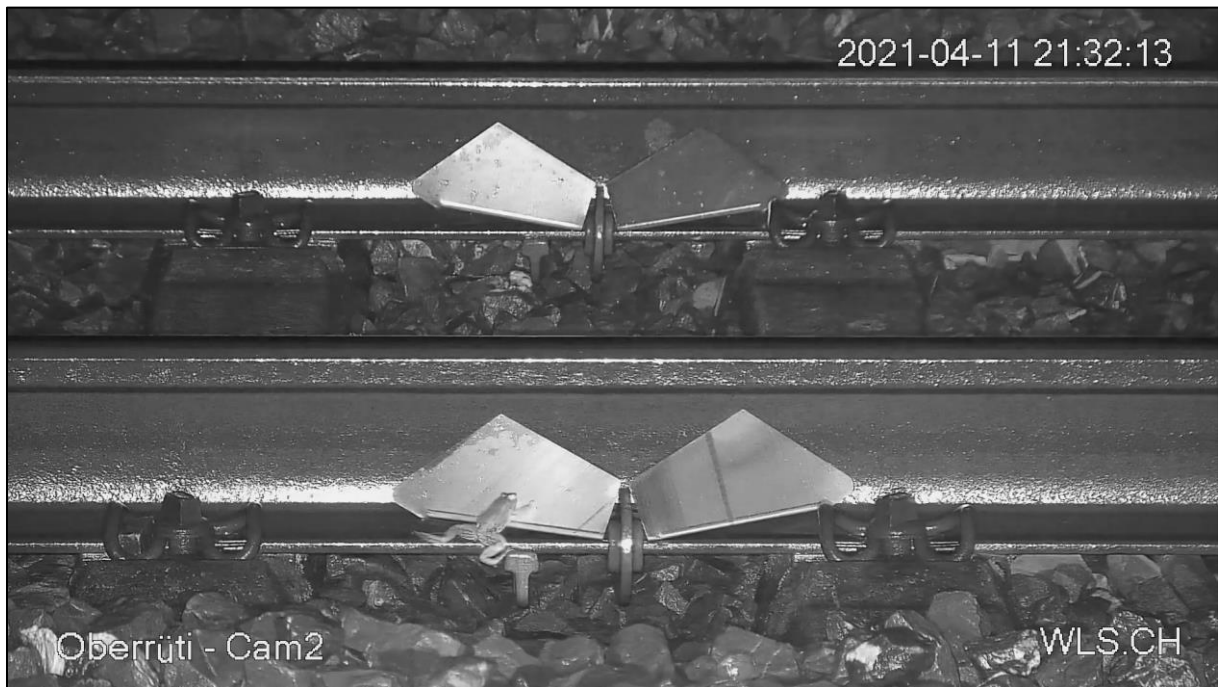


Videomonitoring bei Amphibienzugstellen an Bahngleisen

Schlussbericht 2022



WildLife Solutions WLS.CH GmbH im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
Stefan M. Suter, Bettina Schaer, Annette Stephani, Sandrine Wider & Giorgia Ferretti
Impasse des Côtes 5
CH-1783 Lossy
Tel. 026 422 39 20
www.wls.ch

13.03.2022

Impressum

WildLife Solutions WLS.CH GmbH, Impasse des Côtes 5, CH-1782 Lossy, www.wls.ch

Autoren: Stefan M. Suter, Bettina Schaer, Annette Stephani, Sandrine Wider & Giorgia Ferretti

Disclaimer: Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Begleitgruppe:

Adrien Zeender, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Biodiversität und Landschaft
Sektion Landschaftsmanagement, Worblentalstrasse 68, CH-3063 Ittigen

Silvia Zumbach, info fauna – Karch, Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz
in der Schweiz, Bellevaux 51, CH-2000 Neuchâtel

Karin Hilfiker, SBB AG, Infrastruktur – Netzdesign, Anlagen & Technologien, Kunstbauten,
Natur und Naturrisiken, Hilfikerstrasse 3, CH-3000 Bern 65

Nicolas Bircher, Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung
Landschaft und Gewässer, Sektion Natur und Landschaft, Entfelderstrasse 22, CH-5001
Aarau

Zitiervorschlag: Videomonitoring bei Amphibienzugstellen an Bahngleisen. Suter, S. M.,
Schaer, B., Stephani, A., Wider, S. & Ferretti, G. (2022). Schlussbericht, WLS.CH GmbH im
Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

Titelbild: Grasfrosch beim Querungsversuch in Oberrüti © WLS.CH, 2022

Kontakt: Stefan Suter, Tel.: 026 422 39 20, E-Mail: stefan.suter@wls.ch

© WLS.CH im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	17
2. Material & Methoden.....	18
2.1. Monitoringstandorte.....	18
2.2. Kamerasysteme	23
2.3. Amphibienableitbleche und Schottergraben.....	26
2.4. Fragen – Auswertungstabelle mit Kriterien und Kategorien	27
3. Resultate.....	33
3.1. Standorteigenschaften und Datenanalyse	33
3.2. Kamerasysteme	33
3.3. Anzahl der Ereignisse während Untersuchungszeit aller Standorte.....	34
3.4. Querungen im und ausserhalb des Schottergrabens - Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche (Frage1)	38
3.5. Zeitdauer, bis die Amphibien den Schottergraben finden (Frage 2).....	48
3.6. Beeinflusst die Durchfahrt eines Zuges das Verhalten der Amphibien? Gibt es Unterschiede bei Art und Alter? (Frage 3 und 4)	48
3.7. Führt der erhöhte Luftdruck vorbeifahrender Züge zu Verletzungen oder Tötungen der Amphibien? Gibt es Unterschiede zwischen Arten und Altersstadien? (Frage 5 und 6).....	52
3.8. Wie gross sind die Luftdruckänderungen zwischen Gleisen auf Bodennähe bei verschiedenen Zugarten und Geschwindigkeiten? (Frage 7).....	53
3.9. Gibt es ein erfolgreiches Queren der Gleise - welche Querungsarten? (Frage 8)	57
3.10. Wird eine Mortalität beim Klettern an den Gleisen festgestellt? Werden die Tiere auf der Schiene überfahren? (Frage 9).....	61
4. Diskussion.....	65
4.1. Kamerasysteme	65
4.2. Monitoringstandorte.....	65
4.3. Anzahl der Ereignisse während Untersuchungszeit aller Standorte.....	66

4.4. Erlauben die Schottergräben (mit und ohne AAB) ein erfolgreiches Queren der Gleise? (Frage 1).....	67
4.5. Zeitdauer, bis die Tiere den Durchlass finden (mit und ohne AAB)? (Frage 2).....	70
4.6. Beeinflusst Zugdurchfahrt das Verhalten der Amphibien bei der Querung? Gibt es Unterschiede zwischen verschiedenen Amphibienarten und Altersstadien? (Frage 3 und 4).....	70
4.7. Führt der erhöhte Luftdruck vorbeifahrender Züge zu Verletzungen oder zur Tötung der querenden Tiere? Gibt es Unterschiede zwischen verschiedenen Altersstadien und Arten? (Frage 5 und 6).....	71
4.8. Wie gross sind die Luftdruckänderungen zwischen den Gleisen auf Bodennähe bei vorbeifahrenden Zügen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten? (Frage 7).....	73
4.9. Gibt es ein erfolgreiches Queren der Gleise? Wenn ja, welche Arten? (Frage 8).....	73
4.10. Wird eine Mortalität beim Klettern über die Gleise festgestellt? (Frage 9).....	74
5. Schlussfolgerungen	75
6. Dank	78
7. Literaturverzeichnis	79
Anhänge	81
Anhang I: Auswertungsprotokoll/Kriterienkatalog.....	81
Anhang II: Querungsfotos aller Amphibienarten	89
Anhang III: Querungen im saisonalen Verlauf	91
Anhang IV: Schottergraben aufgefüllt in Mellikon.....	99

Zusammenfassung

Bei den jährlichen Amphibienzügen ist die Barrierewirkung von Gleisen und die Auswirkungen von Zugdurchfahrten auf querende Amphibien bisher kaum untersucht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), des Kantons Aargau und in Zusammenarbeit mit der Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (KARCH) hat WildLife Solutions (WLS.CH) während zwei Jahren ein kamerabasiertes Monitoring von Bahnstrecken an vier Standorten in den Kantonen Aargau, Obwalden und Waadt durchgeführt. Im Kanton Aargau waren dies: Mellikon: Zugsnr. 2077, IANB AG 432, Steinbruch Mellikon, Wanderobjekt. Ebenfalls im Kanton Aargau Standort Oberrüti: keine Zugstelle, IANB AG 569, Schachen, ortsfestes Objekt. Im Kanton Obwalden am Standort Lungern: Zugsnr. 225, IANB OB 109, Lungerner See Nordende, ortsfestes Objekt sowie im Kanton Waadt am Standort Grande Cariçaie: Zugsnr. 198, IANB VD 366, Champ Pittet, Châble Perron, ortsfestes Objekt. Ziel der vorliegenden Studie war es, zu untersuchen, ob Amphibien die Bahngleise mit Hilfe von Amphibienableitblechen (AAB), früher Gleisabweiser genannt, und Schottergräben (SG) queren können und ob vorbeifahrende Züge bei Amphibien zu Verletzungen oder gar Tötungen führen.

