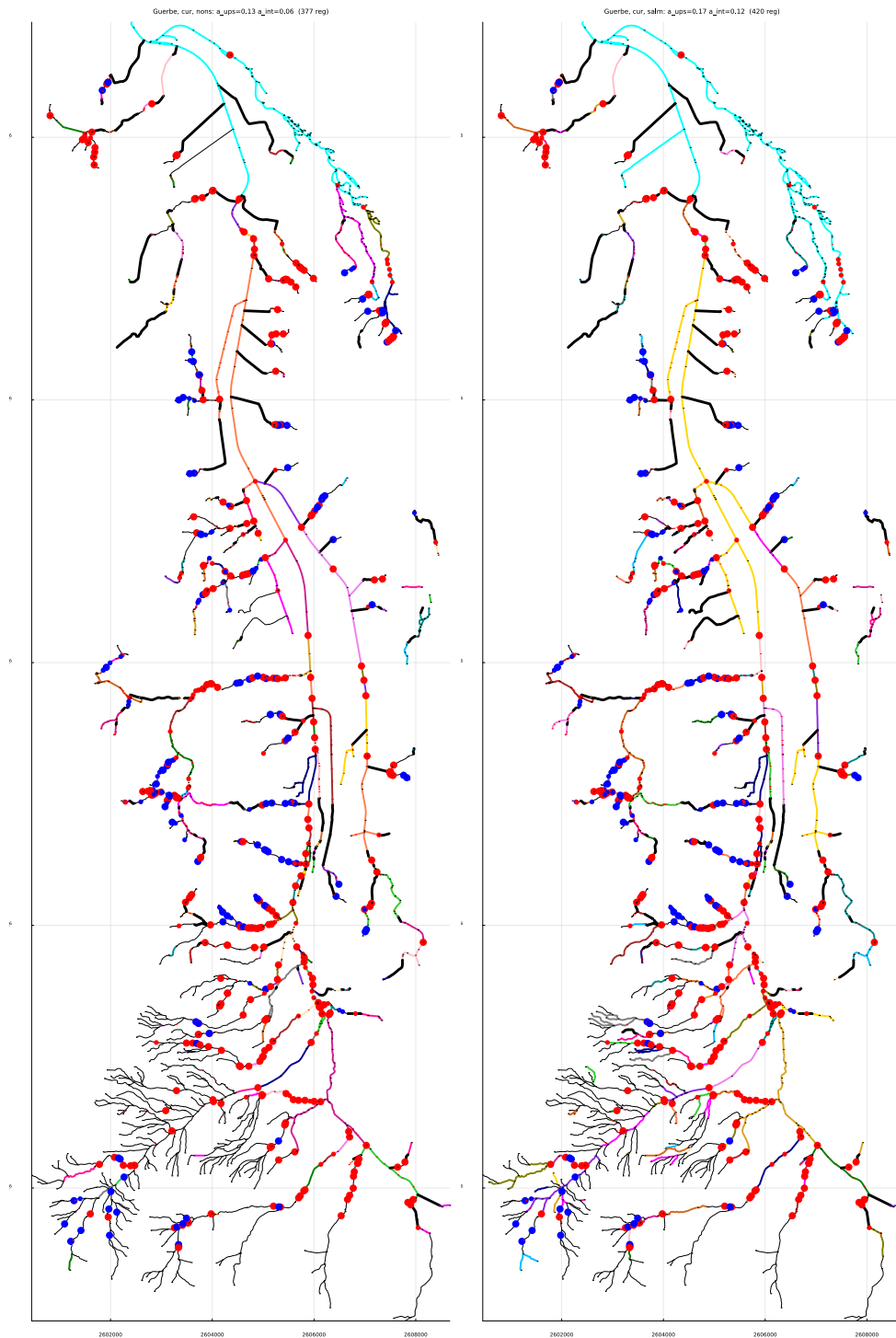


Abbildung A1.106: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{ups}=a_{ups}$ (3.1), $a_{int}=a_{int}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

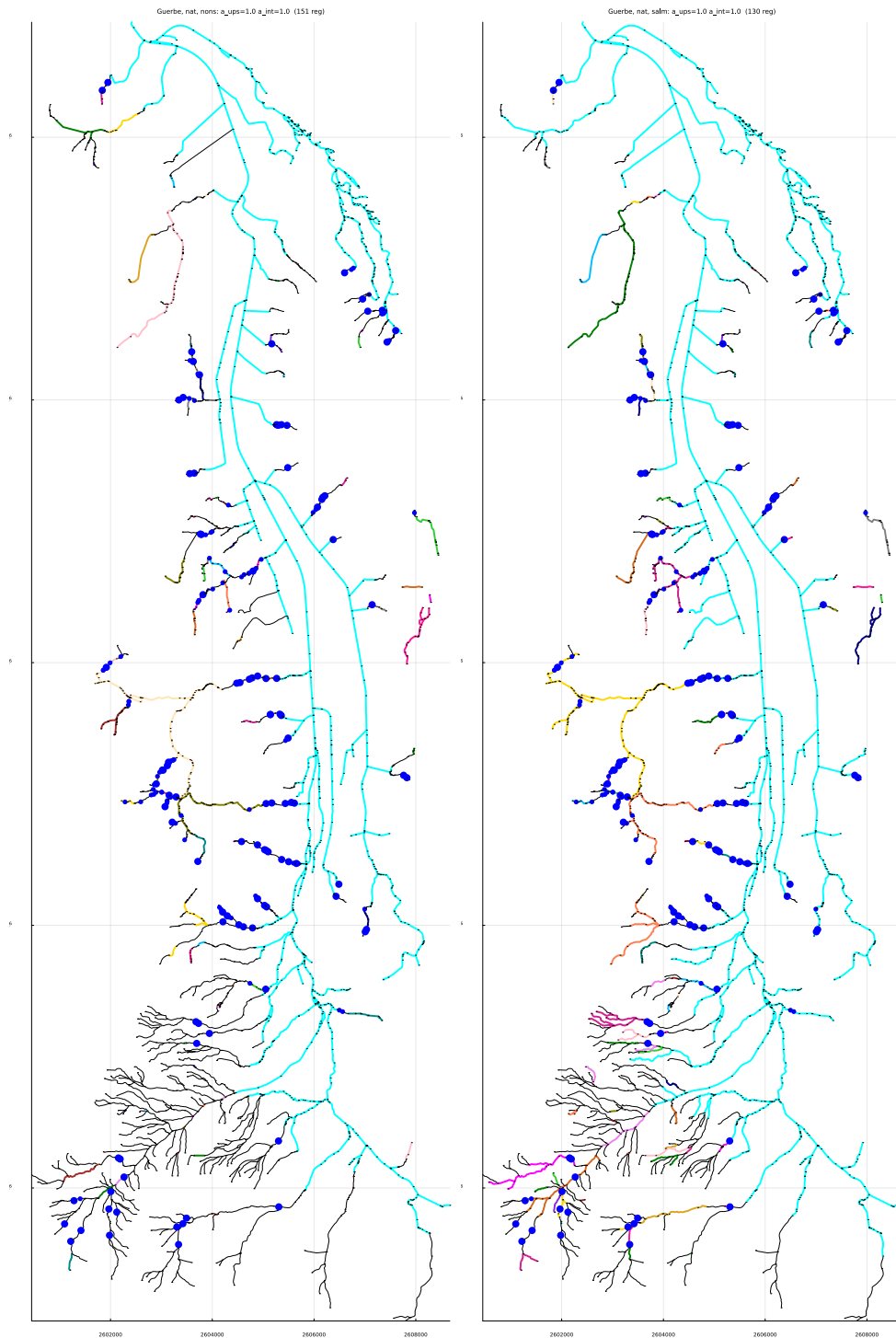


Abbildung A1.107: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: $a_{\text{ups}}=a_{\text{ups}}$ (3.1), $a_{\text{int}}=a_{\text{int}}$ (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.108 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Der geringe Anteil

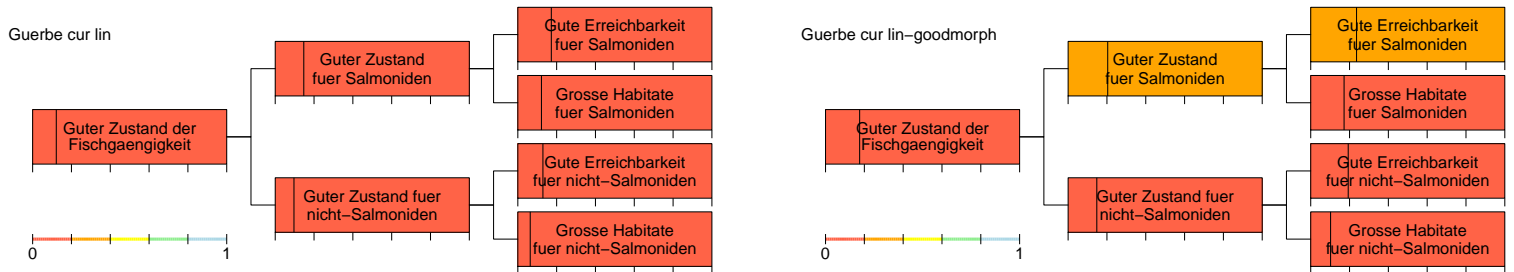


Abbildung A1.108: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

an der natürlicherweise von der Mündung her erreichbaren Region und die starke Fragmentierung führt durchwegs zu einem schlechten Zustand in Bezug auf die Fischmigration.

A1.3.6.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.8 gibt einen

Var.	Anzahl ent- fernter Barrie- ren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	7	0 m	0.4 MCHF	Erweiterung des untersten rechtsseitigen Nebenflusses für nicht-Salmoniden
2	15	0 m	1.9 MCHF	Erweiterung der Variante 1 auf den unteren Mittellauf der Gürbe
3	19	0 m	2.4 MCHF	Erweiterung der Variante 2 im Mittellauf
4	22	0 m	2.6 MCHF	Erweiterung der Variante 3 im Mittellauf
5	29	0 m	3.0 MCHF	Erweiterung der Variante 4 auf den zweituntersten grossen rechtsseitigen Nebenfluss

Tabelle A1.8: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Guerbe.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.109 bis A1.118 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.8 gelisteten Varianten.

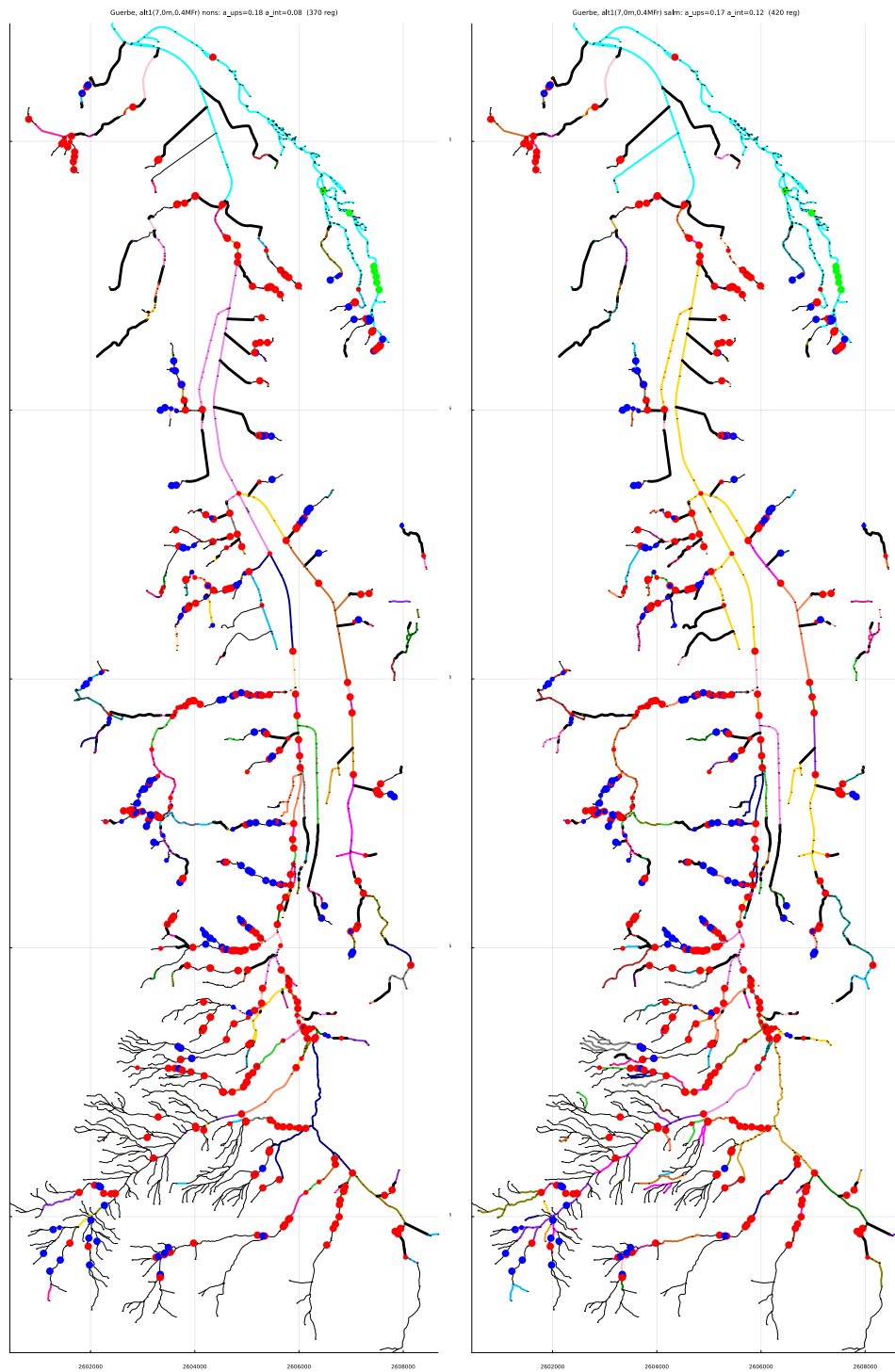


Abbildung A1.109: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

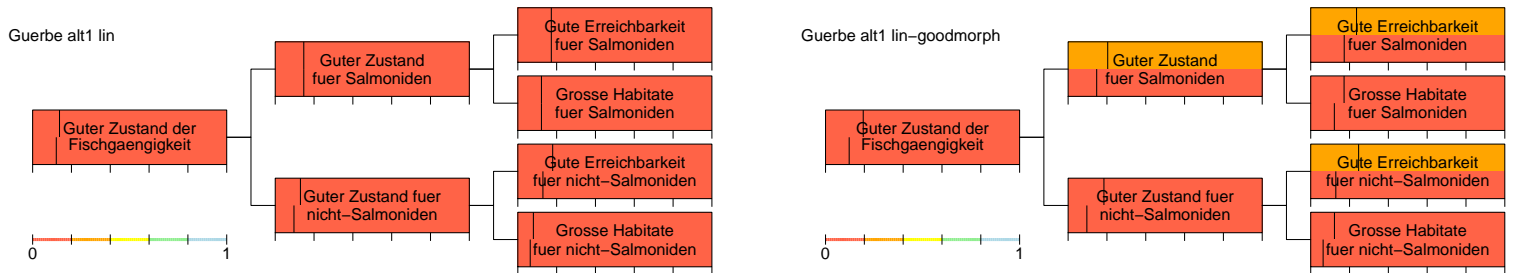


Abbildung A1.110: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

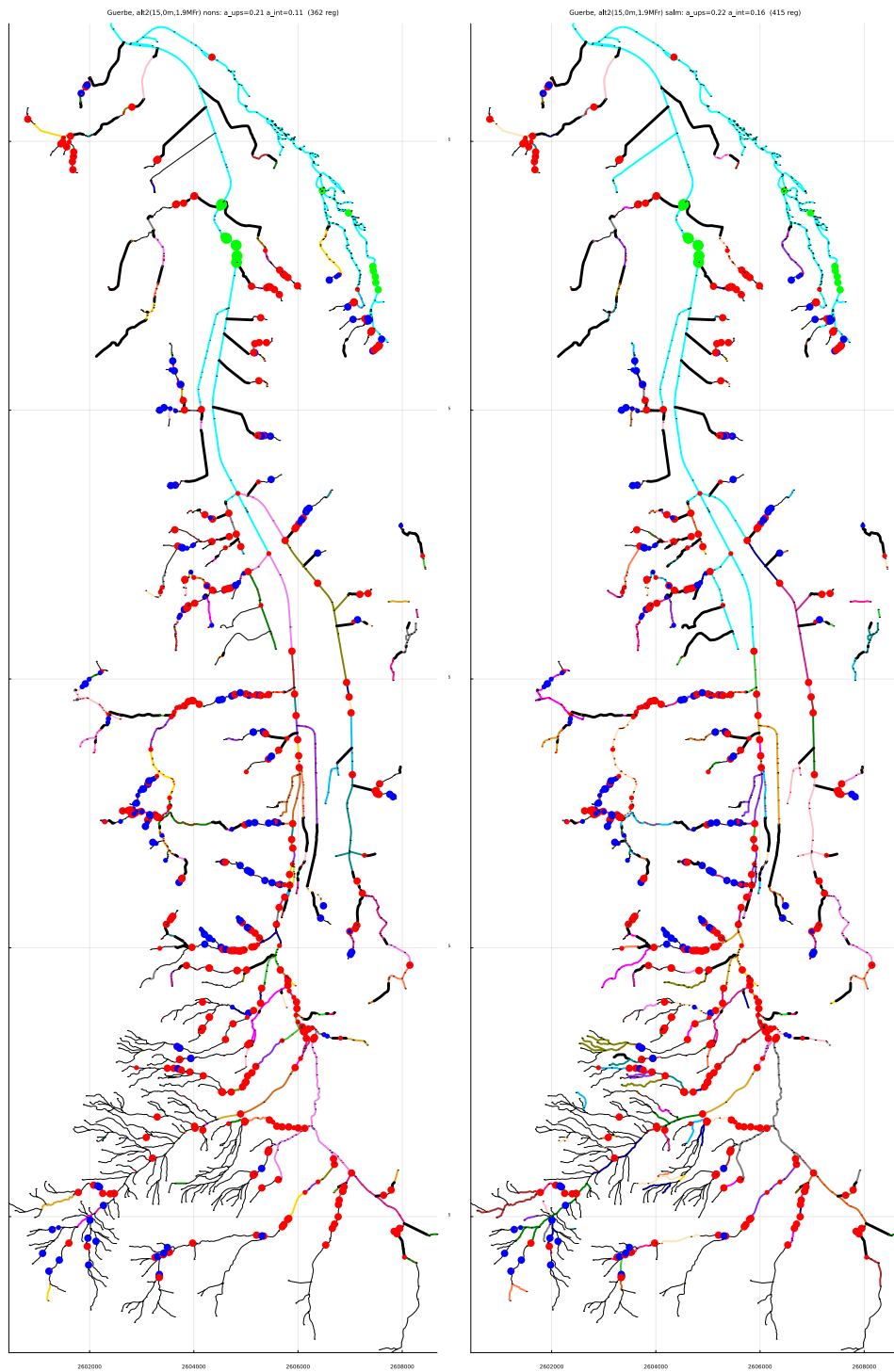


Abbildung A1.111: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

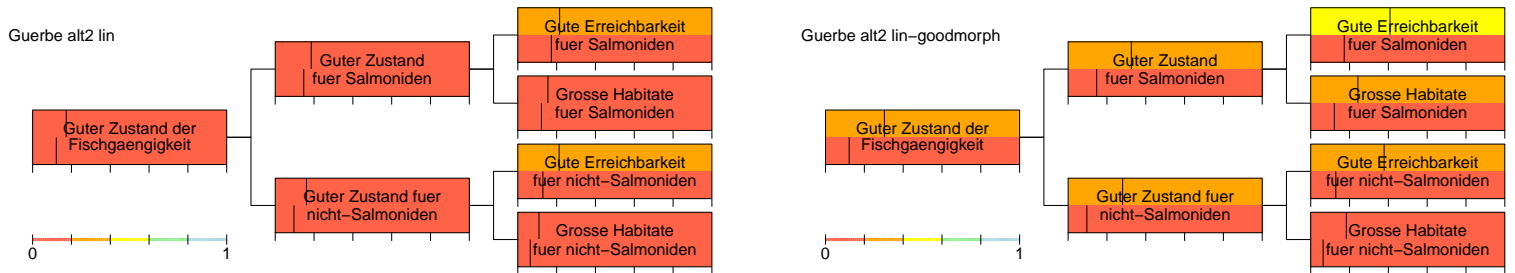


Abbildung A1.112: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