Die Kamerasysteme funktionierten zuverlässig und haben sowohl juvenile als auch adulte Amphibien bei ihren Querungsversuchen sowie erfolgreichen Querungen erfasst. Durch die hohe Sensitivität der Kameras wurden viele Videos generiert, die beispielsweise von Insekten ausgelöst wurden. Die visuelle Analyse war daher zeitintensiv. Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen könnte die Datenauswertung in Zukunft optimiert werden.

Die Anzahl erfasster Amphibien schwankte zwischen den Aufnahmejahren und den Standorten. Während des Monitorings wurden insgesamt 1'563 Ereignisse mit Amphibien erfasst, davon 320 in Mellikon, 542 in der Grande Cariçaie, 36 in Oberrüti und 665 in Lungern. Am häufigsten waren die Kröten mit 883 Ereignissen vertreten, gefolgt von den Fröschen (n=579) und Molchen (n=101).

An allen Standorten wurden total 322 (21%) erfolgreiche Querungen dokumentiert, wovon 248 im Schottergraben stattgefunden haben. Von den 248 erfolgreichen Querungen haben in 94 Ereignissen die Amphibien unter beiden Schienen gequert und 154 nur unter einer Schiene, da sich die Tiere bereits im Gleiszwischenraum befanden. Diese Tiere müssen

demnach eine Schiene bereits ausserhalb des Überwachungsbereiches gequert haben. Die Bedingungen waren bezüglich Schottergräben, Amphibienableitblechen und Monitoringdauer nicht an allen Standorten die gleichen. Deshalb wurde für die Beantwortung einiger Fragen ein reduzierter Datensatz von den Standorten Mellikon, Grande Cariçai (ohne AAB) und Oberrüti verwendet, wo die gleichen Querungshilfen installiert waren. Die Daten des reduzierten Datensatzes (n=858) zeigen, dass von den 257 Querungen (30% von 858) des reduzierten Datensatzes 90% (n=231 von 257) durch den Schottergraben erfolgten und nur 10% (n=26) ausserhalb des Schottergrabens. Dies entspricht einem Querungserfolg im Schottergraben von 27%.

Sofern sich die Tiere entlang der Schiene dem Schottergraben näherten (n=167) und die Tiere auch Kontakt mit den Amphibienableitblechen hatten (n=108), erfüllten die Amphibienableitbleche ihren Zweck zu 89% (n=96 von 108). In den restlichen 11% (n=12) liefen die Tiere über die Amphibienableitbleche oder kehrten um. In Lungern, wo keine Querungshilfen installiert waren, konnten bei 665 Ereignissen nur 46 Querungen (7%) beobachtet werden. Querungen über die Schienen ausserhalb des Schottergrabens wurden nur vereinzelt beobachtet. Neben Amphibien wurden auch Reptilien und Kleinsäuger dabei gesichtet, wie sie den Schottergraben als Querungshilfe nutzen.

Da praktisch alle Tiere ausserhalb der Weitwinkelzone auf das Gleis stiessen, konnte die Zeitdauer bis zum Auffinden des Schottergrabens nicht berechnet werden. Besondere Tiere würde hier eine bessere Datengrundlage liefern.

Von den 1'563 Ereignissen waren in 104 Fällen Amphibien bei gleichzeitiger Zugdurchfahrt zu beobachten. 55% der Amphibien (n=57 von 104) verharrten bereits 5 Sekunden vor der Zugdurchfahrt. Innert 5 Sekunden vor Zugdurchfahrt (ZD) kommt es bei den Amphibien zu Verhaltensänderungen: während sich vor der Zugdurchfahrt noch 30 Tiere bewegen, sind, während der Zugdurchfahrt nur noch 4 in Bewegung. Der Grossteil der Amphibien (55%) verharrte während der Zugüberfahrt an Ort und Stelle, während 21% hektisch wegsprangen. Bei 20% war das Verhalten nicht sichtbar, weil der Zug das Tier verdeckte. Nach der Zugdurchfahrt setzten die Tiere durchschnittlich nach 44 Sekunden ihre Wanderung fort (n=84), dabei behielten sie in der Regel ihre ursprünglich eingeschlagene Richtung bei. Nur in seltenen Fällen wurde eine Umkehr beobachtet. Der Querungserfolg bei Amphibien ohne Zugdurchfahrt unterscheidet sich kaum von jenem mit Zugdurchfahrt, jedoch ist die Stichprobengrösse bei den Ereignissen ohne Zugdurchfahrt erheblich höher. Ereignisse mit

Amphib ohne Zugdurchfahrt n=1459 (93%), Ereignisse mit Amphib und Zugdurchfahrt n=104 (7%).

Bei keinem der 104 Ereignisse mit Zugdurchfahrt (max. Geschwindigkeit 110 km/h) konnten bei juvenilen und adulten Amphibien Verletzungen oder gar Tötungen durch Luftdruckveränderungen vorbeifahrender Züge beobachtet werden. Druckunterschiede nehmen mit steigender Zugsgeschwindigkeit zu. Während in Mellikon bei 80 km/h kaum eine Druckwelle messbar war, kam es in der Grande Cariçai bei 110 km/h zuerst zu einem Druckanstieg von +5 mbar, gefolgt von einem Druckabfall von -10 mbar sowie zu einem erneuten Druckanstieg von +6.5 mbar. Diese Druckunterschiede spielten sich alle während 0.5 Sekunden ab. Bei Zugdurchfahrten mit einer Geschwindigkeit von 130-140 km/h wie auf der Strecke Gland-Nyon wurde ein Druckunterschied von 217 mbar auf Bodennähe zwischen den Schienen gemessen (Hunziker 2021). In Einzelfällen wurden sowohl adulte als auch juvenile Tiere von der Druckwelle erfasst und einige Zentimeter weggewindet, jedoch schienen die Tiere unverletzt.

Die Querung unter einer Schiene im Schottergraben war die häufigste Querungsart. Oft näherten sich die Amphibien dem Schottergraben im Gleiszwischenraum (zwischen den Schienen) und hatten bereits ausserhalb des Überwachungsbereichs eine Schiene gequert. Unter dem Gleis (beide Schienen) querten die Amphibien am zweithäufigsten. Teils querten Frösche sowohl unter als auch über eine Schiene im Schottergraben. In einigen Fällen sprangen und kletterten Grasfrösche ausserhalb des Schottergrabens über die Schienen. Die Amphibienableitbleche wurden von Grasfröschen auch als Steighilfe zur Überquerung der Schienen genutzt.

Ein Fall von Mortalität beim Klettern an den Gleisen wurde in der Grande Cariçai registriert. Ein juveniler Grasfrosch sprang vor der Zugdurchfahrt auf die Schiene und wurde kurz darauf vom Zug überrollt. In Lungern wurde zudem beobachtet, wie Rabenkrähen das Gleis patrouillieren und nach Nahrung suchen. Eine Kröte, die zuvor beim Querungsversuch gescheitert war, wurde von einer Rabenkrähe erbeutet.

Die Daten beider Studienjahre haben gezeigt, dass Schottergräben mit Amphibienableitblechen zur Querung von Gleisen wirksam sind, auch wenn nicht alle Tiere, welche den Schottergraben finden, auch wirklich darin queren. Die meisten Tiere nutzten den Schottergraben wie vorgesehen zur Unterquerung der Schienen. Mehrere Schottergräben nebeneinander mit Amphibienableitblechen würden wahrscheinlich eine

schnellere Überwindung der Gleise ermöglichen. Nach dem Grampen müssen Schottergräben unbedingt wieder durchgängig gemacht werden.

Unklar bleibt, wie lange die Amphibien entlang der Gleise nach einer Querungsmöglichkeit suchen und dabei Zeit- und Energie verlieren, sowie einem erhöhten Risiko von Beutegreifern erfasst zu werden ausgesetzt sind. Ein Verlassen des Gleisbereichs nach nichterfolgreicher Querung konnte nicht beobachtet werden. Die Tiere haben sich entweder links oder rechts dem Gleis entlang aus dem überwachten Bereich bewegt.

Bei Zugdurchfahrten verändern Amphibien ihr Verhalten und verharren oft an Ort und Stelle, jedoch führen sie nach der Störung in den allermeisten Fällen ihren Querungsversuch fort. Druckwellen durch vorbeifahrende Züge scheinen den Amphibien keine Verletzungen zuzufügen oder zum Tod zu führen.

Die Mortalität durch Klettern an den Schienen ist in der vorliegenden Studie äusserst gering. Der Hauptgrund dafür ist, dass die Amphibien hauptsächlich zu Zeiten mit wenig Zugfrequenzen aktiv waren. Der Grossteil der Amphibien wandert bei Dunkelheit während nassen oder regnerischen Wetterverhältnissen. Während der Hauptzugszeiten ist daher auf hochfrequentierten, mehrgleisigen Strecken mit Nachtzügen mit einer höheren Mortalität zu rechnen.

Durch eine rasche Querung der Bahnlinie würden Amphibien nicht nur Energie und Zeit einsparen, sondern wären dadurch auch weniger lang Beutegreifern ausgesetzt. Weibchen mit Männchen im Huckepack wurden in 172 Ereignissen (147 Lungern, 1 Grande Cariçai und 23 in Mellikon) beobachtet. Davon kam es in Lungern (ohne Querungshilfen) zu 1 erfolgreichen Querung unter den Schienen und 2 über die Schienen. In Mellikon waren 7 erfolgreiche Querungen zu verzeichnen, davon 6 unter den Schienen und 1 über die Schienen. In Bezug auf die Anzahl Ereignisse zeigt der Vergleich zwischen Mellikon und Lungern ebenfalls auf, dass Querungshilfen einen Einfluss auf den Querungserfolg haben. Mehrere Schottergräben und Gleisabweiser in kurzen Abständen, sind zwei wirksame und kostengünstige Massnahmen, die den Amphibien die Querung von Bahnlinien ermöglichen.

Résumé

Lors des migrations annuelles d'amphibiens, l'effet de barrière des voies ferrées et l'impact du passage des trains sur les amphibiens qui les traversent n'ont guère été étudiés jusqu'à présent. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), des Chemins de fer fédéraux (CFF), du canton d'Argovie et en collaboration avec le Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse (KARCH), Wildlife Solutions (WLS.CH) a réalisé pendant deux ans un monitoring basé sur des caméras des voies ferrées sur quatre sites dans les cantons d'Argovie, d'Obwald et de Vaud. Dans le canton d'Argovie, il s'agissait de Mellikon : nr. site 2077, IANB AG 432, carrière de Mellikon, objet de migration. Toujours dans le canton d'Argovie, site d'Oberrüti : pas de poste de section, IANB AG 569, Schachen, objet fixe. Dans le canton d'Obwald, sur le site de Lungern : nr. site 225, IANB OB 109, Lungerner See Nordende, objet fixe ainsi que dans le canton de Vaud, sur le site de la Grande Cariçaie: nr. site 198, IANB VD 366, Champ Pittet, Châble Perron, objet fixe. L'objectif de la présente étude était d'examiner si les amphibiens peuvent traverser les voies ferrées à l'aide des déflecteurs de voie pour amphibiens (AAB) et de fossés de ballast (SG) et si le passage des trains entraîne des blessures, voire la mort des amphibiens.

Les systèmes de caméras ont fonctionné de manière fiable et ont détecté des amphibiens juvéniles et adultes lors de leurs tentatives de traversée, qu'elles soient réussies ou non. En raison de la grande sensibilité des caméras, de nombreuses vidéos ont été générées, déclenchées par exemple par des insectes. L'analyse visuelle a donc pris beaucoup de temps. Grâce à l'intelligence artificielle et à l'apprentissage automatique, l'analyse des données pourrait être optimisée à l'avenir.

Le nombre d'amphibiens recensés a varié selon les années et les sites. Pendant le monitoring, 1'563 événements avec des amphibiens ont été recensés au total, dont 320 à Mellikon, 542 à la Grande Cariçaie, 36 à Oberrüti et 665 à Lungern. Les crapauds étaient les plus nombreux avec 883 événements, suivis par les grenouilles (n=579) et les tritons (n=101).

Sur l'ensemble des sites, 322 traversées réussies ont été documentées, dont 248 ont eu lieu dans le fossé de ballast. Sur les 248 traversées réussies, les amphibiens ont traversé sous les deux rails dans 94 cas et 154 sous un seul rail, car les animaux se trouvaient déjà dans l'espace entre les rails. Ces animaux doivent donc avoir déjà traversé un rail en dehors

de la zone de surveillance. Les conditions n'étaient pas les mêmes sur tous les sites en ce qui concerne les fossés de ballast, les déflecteurs de voie et la durée du monitoring. C'est pourquoi, pour répondre à certaines questions, un jeu de données réduit a été utilisé des sites Mellikon, Grande Cariçai (sans AAB) et Oberrüti, où les mêmes dispositifs de franchissement avaient été installés. Les données du jeu de données réduit (n=858) montrent que sur les 257 traversées (30% de 858) du jeu de données réduit, 90% (n=231) ont eu lieu à travers le fossé de ballast et seulement 10% (n=26) en dehors du fossé de ballast. Cela correspond à un succès de traversée dans le fossé de ballast de 27%.

Dans la mesure où les animaux s'approchaient du fossé de ballast le long du rail (n=167) et que les animaux étaient également en contact avec les déflecteurs de voie (n=108), les déflecteurs de voie remplissaient leur fonction à 89% (n=96 sur 108). Dans les 11% restants (n=12), les animaux sont passés par-dessus les déflecteurs de voie ou ont fait demi-tour. A Lungern, où aucune aide à la traversée n'a été installée, seuls 46 traversées (7%) ont pu être observées sur 665 événements. Les traversées des rails en dehors du fossé de ballast n'ont été observées que de manière isolée. Outre les amphibiens, des reptiles et des petits mammifères ont été observés en train d'utiliser le fossé de ballast comme aide à la traversée.

Etant donné que pratiquement tous les animaux ont rencontré les rails en dehors de la zone de la caméra à grand angle, il n'a pas été possible de calculer le temps nécessaire pour trouver le fossé de ballast. Des animaux munis d'un émetteur fourniraient ici une meilleure base de données.

Sur les 1'563 événements, 104 ont permis d'observer des amphibiens lors du passage simultané d'un train. 55% des amphibiens (n=57 sur 104) étaient déjà immobiles 5 secondes avant le passage du train. Dans les 5 secondes précédant le passage du train, des changements de comportement se produisent chez les amphibiens: alors que 30 animaux se déplacent encore avant le passage du train, seuls 4 sont encore en mouvement pendant le passage du train. La majorité des amphibiens (55%) sont restés sur place pendant le passage du train, tandis que 21% ont sauté frénétiquement. Pour 20% d'entre eux, ce comportement n'était pas visible car le train cachait l'animal. Après le passage du train, les animaux ont repris leur migration au bout de 44 secondes en moyenne (n=84), en conservant souvent la direction qu'ils avaient initialement prise. Un retour en arrière n'a été observé que dans de rares cas. La réussite de la traversée chez les amphibiens sans passage

de train ne se distingue guère de celle avec passage de train, mais la taille de l'échantillon est nettement plus élevée pour les événements sans passage de train (événements avec amphibiens sans passage de train n=1'459 (93%), événements avec amphibiens et passage de train n=104 (7%).

Aucune observation de blessures ni même de décès dus aux changements de pression atmosphérique des trains qui passent n'a été constatée dans les 104 événements avec passage de train (vitesse max. 110 km/h). Les différences de pression augmentent avec la vitesse du train. Alors qu'à Mellikon, il n'y avait pratiquement pas d'onde de pression mesurable à 80 km/h, à la Grande Cariçaie, à 110 km/h, il y a d'abord eu une augmentation de la pression de +5 mbar, suivie d'une chute de la pression de -10 mbar, puis d'une nouvelle augmentation de la pression de +6,5 mbar. Ces différences de pression se sont toutes produites pendant 0,5 seconde. Lors du passage de trains à une vitesse de 130-140 km/h, comme sur la ligne Gland-Nyon, une différence de pression de 217 mbar a été mesurée au niveau du sol entre les rails (Hunziker 2021). Dans certains cas, des adultes et des juvéniles ont été happés par l'onde de choc et emportés sur quelques centimètres, mais les animaux ne semblaient pas blessés.

La traversée sous un rail dans un fossé de ballast était le mode de traversée le plus fréquent. Souvent, les amphibiens s'approchaient du fossé de ballast dans l'espace entre les rails et avaient déjà traversé un rail en dehors de la zone de surveillance. Les amphibiens ont traversé le plus souvent sous la voie (les deux rails). Dans certains cas, les grenouilles ont traversé à la fois sous et sur un rail dans le fossé de ballast. Dans certains cas, les grenouilles rousses ont sauté et grimpé par-dessus les rails en dehors du fossé de ballast. Les déflecteurs de voie ont également été utilisés par les grenouilles rousses comme support d'escalade pour franchir les rails.

Un cas de mortalité en grimpant sur les voies a été enregistré dans la Grande Cariçaie. Une grenouille rousse juvénile a sauté sur le rail avant le passage du train et a été écrasée peu après par le train. A Lungern, on a en outre observé des corbeaux freux patrouillant le long de la voie à la recherche de nourriture. Un crapaud, qui avait auparavant échoué dans sa tentative de traversée, a été capturé par un corbeau.

Les données des deux années d'étude ont montré que les fossés de ballast équipés de déflecteurs de voie sont efficaces pour traverser les voies ferrées. En effet, la plupart des animaux qui ont trouvé le fossé de ballast l'ont utilisé comme prévu pour passer sous les

rails. Certains cependant, ne l'ont pas traversé. Plusieurs fossés de ballast côte à côte avec des déflecteurs de voie permettraient probablement un franchissement plus rapide des voies. Après le passage de la machine « Grampen » qui met en place les voies de chemin de fer, les fossés de ballast doivent être à nouveau rendus franchissables.