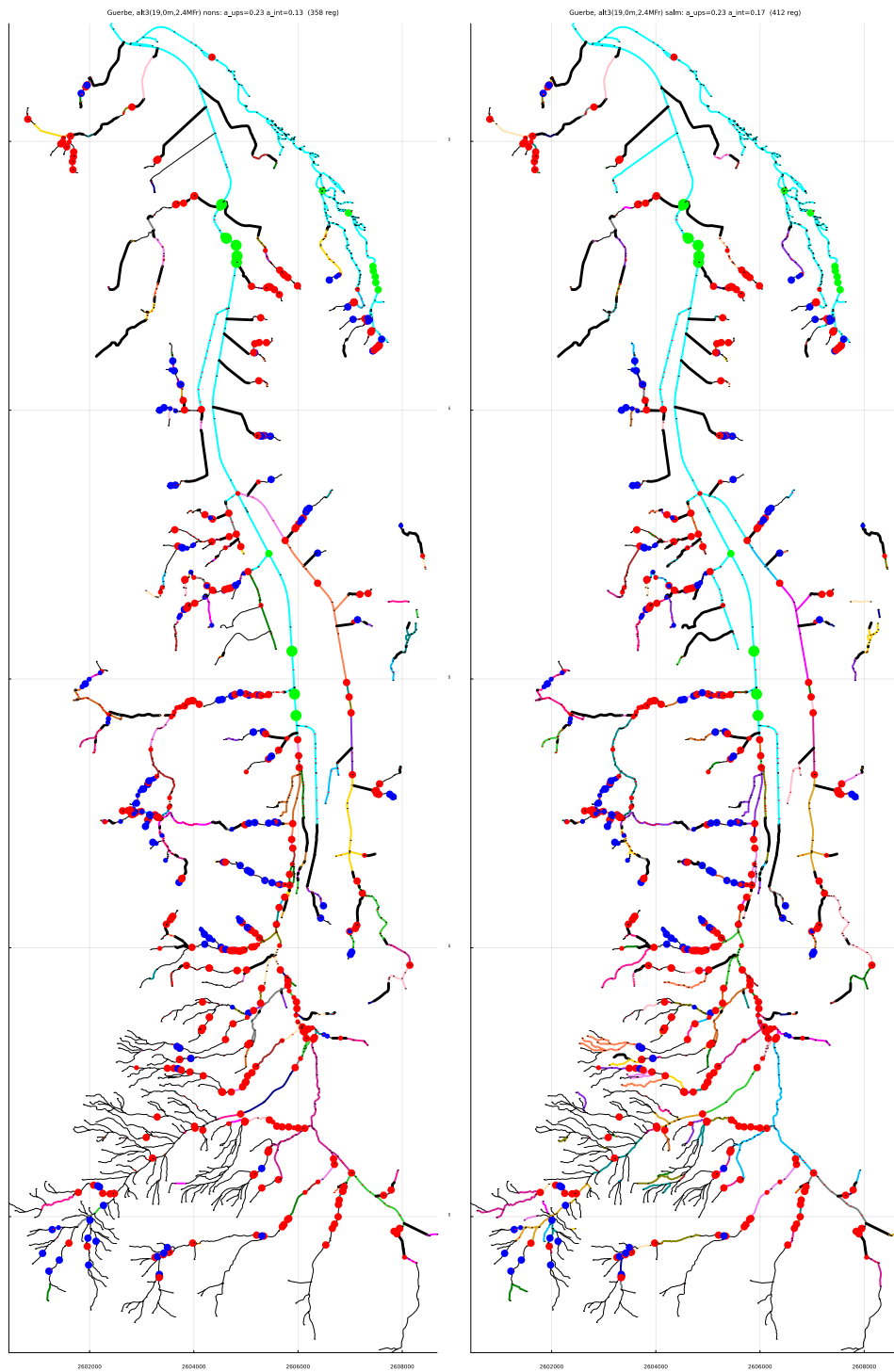


Abbildung A1.113: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

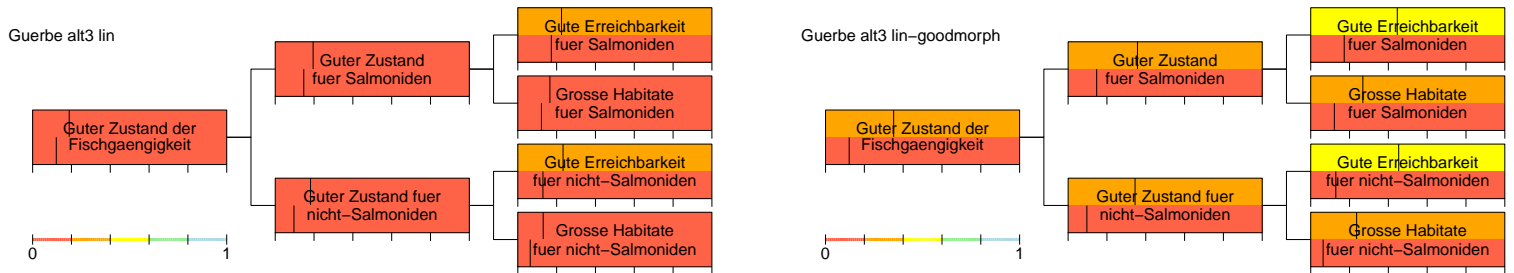


Abbildung A1.114: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

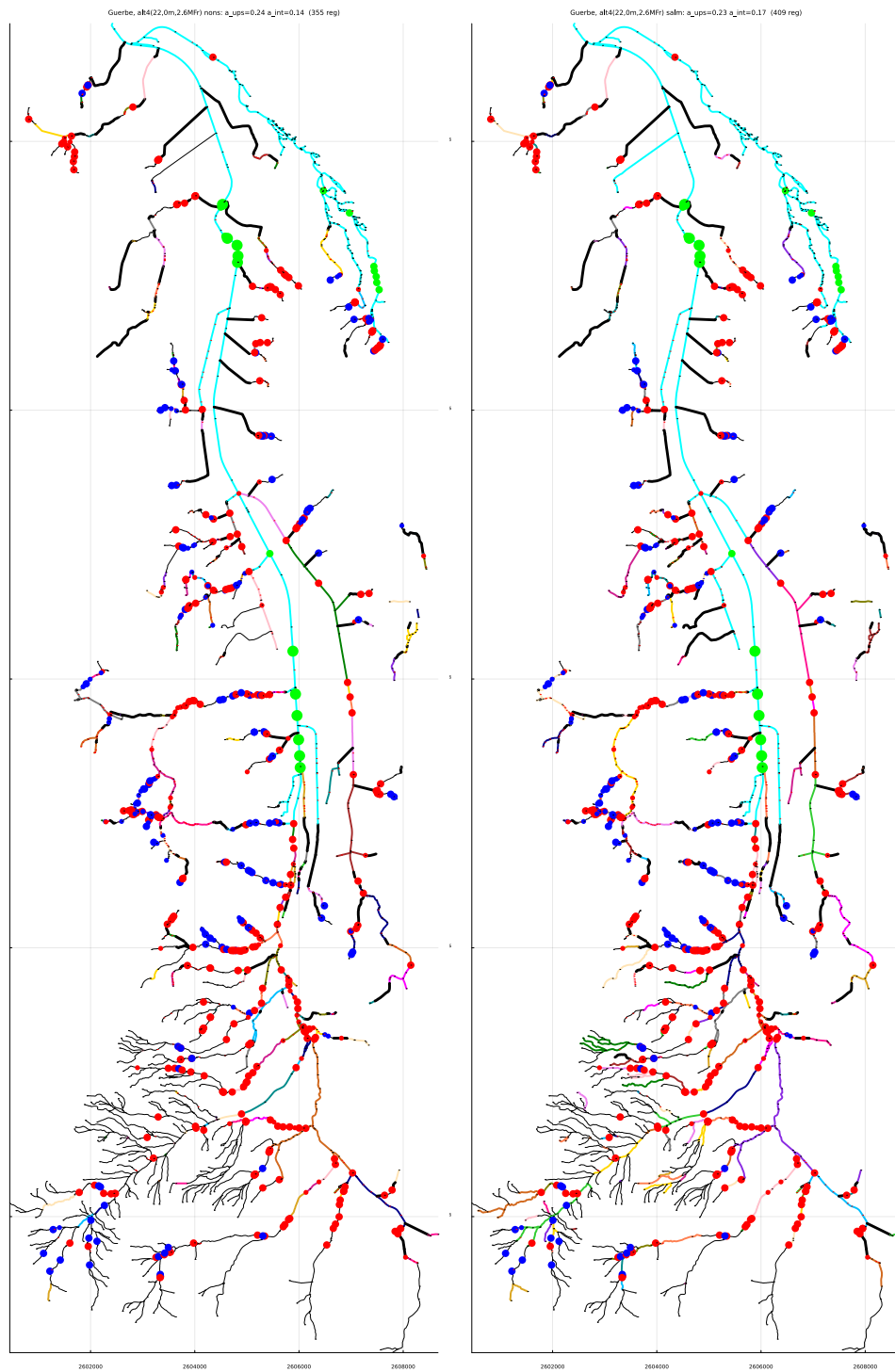


Abbildung A1.115: Variante 4. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

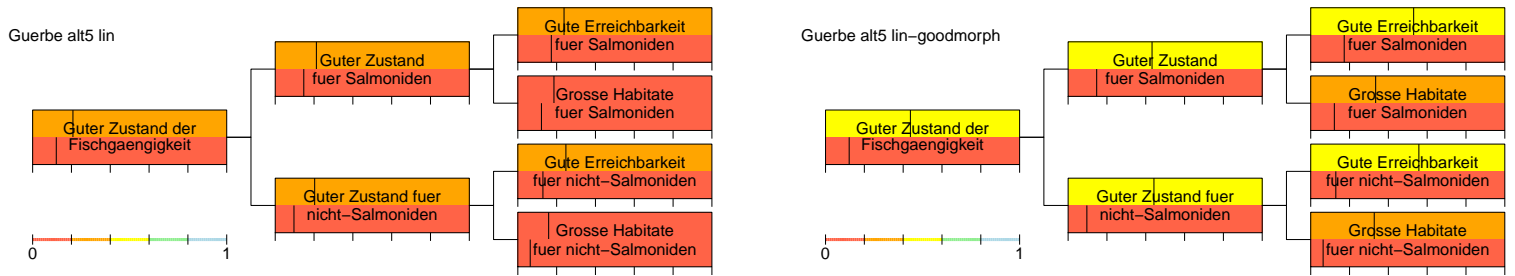


Abbildung A1.116: Vergleich der Bewertung der Variante 4 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

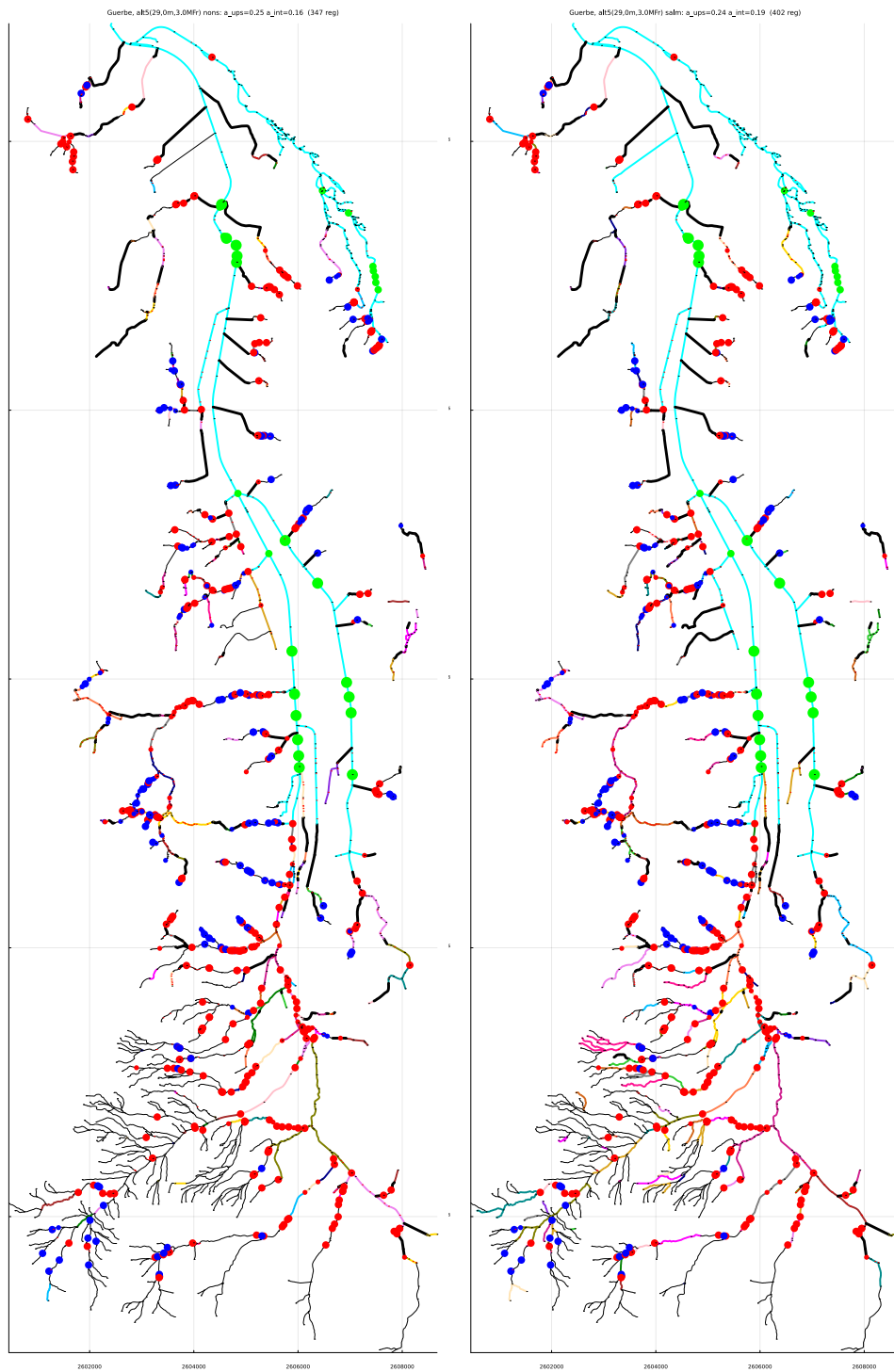


Abbildung A1.117: Variante 5. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

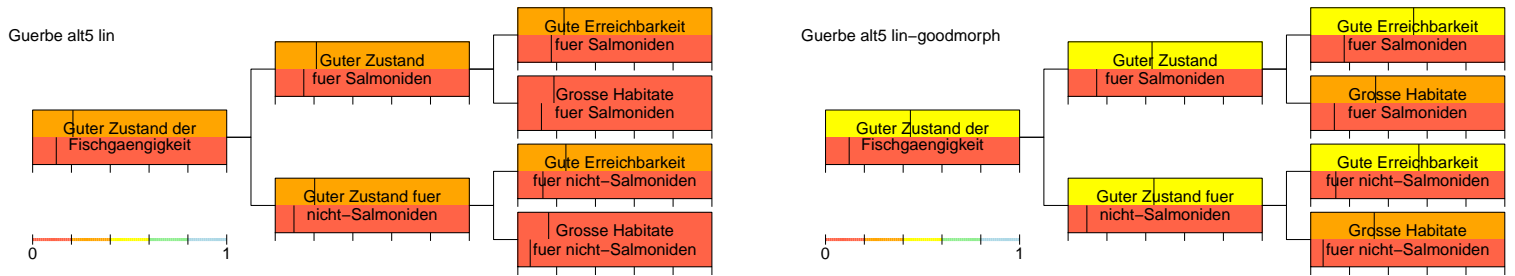


Abbildung A1.118: Vergleich der Bewertung der Variante 5 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

A1.3.6.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.119 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Es

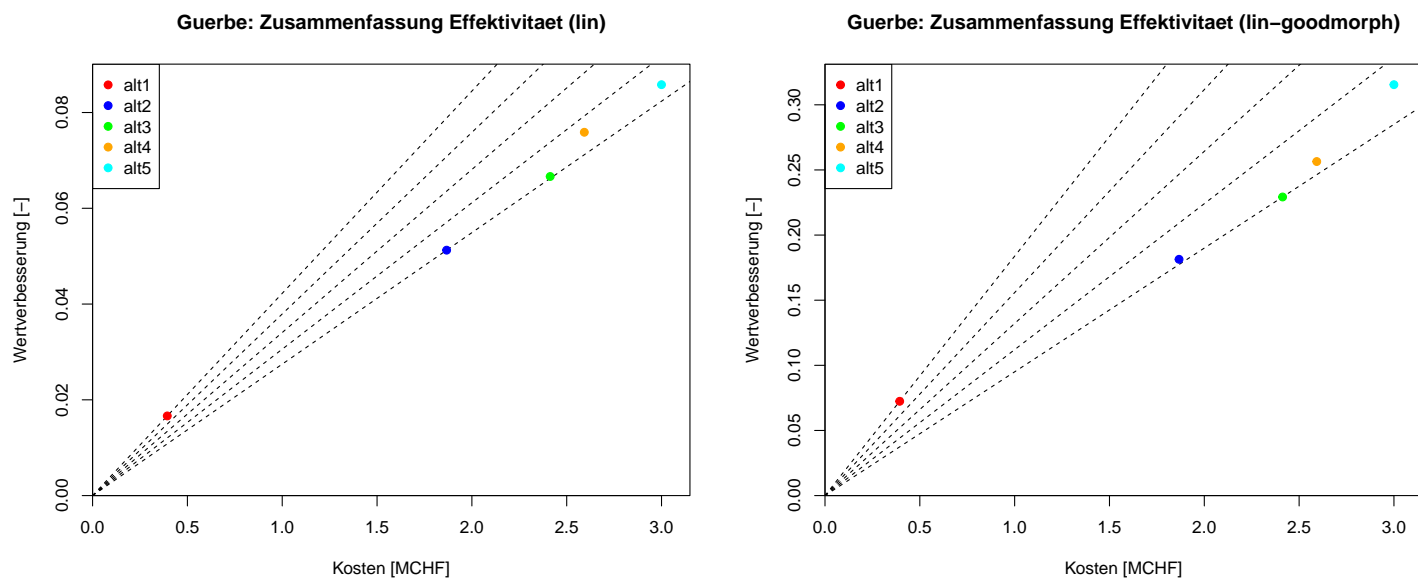


Abbildung A1.119: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

zeigt sich, dass die zusätzliche Sanierung der Fließstrecken den Wertzuwachs sehr stark erhöht. Zudem sieht man, dass die Variante 1 ein besseres Nutzen zu Kosten Verhältnis aufweist als die Varianten 2 - 5. Diese sind durch die grosse Zahl von zu sanierenden Hindernisse sehr teuer und erschliessen trotzdem keinen sehr grossen Anteil der natürlicherweise von der Mündung her erreichbaren Region.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.120 die analogen Resultate zur Abbildung A1.119, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung in der Abbildung A1.119 den Unterschied in der Effektivität zwischen der Variante 1 und den Varianten 2 - 5 verstärkt. Dies liegt daran, dass diese weitere Auengebiete von nationaler Bedeutung an die Aare anschliesst.

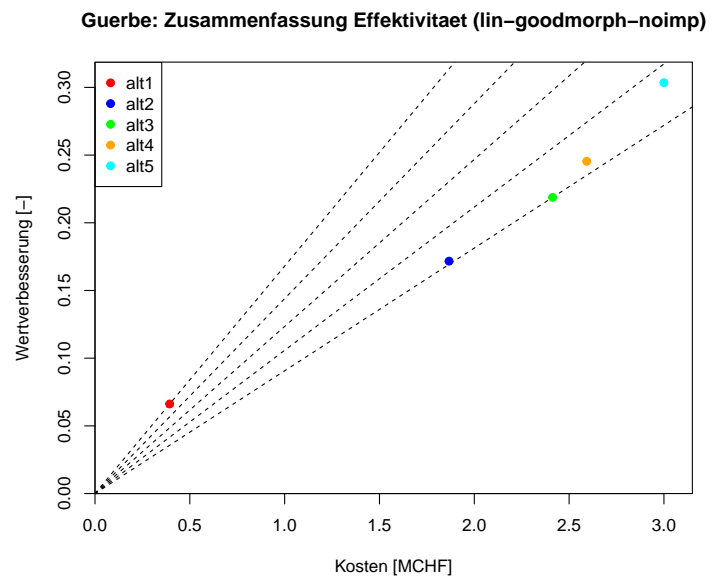
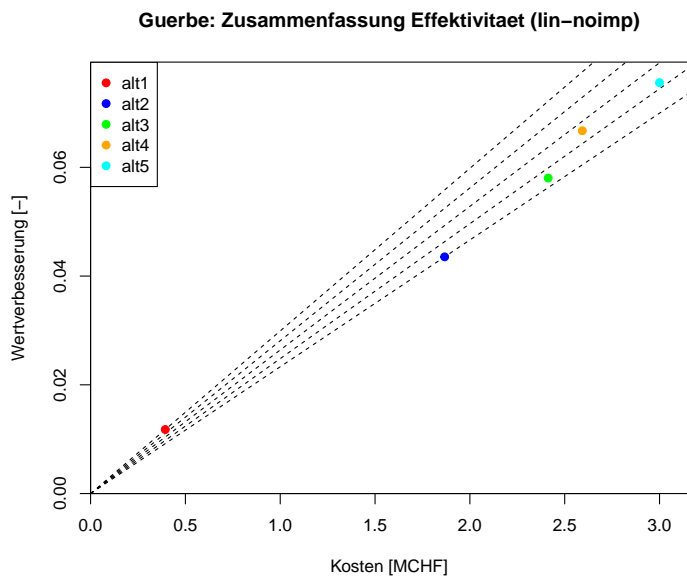


Abbildung A1.120: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.119 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fließstrecken.

A1.3.7 Einzugsgebietsübergreifende Auswertung

Für die übergreifende Bewertung der sechs Einzugsgebiete der Aare zwischen Thun und Bern berechnen wir die Attribute gemäss den in Abschnitt 3.5 diskutierten Gleichungen (3.6) und (3.7) aus und berechnen die Zielerreichung.