Il n'est pas clair durant combien de temps les amphibiens cherchent une possibilité de traverser le long des voies, perdant ainsi du temps et de l'énergie et s'exposant à un risque accru d'être capturés par des prédateurs. Après une traversée non réussie, les amphibiens n'ont pas quitté la zone des voies. Les animaux se sont déplacés soit à gauche soit à droite le long de la voie hors de la zone surveillée.

Lors du passage d'un train, les amphibiens modifient leur comportement et restent souvent sur place, mais dans la grande majorité des cas, ils poursuivent leur tentative de traversée après la perturbation. Les ondes de choc provoquées par le passage des trains ne semblent pas blesser ou entraîner la mort des amphibiens.

La mortalité due à l'escalade des rails est extrêmement faible dans la présente étude. La raison principale est que les amphibiens étaient actifs à des moments où la fréquence des trains était faible. La majorité des amphibiens migrent à la tombée de la nuit, pendant des conditions météorologiques humides ou pluvieuses. Pendant les périodes de forte migration, il faut donc s'attendre à une mortalité plus élevée sur les lignes à plusieurs voies très fréquentées avec des trains de nuit.

En traversant rapidement la ligne de chemin de fer, les amphibiens économiseraient non seulement de l'énergie et du temps, mais seraient aussi exposés moins longtemps aux prédateurs. Des femelles portant des mâles à califourchon ont été observées dans 172 cas (147 à Lungern, 1 à Grande Cariçaie et 23 à Mellikon). Parmi ceux-ci, il y a eu à Lungern (sans aide à la traversée) 1 traversée réussie sous les rails et 2 par-dessus les rails. A Mellikon, 7 traversées réussies ont été enregistrées, dont 6 sous les rails et 1 sur les rails. En ce qui concerne le nombre d'événements, la comparaison entre Mellikon et Lungern montre également que les aides à la traversée ont une influence sur le succès de la traversée. Plusieurs fossés de ballast et des déflecteurs de voie à intervalles rapprochés, sont deux mesures efficaces et peu coûteuses qui permettent aux amphibiens de traverser les lignes de chemin de fer.

Summary

In the annual amphibian migrations, the barrier effect of tracks and the impact of train crossings on crossing amphibians has hardly been studied so far. On behalf of the Federal Office for the Environment (FOEN), the Swiss Federal Railways (SBB), the canton of Aargau and in cooperation with the Coordination Office for Amphibian and Reptile Conservation in Switzerland (KARCH), Wildlife Solutions (WLS.CH) carried out camera-based monitoring of railway lines at four sites in the cantons of Aargau, Obwalden and Vaud over a period of two years. In the canton of Aargau these were at Mellikon: site 2077, IANB AG 432, Mellikon quarry, migration object and at Oberrüti: no migration site, IANB AG 569, Schachen, stationary object. In the canton of Obwalden at Lungern: site 225, IANB OB 109, Lungerner See Nordende, stationary object and in the canton of Vaud at the Grande Carrière: site 198, IANB VD 366, Champ Pittet, Châble Perron, stationary object. The aim of the present study was to investigate whether amphibians can cross the railway tracks with the help of amphibian deflectors (AAB) and ballast trenches (SG) and whether passing trains cause injuries or even kill amphibians.

The camera systems functioned reliably and recorded both juvenile and adult amphibians during their crossing attempts as well as successful crossings. Due to the high sensitivity of the cameras, many videos were generated that were triggered by insects. The visual analysis was therefore time-consuming. With the help of artificial intelligence and machine learning, the data evaluation could be optimised in the future.

The number of amphibians recorded varied between years and sites. During monitoring, a total of 1'563 events involving amphibians were recorded, 320 in Mellikon, 542 in Grande Carrière, 36 in Oberrüti and 665 in Lungern. Toads were most frequently represented with 883 events, followed by frogs (n=579) and newts (n=101).

A total of 322 successful crossings were documented at all sites, 248 of which took place in the ballast trench. Of the 248 successful crossings, the amphibians crossed under both rails in 94 events and 154 only under one rail, as the animals were already in the space between the rails. These animals must therefore have already crossed one rail outside the monitoring area. The conditions with regard to ballast trenches, amphibian deflectors and monitoring duration were not the same at all sites. Therefore, to answer some questions, a reduced data set was used from the sites Mellikon, Grande Carrière (without AAB) and Oberrüti where the same crossing aids were installed. The data of the reduced data set

(n=858) show that of the 257 crossings (30% of 858) of the reduced data set, 90% (n=231) took place through the ballast trench and only 10% (n=26) outside the ballast trench. This corresponds to a crossing success in the ballast trench of 27%.

As far as the animals approached the ballast trench along the rail (n=167) and the animals also had contact with the amphibian deflectors (n=108), the amphibian deflectors fulfilled their purpose to 89% (n=96 of 108). In the remaining 11% (n=12), the animals walked over the amphibian deflectors or turned back. In Lungern, where no crossing aids were installed, only 46 crossings (7%) were observed in 665 events. Crossings over the rails outside the ballast trench were observed only sporadically. Besides amphibians, reptiles and small mammals were also seen using the ballast trench as a crossing aid. Since practically all animals encountered the track outside the wide-angle zone, it was not possible to calculate the time taken to find the ballast trench. Animals with trackers would provide a better data basis here.

Of the 1'563 events, amphibians were observed in 104 events with simultaneous train passage. 55% of the amphibians (n=57 of 104) were already still 5 seconds before the train passed. Within 5 seconds before the train passes, the amphibians' behaviour changes: while 30 animals are still moving before the train passes, only 4 are still moving during the train passage. The majority of the amphibians (55%) remained in place during the train crossing, while 21% jumped away frantically. For 20%, the behaviour was not visible because the train covered the animal. After the train had passed, the animals continued their migration after an average of 44 seconds (n=84), often maintaining their original direction. Only in rare cases a reversal was observed. The crossing success of amphibians without train passage hardly differs from that with train passage, but the sample size of events without train passage is considerably higher. Events with amphibian without train passage n=1'459 (93%), events with amphibian and train passage n=104 (7%).

In none of the 104 events with train passage were injuries or even kills observed in juvenile and adult amphibians due to changes in air pressure caused by passing trains (max. speed 110 km/h). Pressure differences increase with increasing speed. While in Mellikon at 80 km/h hardly any pressure wave was measurable, in Grande Cariçaie at 110 km/h there was first a pressure increase of +5 mbar, followed by a pressure drop of -10 mbar and a renewed pressure increase of +6.5 mbar. These pressure differences all occurred during 0.5 seconds. When trains passed through at a speed of 130-140 km/h, as on the Gland-Nyon

line, a pressure difference of 217 mbar was measured at ground level between the rails (Hunziker 2021). In individual cases, both adult and juvenile animals were caught by the pressure wave and blown away by a few centimetres, but the animals appeared uninjured.

Crossing under a rail in a ballast trench was the most common crossing method. Often the amphibians approached the ballast trench in the space between the rails and had already crossed a rail outside the monitoring area. Amphibians crossed under the track (both rails) second most often. In some cases, frogs crossed both under and over a rail in the ballast trench and some frogs jumped and climbed over the rails outside the ballast trench. The amphibian deflectors were also used by grass frogs as climbing aids to cross the rails.

A case of mortality while climbing the tracks was recorded in the Grande Cariçãie. A juvenile grass frog jumped onto the rail before the train passed and was run over by the train shortly afterwards. In Lungern, raven crows were also observed patrolling the track looking for food. A toad that had previously failed in its attempt to cross was captured by a raven crow.

The data from both study years showed that ballast trenches with amphibian deflectors are effective for crossing tracks, even if not all animals that find the ballast trench cross in it. Most animals used the ballast trench as intended to cross under the rails. Several ballast trenches next to each other with amphibian deflector would probably allow faster crossing of the rails. After tamping, it is essential to make ballast trenches passable again.

It remains unclear how long the amphibians spend searching for a crossing opportunity along the tracks, losing time and energy in the process, as well as being exposed to an increased risk of being captured by predators. Leaving of the track area after unsuccessful crossing could not be observed. The animals migrated either left or right along the track out of the monitored area.

During train crossings, amphibians change their behaviour and often remain in place, but in most cases, they continue their crossing attempt after the disturbance. Pressure waves from passing trains do not appear to cause injury or death to amphibians.

The mortality due to climbing on the rails is extremely low in the present study. The main reason for this is that the amphibians were mainly active at times with low train frequencies. Most amphibians migrate in the dark during wet or rainy weather conditions. Therefore,

during peak migration periods, higher mortality is to be expected on highly frequented, multi-track lines with night trains.

By crossing the railway line quickly, amphibians would not only save energy and time, but would also be exposed to predators for less time. Females with males piggybacking were observed in 172 events (147 Lungern, 1 Grande Cariçãie and 23 in Mellikon). Of these, 1 successful crossing occurred under the tracks and 2 over the tracks in Lungern (without crossing aids). In Mellikon, 7 successful crossings were recorded, of which 6 were under the rails and 1 over the rails. Regarding the number of events, the comparison between Mellikon and Lungern also shows that crossing aids have an influence on crossing success. Several ballast trenches and track deflectors at short intervals, are two effective and low-cost measures that allow amphibians to cross railway lines.

1. Ausgangslage

Amphibien müssen auf ihren saisonalen Wanderungen häufig Hindernisse wie Bahngleise und Strassen überwinden, um in ihre Laich- resp. Sommer- und Überwinterungsgebiete zu gelangen. Während viele Tiere auf ungeschützten Strassenabschnitten bei den Frühjahrswanderungen ums Leben kommen (Meyer et al., 2014), ist die Barrierewirkung von Bahngleisen und die Auswirkungen bei Zugdurchfahrten auf querende Amphibien kaum untersucht (Dornas et al., 2019). In einer Studie aus Polen (Budzik & Budzik, 2014) wurden Amphibien in der Nähe von Bahngleisen ohne äussere Verletzungen tot aufgefunden. Um Amphibien die Querung der Gleise zu erleichtern, hat die SBB an drei Amphibienzugstellen zwischen zwei Bahnschwellen Schotter ausgehoben und oberhalb der Schottergräben (SG) teilweise zusätzlich Amphibienableitbleche (AAB) installiert (VSS 640 699A). Die Amphibienableitbleche sollen Tiere, die entlang der Schiene wandern, direkt in den Schottergraben lenken, wo die Amphibien anschliessend das Gleis unterqueren können. Um die Effektivität von Schottergräben und Amphibienableitblechen zu überprüfen sowie die Auswirkungen von Zugdurchfahrten auf Amphibien zu untersuchen, wurden im Auftrag des BAFU die vier Standorte (drei mit Kombinationen von Schottergräben und Amphibienableitblechen, einer ohne jegliche Querungshilfen auf der Strecke der Zentralbahn mit solarbetriebenen Videoanlagen in den Jahren 2020 und 2021 überwacht. In dieser Studie galt es folgende Fragen zu beantworten:

1. Erlauben die Schottergräben (mit und ohne AAB) ein erfolgreiches Queren der Gleise?
2. Wie lange dauert es, bis die Tiere den Durchlass finden (mit und ohne AAB)?
3. Beeinflusst die Durchfahrt eines Zuges das Verhalten (Verharren, Umkehren) der Amphibien bei der Querung?
4. Gibt es zwischen verschiedenen Amphibienarten und Altersstadien (Juvenile und Adulte) Unterschiede bezüglich des Verhaltens während Querungen mit Bahnverkehr?
5. Führt der erhöhte Luftdruck vorbeifahrender Züge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten zu Verletzungen oder zur Tötung der querenden Tiere?
6. Gibt es zwischen verschiedenen Amphibienarten und Altersstadien (Juvenile und Adulte) Unterschiede bezüglich potenzieller Verletzungen oder Tötungen durch den Luftdruckwechsel vorbeifahrender Züge?
7. Wie gross sind die Luftdruckänderungen zwischen den Gleisen auf Bodennähe bei vorbeifahrenden Zügen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten?
8. Gibt es ein erfolgreiches Queren über die Gleise? Wenn ja, welche Arten?
9. Wird eine Mortalität beim Klettern über die Gleise festgestellt?

2. Material & Methoden

2.1. Monitoringstandorte

Die vier Monitoringstandorte an den Amphibienzugstellen Mellikon (AG; 2'669'232/1'268'886), Grande Cariçai (VD; 2'543'277/1'183'017), Oberrüti (AG; 2'673'025/1'225'236) und Lungern (OW; 2'655'842/1'183'910) wurden von Karch (Silvia Zumbach, info fauna – Karch,) und WLS.CH für diese Studie definiert. An diesen Standorten wurde ein videobasiertes Monitoring der Bahnstreckenabschnitte durchgeführt. In Mellikon (1 Gleis), der Grande Cariçai (1 Gleis) und in Oberrüti (2 Gleise) wurden insgesamt drei Bahngleisabschnitte (4 Gleise) mit Schottergräben und Amphibienableitblechen untersucht. Auf dem Gleisabschnitt in Lungern wurden keine Querungshilfen installiert. Die Gleisabschnitte der Standorte Mellikon und Grande Cariçai wurden während zwei Jahren (2020 und 2021) überwacht, während das Monitoring in Oberrüti und Lungern nur im Jahr 2021 durchgeführt wurde. Die Monitoringstandorte Mellikon, Lungern und Grande Cariçai sind zudem offizielle Karch Amphibienzugstellen (Zugstandortnummern 2077, 225 und 198). Die Standorte Grande Cariçai, Oberrüti und Lungern sind im Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung: Grande Cariçai IANB VD 366/Champ Pittet, Châble Perron, Oberrüti IANB AG 569/Schachen und Lungern IANB OB 109/Lungerer See Nordende. Die Standortbeschreibungen sind in den Abb. 1, Abb. 2, Abb. 3, Abb. 4, Abb. 5, Abb. 6 und Abb. 7 ersichtlich und die genauen Erfassungszeiträume sind in der Tab. 1 aufgelistet.

Standort Mellikon (AG)

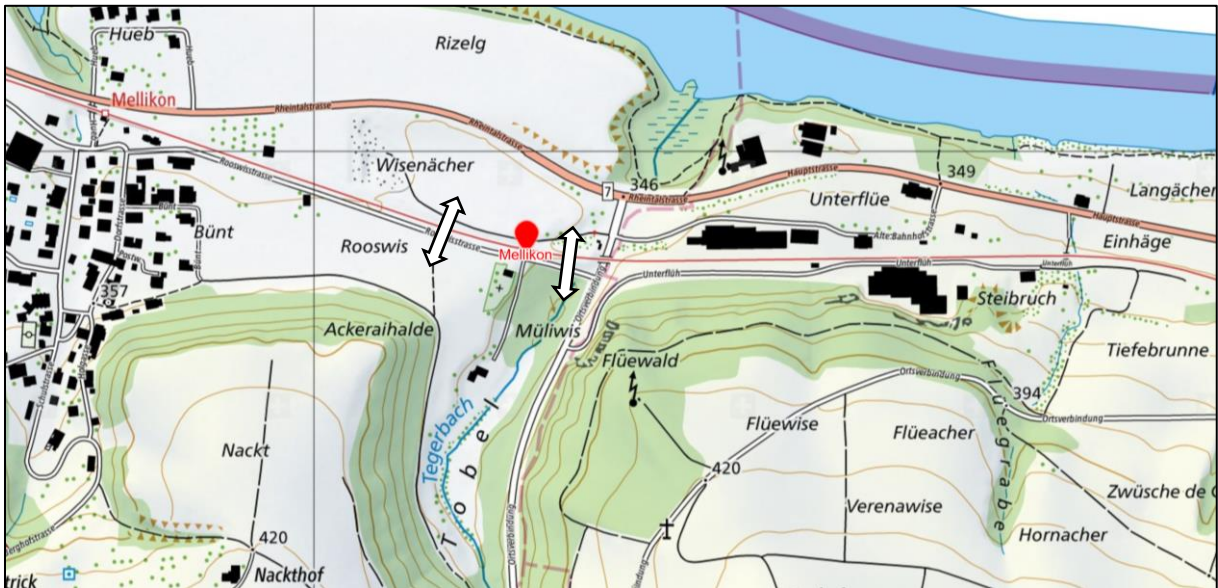


Abb. 1: Am Standort Mellikon AG (roter Punkt, Zugstellennummer 2077,) ziehen die adulten Tiere im Frühjahr aus dem bewaldeten Tegerbachtobel und der Ackerihalde zu ihren Laichtümpeln. Dabei müssen sie das Gleis, welches von der S9 zwischen Mellikon und Rümikon befahren wird, queren. © Swisstopo (2020)

Standort Grande Cariçaie (VD)

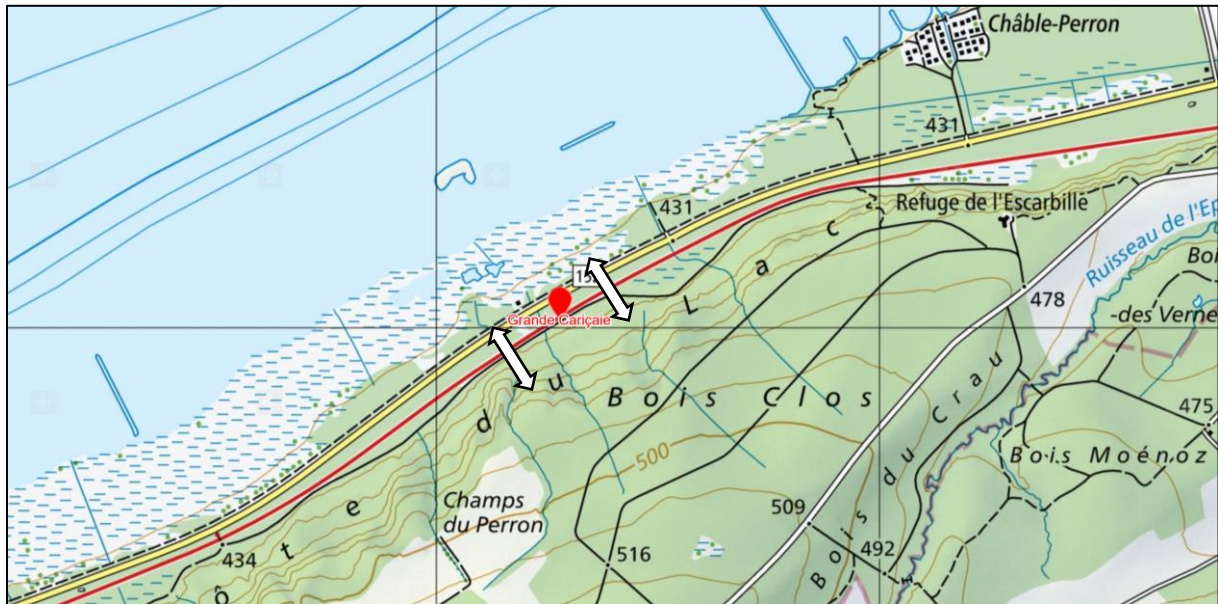


Abb. 2: Standort Grande Cariçaie VD (roter Punkt, Yverdon-les-Bains – Yvonand, Zugstellenummer 198) am Neuenburgersee. Hier müssen die Amphibien die Bahnlinie zwischen Yverdon-Les-Bains und Yvonand queren.
© Swisstopo (2020)