Als Anhaltspunkt für die relative Bedeutung der verschiedenen Einzugsgebiete können wir die Anteile der verschiedenen Einzugsgebiete zu den Nennern in den Gleichungen (3.6) und (3.7) nehmen. Diese ergeben sich wie folgt:

$$f_{\text{ups}}^{(j)} = \frac{\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=1} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{j'} \left(\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j')}(i)=1} f_i^{(j')} \cdot o_i^{(j')} \cdot l_i^{(j')} \right)} \quad (\text{A1.1})$$

und

$$f_{\text{int}}^{(j)} = \frac{\sum_i f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{j'} \left(\sum_i f_i^{(j')} \cdot o_i^{(j')} \cdot l_i^{(j')} \right)} \quad (\text{A1.2})$$

$f_{\text{ups}}^{(j)}$ beschreibt den Anteil der von der Mündung erreichbaren Habitatgrösse des Einzugsgebietes j an der Summe aller erreichbaren Habitate der berücksichtigten Einzugsgebiete, während $f_{\text{int}}^{(j)}$ den Anteil der totalen Habitatgrösse im Einzugsgebiet j an der totalen Habitatgrösse aller Einzugsgebiete beschreibt. Beide dieser Grössen werden unter naturnahen Bedingungen, also ohne künstliche Hindernisse ausgewertet. Für Fischgemeinschaften zu steile Gewässerabschnitte sind ausgeschlossen.

Die Abbildung A1.121 zeigt diese Anteile für die beiden Fragmentierungen für Salmoniden und nicht-Salmoniden für die Einzugsgebiete der sechs Zuflüsse zur Aare zwischen Thun und Bern. Es zeigt sich, dass bezüglich der möglichen Habitatgrösse die Gürbe dominiert, gefolgt von der Zulg und dem Glütschbach. Die Rotache und die Chise weisen speziell kleine Anteile für die von der Mündung her erreichbaren Habitate auf. Diese Anteile geben einen guten Einblick in die mögliche Bedeutung der Teileinzugsgebiete auf das Gesamtsystem. Bei der Bewertung werden aber die Habitatgrössen im zu untersuchenden Zustande und nicht die natürlichen Habitatgrössen verwendet.

Führt man die einzugsgebietsübergreifende Bewertung ausgewählter Varianten in einzelnen Teileinzugsgebieten durch, ergeben sich die in den Abbildungen A1.122 bis A1.124 gezeigten Resultate. Wegen der Normierung der Attribute über alle sechs Einzugsgebiete hinweg ergeben sich kleinere Wertverbesserungen als bei der Bewertung der einzelnen Einzugsgebiete in den vorangehenden Unterabschnitten.

Schlussendlich fasst die Abbildung A1.125 nochmals den Wertzuwachs wichtiger Kombinationen von Varianten gegenüber den geschätzten Kosten dar. Die linke obere Abbildung bestätigt

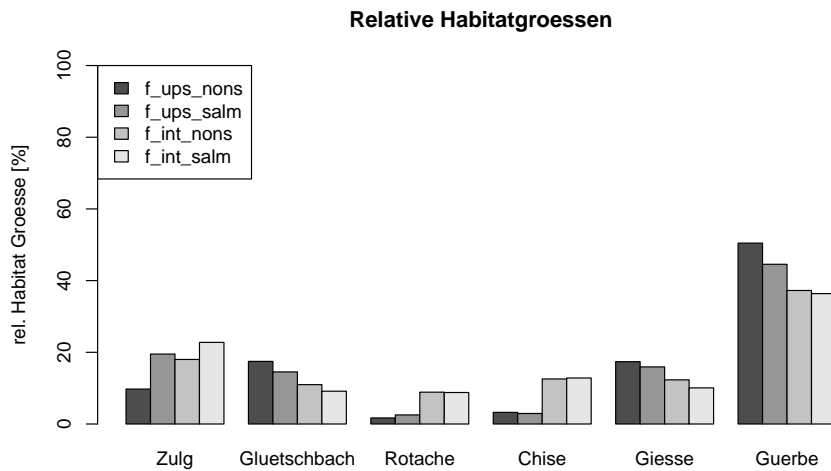


Abbildung A1.121: Relative Einzugsgebietsgrössen der von der Mündung erreichbaren Regionen (jeweils linke zwei Säulen) bzw. der totalen Habitats (jeweils rechte zwei Säulen) gemäss den Gleichungen (A1.1) und (A1.2) für Salmoniden (linke der beiden benachbarten Säulen) und nicht-Salmoniden (rechte der benachbarten Säulen).

den relativ zu den anderen Zuflüssen kleineren Beitrag, den die Chise und die Rotache leisten können und zeigt, dass insbesondere die Varianten am Gluetschbach und an der Giesse ein im Vergleich sehr grosses Nutzen zu Kosten Verhältnis aufweisen. Mit etwas höheren Investitionen können auch die Varianten im Zulg-Einzugsgebiet wesentlich zur Verbesserung beitragen während die Varianten an der Chise und Rotache nur einen geringeren Beitrag leisten können. Aus diesem Grund würde man wohl hier die Varianten am Gluetschbach und an der Giesse und allenfalls die Variante 3 an der Zulg in die Nutzenkategorie “hoch” einteilen, die anderen Varianten in die Nutzenkategorie “mittel” und alle Hindernisse, die für keine Variante berücksichtigt wurden, in die Nutzenkategorie “gering”.

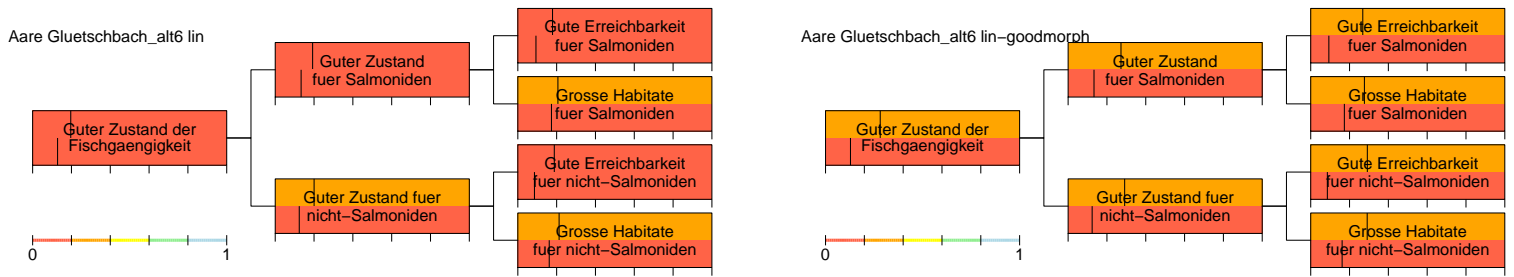


Abbildung A1.122: Vergleich der Bewertung der Variante 6 am Glütschbach für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden.

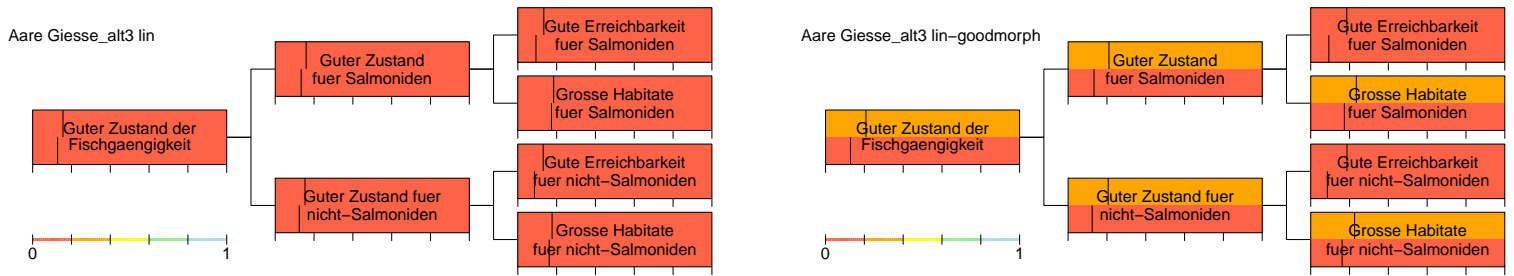


Abbildung A1.123: Vergleich der Bewertung der Variante 3 an der Giesse für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden.