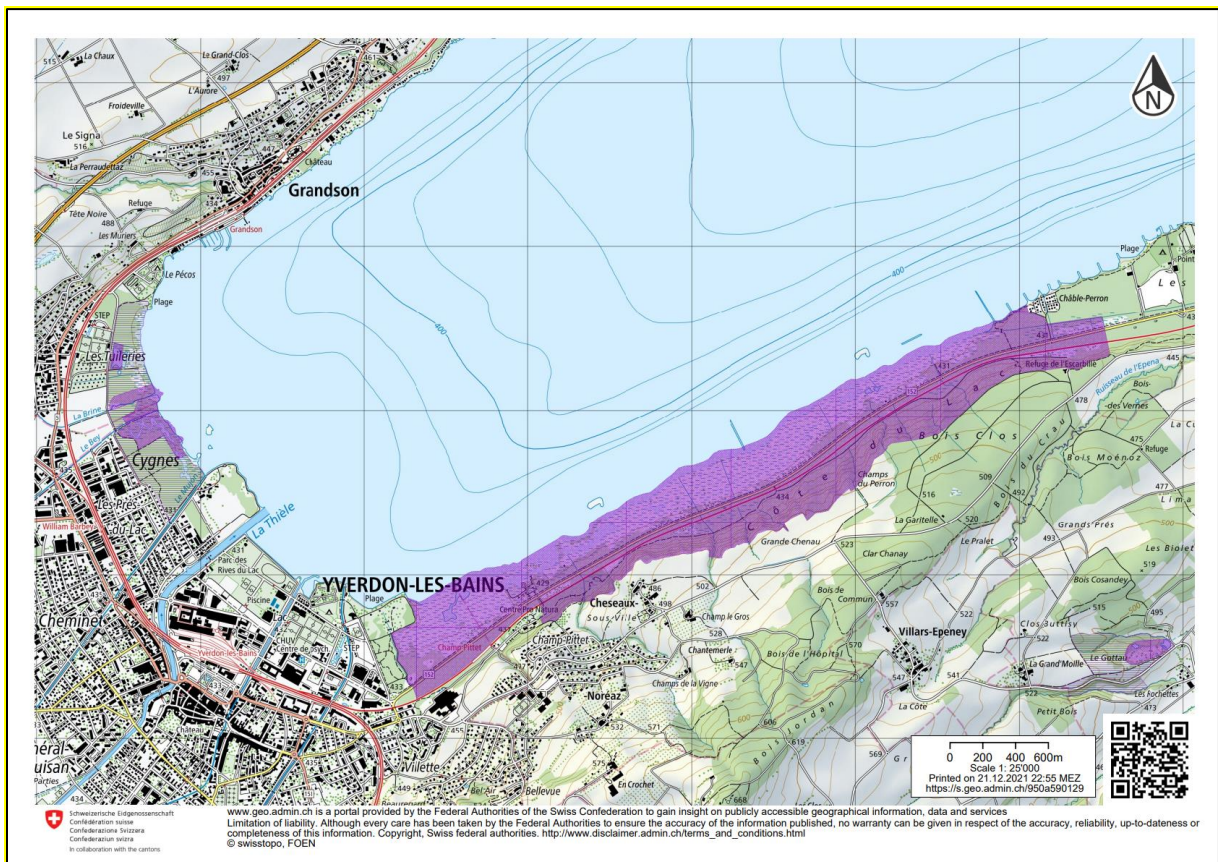


Abb. 3: Kartenausschnitt aus dem Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung. Der untersuchte Standort Grande Cariçaie liegt im ortsfesten Objekt IANB VD 366, Champ Pittet, Châble Perron. © Swisstopo, (2021)

Standort Oberrüti (AG)

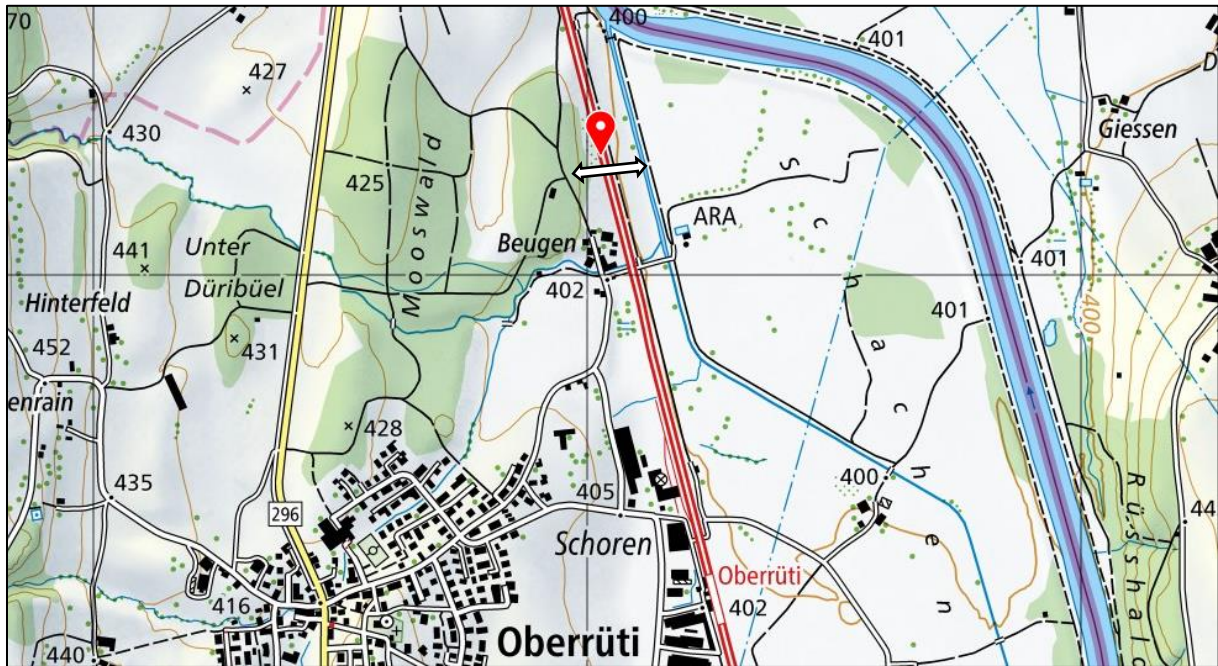


Abb. 4: Am Standort Oberrüti (roter Punkt) ist die Strecke zweigleisig mit hohem Verkehrsaufkommen von Personen- und Güterzügen. Hier wandern die Amphibien vom Mooswald Richtung Binnenkanal und Reuss. © Swisstopo (2021)

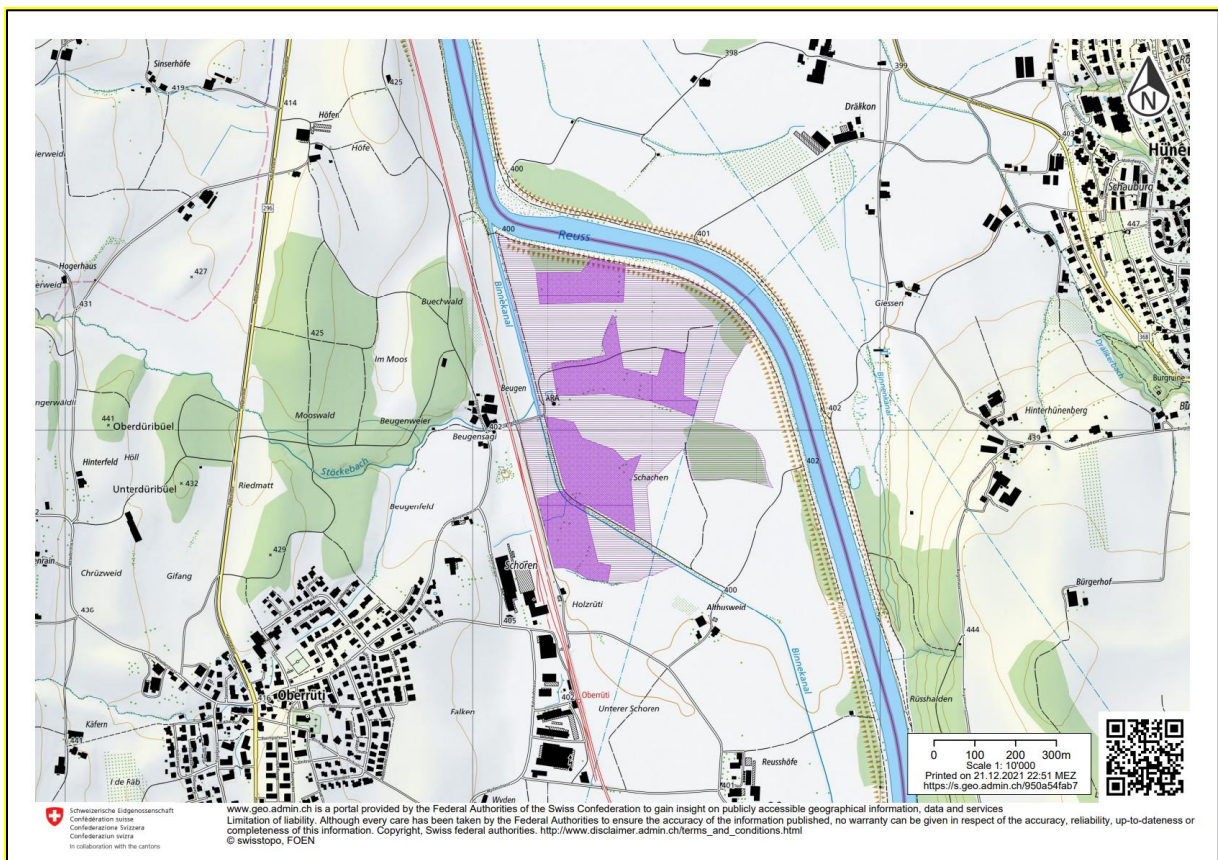


Abb. 5: Kartenausschnitt aus dem Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung. Der untersuchte Standort Oberrüti liegt beim ortsfesten Objekt IANB AG 569, Schachen. © Swisstopo, 2021

Standort Lungern (OW)

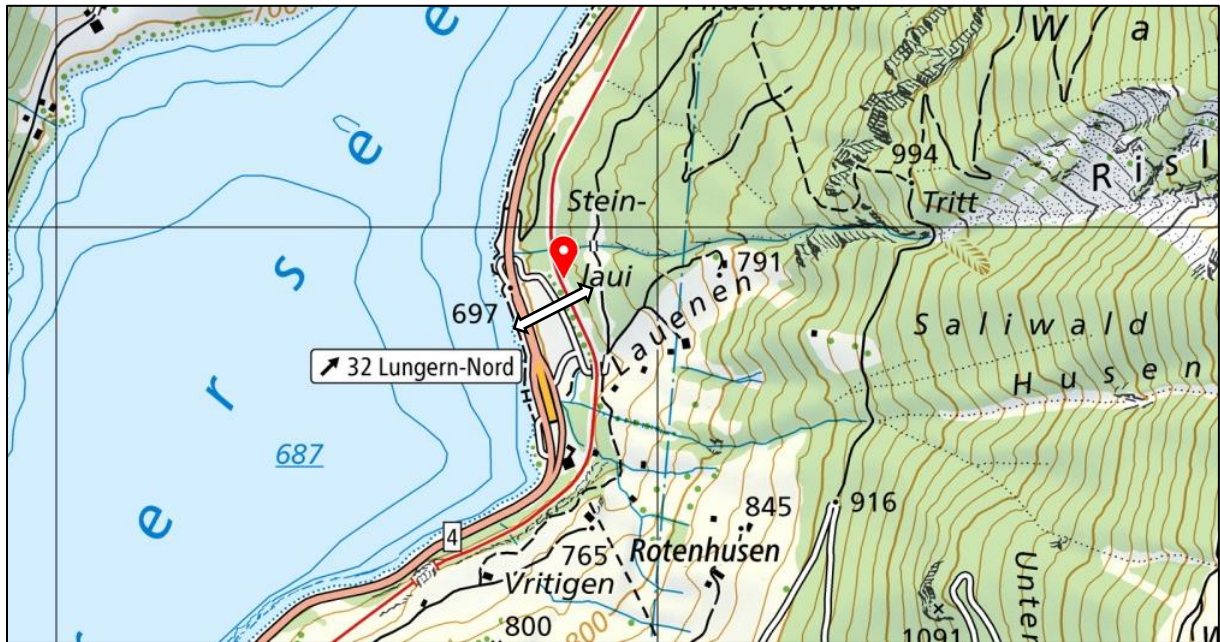


Abb. 6: Am Standort Lungern (roter Punkt, Zugstellenummer. 225), wandern die Amphibien aus den Wäldern Richtung Laichgewässer am Ufer des Lungernsees. Dabei müssen Sie die Bahnstrecke zwischen Lungern und Kaiserstuhl überqueren. © Swisstopo (2021)

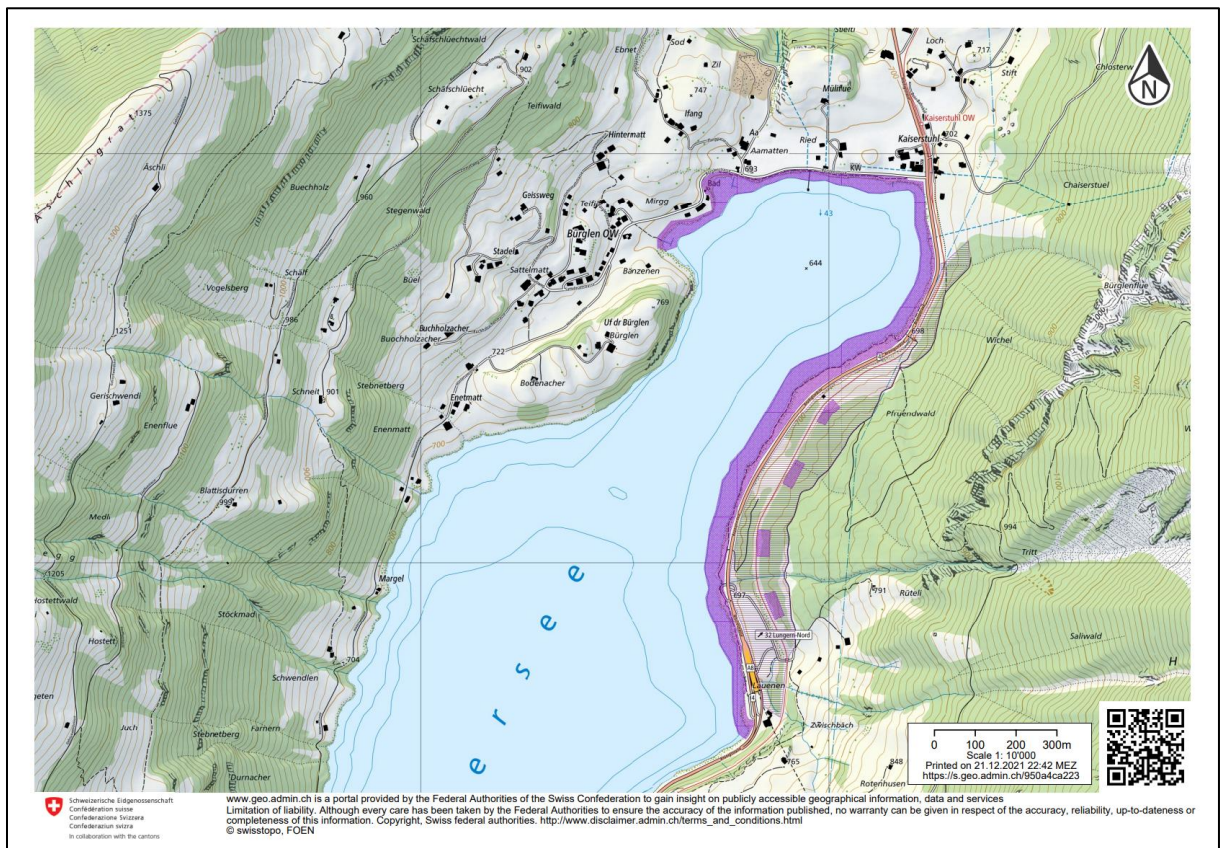


Abb. 7: Kartenausschnitt aus dem Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung. Der untersuchte Standort Lungern liegt im ortsfesten Objekt IANB OB 109, Lungerner See Nordende. Swisstopo 2021

Tab. 1: Monitoringzeiträume an den vier Standorten, sowie die Installation der Amphibienableitbleche (AAB) und Anzahl Schottergräben (SG) pro Standort. In Mellikon wurden entlang des Bahnabschnitts mehrere SG ausgehoben, aber nur einer überwacht. In der Grande Cariçaie wurden die AAB im Jahr 2020 erst am 11.03.2020 installiert – also ca. einen Monat nach Monitoringbeginn. In Lungern wurden keine Querungshilfen installiert.