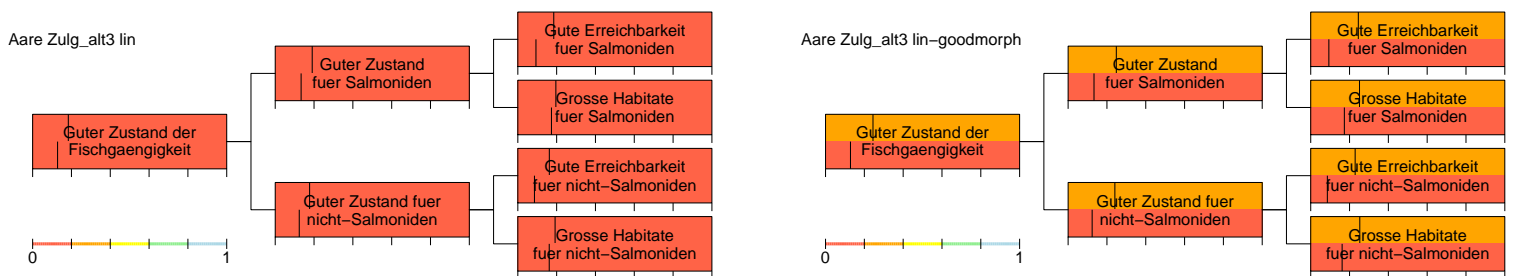


Abbildung A1.124: Vergleich der Bewertung der Variante 3 an der Zulg für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden.

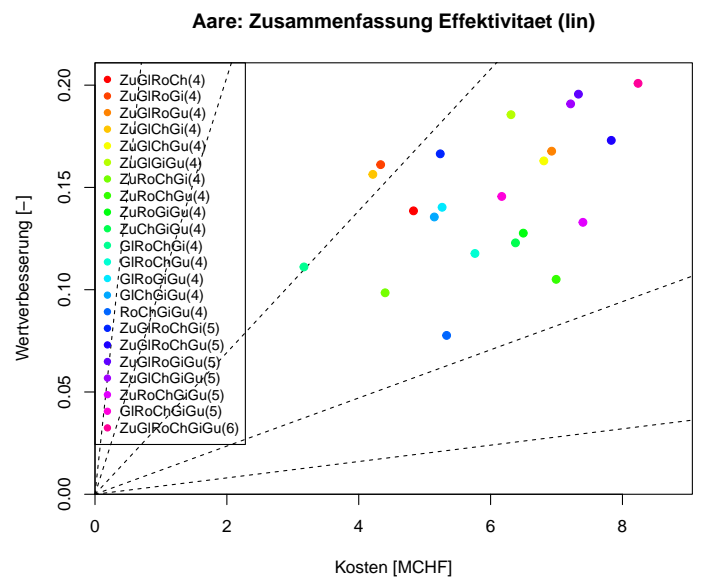
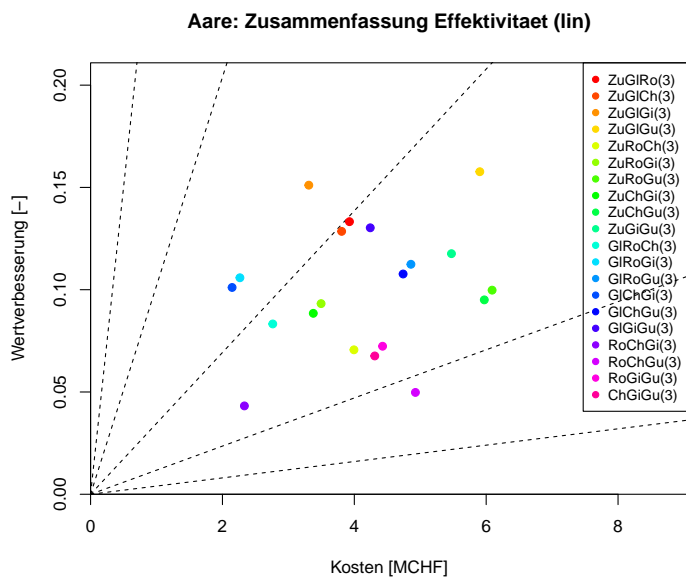
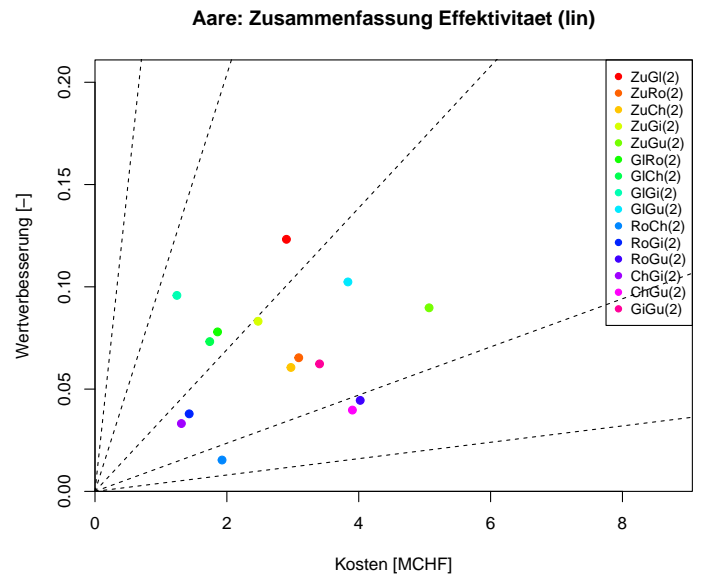
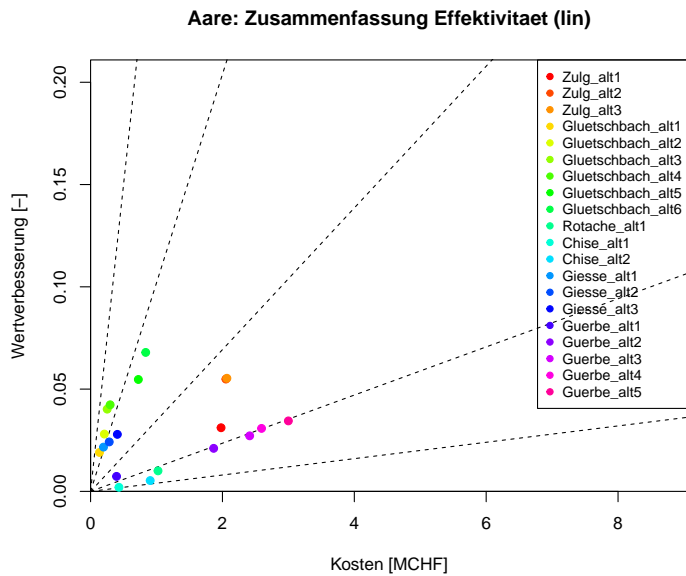


Abbildung A1.125: Wertzuwachs über alle Einzugsgebiete hinweg für einige Kombinationen der diskutierten Varianten in allen sechs Zuflüssen gegenüber den Kosten. Links oben: für Varianten in einzelnen Zuflüssen. Rechts oben: für Kombinationen von zwei Varianten in verschiedenen Zuflüssen. Links unten: für Kombinationen von Varianten in 3 Zuflüssen. Rechts unten: für Kombinationen von Varianten in 4, 5 oder allen 6 Zuflüssen. Bei allen Abbildungen ausser derjenigen links oben, wurden die besten Varianten in den Teileinzugsgebieten gewählt.

Anhang 2: Attributberechnung

Die Formeln (3.6) und (3.7) beschreiben die Berechnung der Attribute für die einzugsgebietsübergreifende Bewertung. Zur Verbesserung der Übersicht werden sie hier nochmals wiedergegeben:

$$a_{\text{ups}} = \frac{\sum_j \left(\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=1} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right)}{\sum_j \left(\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=1} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right)} . \quad (\text{A2.3})$$

und

$$a_{\text{int}} = \sum_j \left(\sum_{k=1}^{n_{\text{inv}}^{(j)}} w_k^{(j)} \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=k_{\text{assoc}}^{(j)}(k)} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}} \right) \quad (\text{A2.4a})$$

mit

$$w_k^{(j)} = \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{j'} \left(\sum_i f_i^{(j')} \cdot o_i^{(j')} \cdot l_i^{(j')} \right)} . \quad (\text{A2.4b})$$

Da es einfacher ist, die Fragmentierungsanalyse für die verschiedenen Teileinzugsgebiete separat durchzuführen, zeigen wir hier auf, welche Größen für jedes Teileinzugsgebiet berechnet werden müssen, um die Attribute für die Teileinzugsgebiete und für die einzugsgebietsübergreifende Analyse leicht berechnen zu können.

Dazu führen wir die folgenden Habitatgrößen für jedes Einzugsgebiet j ein:

$$h_{\text{ups}}^{\text{inv}(j)} = \sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=1} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \quad (\text{A2.5})$$

$$h_{\text{ups}}^{\text{nat}(j)} = \sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=1} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \quad (\text{A2.6})$$

Mit diesen Grössen kann das Attribut a_{ups} sehr leicht für jedes Teileinzugsgebiet j als auch über die Teileinzugsgebiete hinweg berechnet werden:

$$a_{\text{ups}}^{(j)} = \frac{h_{\text{ups}}^{\text{inv}(j)}}{h_{\text{ups}}^{\text{nat}(j)}} \quad (\text{A2.7})$$

$$a_{\text{ups}} = \frac{\sum_j h_{\text{ups}}^{\text{inv}(j)}}{\sum_j h_{\text{ups}}^{\text{nat}(j)}} \quad (\text{A2.8})$$

Analog führen wir für die interne Fragmentierung die folgenden Habitatgrössen ein:

$$h_{\text{int}}^{\text{inv}(j)} = \sum_{k=1}^{n_{\text{inv}}^{(j)}} \left(\left(\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right) \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=k_{\text{assoc}}^{(j)}(k)} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}} \right) \quad (\text{A2.9})$$

$$h_{\text{int}}^{\text{nat}(j)} = \sum_i f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \quad (\text{A2.10})$$

Auch hier kann dann das Attribut a_{int} sehr leicht für jedes Teileinzugsgebiet j als auch über die Teileinzugsgebiete hinweg berechnet werden:

$$a_{\text{int}}^{(j)} = \frac{h_{\text{int}}^{\text{inv}(j)}}{h_{\text{int}}^{\text{nat}(j)}} \quad (\text{A2.11})$$

$$a_{\text{int}} = \frac{\sum_j h_{\text{int}}^{\text{inv}(j)}}{\sum_j h_{\text{int}}^{\text{nat}(j)}} \quad (\text{A2.12})$$

Damit entfällt die Notwendigkeit, die Fragmentierungsanalyse über die Teileinzugsgebiete hinweg durchzuführen.

Anhang 3: Glossar

Attribut

Messbare, objektive Eigenschaft eines Systems, welche für dessen Zustandsbewertung nützlich ist.

Beispiel: Anteil des unter aktuellen Bedingungen von der Mündung erreichbaren Flusssystemes am unter natürlichen Bedingungen erreichbaren Flusssystem. Siehe Kapitel 3.4.1.

Fundamentalziel

Ziel, das man grundsätzlich erreichen will. Konzeptionell sind die Fundamentalziele die wichtigen Ziele (siehe auch "Instrumentalziel"), diese sind aber oft wegen der schlechten Vorhersagbarkeit ihrer Erreichung schwierig praktisch anzuwenden.

Beispiel: Erhaltung oder Wiederherstellung der natürlichen Biodiversität der Fischgemeinschaft. Siehe Kapitel 1.

Instrumentalziel

Ziel, das man besser quantifizieren kann oder dessen Erreichung man besser vorhersagen kann als die Fundamentalziele (siehe "Fundamentalziel"), dessen Erreichung aber zur Erreichung der Fundamentalziele beitragen soll.

Beispiel: Gute Vernetzung von Habitaten für die verschiedenen Lebenszyklen der Fische. Siehe Kapitel 1.

Revitalisierungsvariante

In diesem Bericht: Menge von Hindernissen (Barrieren und/oder Eindolungen), deren Sanierung für die Verbesserung der Fischgängigkeit untersucht werden soll. Eine Variante kann auch aus einem einzelnen Hindernis bestehen; in der Regel bestehen interessante Varianten, welche grössere fischgängige Regionen miteinander verbinden aber aus mehreren Hindernissen.

Beispiel: Hindernisse, deren Sanierung den Aufstieg von Fischen aus dem Hauptfluss in ein Seitengewässer ermöglichen würden. Siehe viele Beispiele in Anhang A1.

Variante

Abkürzung für "Revitalisierungsvariante".

Wertfunktion

Quantitative Bewertung eines Systems auf der Zielerreichungsskala von 0 bis 1, in Funktion des durch die Attribute (siehe “Attribute”) charakterisierten Systemzustands. Im Gegensatz zu den objektiven Attributen ist die Bewertung des Zustandes auf die Einschätzung des Zielerreichungszustandes durch Fachleute angewiesen. Diese Subjektivität kann durch “intersubjektive” Einschätzungen von Gruppen von Fachpersonen reduziert werden. Siehe auch Bemerkung unter “Zielhierarchie” für die Konstruktion einer Wertfunktion.

Beispiel: Siehe Kapitel 3.4.2.

Zielhierarchie

Ein Ziel kann oft in Unterziele aufgeteilt werden, die möglichst unabhängig voneinander sind, aber gemeinsam die wesentlichen Aspekte des Oberziels abdecken. Eine iterative Anwendung dieses Konzepts ausgehend vom übergeordneten Ziel führt zu einer Zielhierarchie. Eine Zielhierarchie ist aus zwei Gründen nützlich: Erstens klärt sie auf übersichtliche Art, was mit den übergeordneten Zielen gemeint ist und unterstützt damit die Zieldiskussion und trägt zur Transparenz in der Kommunikation bei. Zweitens kann sie die Konstruktion einer Wertfunktion (siehe “Wertfunktion”) erleichtern, da diese hierarchisch konstruiert werden kann. Die Quantifizierung der Zielerreichung von Unterzielen ist in der Regel einfacher, da sie weniger Attribute (siehe “Attribut”) benötigt, als diejenige eines umfassenderen Oberziels. Die Quantifizierung von übergeordneten Zielen kann dann auf den Zielerreichung ihrer Unterziele aufbauen.

Beispiel: Siehe Abbildung 2.1 und für die Konstruktion einer Wertfunktion Kapitel 3.4.2.

Literaturverzeichnis

- AquaViva (2019). Gezielter Rückbau von Hindernissen in Fließgewässern - Leitfaden v1. Technical report, Aqua Viva, Winterthur, <https://aquaviva.ch>.
- BAFU (2007). Gewässernetz der Schweiz - gwn25. Bundesamt für Umwelt (BAFU), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/karten/karten-und-abgeleitete-daten/gewaessernetz-der-schweiz.html>.
- BAFU (2016). Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen: Finanzierung der Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Technical report, Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1634.
- BAFU (2017). Biotop von nationaler Bedeutung - Auen. Bundesamt für Umwelt (BAFU), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/oekologische-infrastruktur/biotop-von-nationaler-bedeutung/auen.html>.
- Baldan, D., Cunillera-Montcusi, D., Funk, A., and Hein, T. (2022). Introducing ‘riverconn’: an R package to assess river connectivity indices. *Environmental Modelling and Software*, 156:105470.
- Eisenführ, F., Weber, M., and Langer, T. (2010). *Rational Decision Making*. Springer, Berlin.
- Göggel, W. (2012). Revitalisierung Fließgewässer: Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Technical report, Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1208.
- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T., and Ohlson, D. (2012). *Structured Decision Making: a Practical Guide to Environmental Management Choices*. Wiley-Blackwell Publishing, Hoboken, New Jersey, USA.
- Jumani, S., Deitch, M. J., Vall, D., Machado, S., Lecours, V., Kaplan, D., Krishnaswamy, J., and Howard, J. (2022). A new index to quantify longitudinal river fragmentation: Conservation and management implications. *Ecological Indicators*, 136:108680.
- Keeney, R. L. (1992). *Value-Focused Thinking*. Harvard University Press, Cambridge.
- Keeney, R. L. and Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley.

- Kuemmerlen, M., Reichert, P., Siber, R., and Schuwirth, N. (2019). Ecological assessment of river networks: From reach to catchment scale. *The Science of the Total Environment*, 650:1613–1627.
- Langhans, S. D. and Reichert, P. (2011). Einbettung von Verfahren zur Fliessgewässerbewertung in ein übergeordnetes Gewässermanagementkonzept. *Wasser Energie Luft*, 103(3):204–214.
- Linkov, I. and Moberg, E. (2012). *Multi-criteria Decision Analysis. Environmental Applications and Case Studies*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- Reichert, P., Langhans, S. D., Lienert, J., and Schuwirth, N. (2015). The conceptual foundation of environmental decision support. *Journal of Environmental Management*, 154:316–332.
- swisstopo (2007). smv25 - Swiss Map Vector 25. Bundesamt für Landestopografie (swisstopo), <https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/maps/smv/smv25.html>.
- swisstopo (2023). Landschaftsmodelle. Bundesamt für Landestopografie (swisstopo), <https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/landscape.html>.
- von Winterfeldt, D. and Edwards, W. (1986). *Decision Analysis and Behavioural Research*. Cambridge University Press.
- Zeh Weissmann, H., Könitzer, C., and Bertiller, A. (2009). Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz - Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Stand: April 2009. Technical report, Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1634.