Standort	2020		
	Monitoring	Installation AAB	Anzahl SG
Mellikon	21.02.-31.08.2020	21.02.2020	1 überwacht
Grande Cariçaie	14.02.-31.08.2020	ab 11.03.2020 installiert	2 einer mit AAB, einer ohne
2021			
Mellikon	30.01.-19.04.2021	Bereits installiert	1 überwacht
Grande Cariçaie	29.01.-31.08.2021	Bereits installiert	2, einer mit AAB, einer ohne
Oberrüti	08.03.-31.08.2021	08.03.2021	2-gleisig, 1 SG pro Gleis
Lungern	19.04.-31.08.2021	-	-

2.2. Kamerasysteme

An den Standorten Mellikon und Grande Cariçaie wurde das von WLS.CH entwickelte solarbetriebene Überwachungssystem installiert, bestehend aus Nahbereich- und Weitwinkelkamera sowie einem Solarpanel (Abb. 8, Abb. 9). In Oberrüti wurden zwei Nahbereichskameras (Abb. 10) und in Lungern wurde eine Nahbereichskamera installiert (Abb. 11). In Mellikon, Grande Cariçaie und Lungern wurden die Amphibien mittels Amphibienzäunen zu den Querungsstellen geleitet.



Abb. 8: Kamerasystem in Mellikon: Kameramast mit Weitwinkel- und Nahbereichskamera, Stromkasten mit Batterie und Router (links) sowie Solarpanel (rechts). © WLS.CH, 2020



Abb. 9: Kamerasystem in der Grande Cariçaie: Kameramast mit Weitwinkel- und Nahbereichskamera, Stromkasten mit Batterie und Router (links) sowie Solarpanel (rechts). © WLS.CH, 2020



Abb. 10: Kamerasystem in Oberrüti: Kameramast mit zwei Nahbereichskameras, Stromkasten mit Batterie und Router (links) sowie zwei Solarpanel (rechts). Diese Strecke bestand aus zwei Gleisen. © WLS.CH, 2021



Abb. 11: Kamerasystem in Lungern: Kameramast mit Nahbereichskamera, Stromkasten mit Batterie und Router (links) sowie Solarpanel (rechts). © WLS.CH, 2021

Die Auslösung der Kameras basiert auf Pixelveränderungen im Aufnahmebereich. Die Nahbereichskamera ist direkt auf den Schottergraben ausgerichtet. Weder Passanten noch Zugpassagiere werden von den Kameras erfasst. Die Kamerasysteme waren durch einen installierten Router online erreichbar. Funktion, Videoaufnahmen, Programmierung etc. konnten so jederzeit überprüft und angepasst werden. Durch den Online-Zugang konnte ebenfalls die verbleibende Speicherkapazität abgerufen werden. Die SD-Karten wurden durchschnittlich alle 2-4 Wochen ausgetauscht und ausgelesen, je nach Aufnahmevermögen. Während der gesamten Monitoringdauer generierten die Kameras von 17:00-06:00 Uhr Aufnahmen. Fotos von Querungsversuchen der drei dokumentierten Amphibiengruppen (Frösche, Kröten, Molche) sind in im Anhang II S. 89 in Abb. 41, Abb. 42 und Abb. 43 zu sehen.

2.3. Amphibienableitbleche und Schottergraben

Um die Barrierewirkung von Gleisen für migrierende Amphibien zu mildern, wurden an den Monitoringstandorten Schottergräben ausgehoben und Amphibienableitbleche installiert. Durch das Entfernen von Schotter zwischen zwei Bahnschwellen entsteht eine Lücke, welche von Amphibien zur Unterquerung der Schienen genutzt werden können. Neben Schottergräben sind auch Amphibienableitbleche wichtige Querungshilfen. Bewegen sich Amphibien auf dem Gleisfuß, stoßen sie früher oder später auf die Amphibienableitbleche. Die Amphibienableitbleche, welche oberhalb des Schottergrabens installiert sind, führen dazu, dass Amphibien vom Gleisfuß abgedrängt werden und in den darunterliegenden Schottergraben fallen (Abb. 12).



Abb. 12: Schottergraben und installierte Amphibienableitbleche. © WLS.CH, 2021

2.4. Fragen – Auswertungstabelle mit Kriterien und Kategorien

Um die offenen Fragen zu beantworten, wurden sämtliche Videos aller Standorte visuell analysiert. Dabei wurde der Querungsversuch jedes entdeckten Amphibs nach vorgängig definierten Kriterien beurteilt. Nachfolgend werden die wichtigsten Kategorien und Beurteilungsmöglichkeiten kurz erläutert. Das ausführliche Auswertungsprotokoll ist im Anhang I S. 81 hinterlegt. Für die Datenanalyse wurden je nach Fragestellung die entsprechenden Ereignisse gefiltert, Tabellen erstellt und die Daten in Tabellen oder Diagrammen visualisiert.

Ereignis

Entdeckte Amphibien wurden als Ereignisse kategorisiert, welche mit einer ID-Nummer versehen wurde, die auf Standort, Jahr und Ereignisnummer zurückschliessen lässt. Weibchen mit Männchen im Huckepack (Amplexus; Abb. 13) wurden als ein Ereignis erfasst und dabei bei der «Anzahl» eine «2» vermerkt. Zwei Ereignisarten wurden unterschieden: «Amphib» oder «Amphib mit Zugdurchfahrt». Bei jedem Ereignis wurden «Datum», «Uhrzeit», «Tierart», «Alter», «Material» (Untergrund bei Annäherung), «Richtung», «Zweck Amphibienableitbleche erfüllt», «Nutzung Schottergraben», «Querung», «Querungsart», «Weiterreise», «Zugdurchfahrt», «Zugart», «Verhalten vor, während und nach

Zugdurchfahrt», «Zustand nach Zugdurchfahrt» sowie «Zeit bis Bewegung nach Zugdurchfahrt» festgehalten. In der Kategorie «Tierart» wurde zwischen Frosch, Kröte und Molch unterschieden. Es wurden überwiegend Grasfrösche, Erdkröten (Abb. 13) und Bergmolche beobachtet. In wenigen Fällen war aufgrund der Grösse der Tiere eine Artbestimmung nicht sicher möglich. Deshalb wurden die Gruppennamen Frosch, Kröte und Molch eingesetzt und der Begriff «Tierart» wurde nicht im taxonomischen Sinn verwendet.



Abb. 13: Erdkrötenweibchen mit Männchen im Huckepack am Standort Lungern. © Annette Stephani, 2021

Frage 1: Amphibienableitbleche (AAB) und Schottergraben (SG)

Die Amphibienableitbleche (Abb. 14) dienen dazu, Amphibien, welche sich dem Schottergraben entlang der Schiene nähern in diesen abzurängen, unabhängig davon, ob sie anschliessend queren. Die Kategorie «Zweck Amphibienableitbleche» wurde als «erfüllt» betrachtet, wenn die Amphibien durch die Amphibienableitbleche in den Schottergraben runterfielen, selbst runtersprangen, die Amphibienableitbleche als Steighilfe über die Schiene nutzten oder eine Kombination davon. Als «Zweck nicht erfüllt» galt, wenn

Amphibien über die Amphibienableitbleche drüberstiegen oder nicht in den Schottergraben runterfielen und ihre Wanderung entlang des Gleises fortsetzten. Kontakt mit dem Amphibienableitblechen hatten diese Tiere aber trotzdem. Teilweise war eine Beurteilung nicht möglich, da sich die Amphibien hinter der Schiene annäherten. Dieser Fall wurde mit «nicht sichtbar» beurteilt. Falls die Amphibien nie Kontakt mit den Amphibienableitblechen hatten, wurde dies als «kein Kontakt» beurteilt. Diese verschiedenen Fälle wurden bei der Analyse beachtet.

Der Zweck des Schottergrabens ist es, den Amphibien die Unterquerung einer Schiene oder des Gleises zu ermöglichen (Abb. 14). Die Kategorie «Schottergraben gefunden und genutzt» wurde als «erfüllt» betrachtet, wenn die Amphibien den Schottergraben als Unterquerungsmöglichkeit nutzten. Falls Tiere im Schottergraben über die Gleise hüpfen, wurde dies als «nicht genutzt» beurteilt, weil das Überqueren des Gleises oder einer Schiene nicht die vorgesehene Querungsart im Schottergraben ist. Falls die Tiere Kontakt hatten mit dem Schottergraben aber z.B. vorbei gingen, wurde dies als «nicht genutzt» genauer noch als «vorbei links oder rechts» beurteilt. Hatten Tiere aber nie Kontakt mit dem Schottergraben, weil sie z.B. links davon über die Schiene hüpfen, wurde dies als «kein Kontakt» vermerkt. Über- und unterquerten Tiere im Schottergraben je eine Schiene, wurde dies als «erfüllt» beurteilt, da mindestens eine Schiene «richtig» unterquert wurde.

Bei der Nutzung der Amphibienableitbleche als Steighilfe über eine Schiene und ohne Kontakt mit dem Schottergraben wurde dieser seltene Fall mit «nicht genutzt» beurteilt. Für die Frage 1 «Querung im Schottergraben mit und ohne Amphibienableitbleche» wurde einerseits das Total der erfolgreichen Querungen (im und ausserhalb des Schottergrabens, alle Querungsarten) analysiert und andererseits die erfolgreichen Querungen in Abhängigkeit der Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche und des Schottergrabens beurteilt.

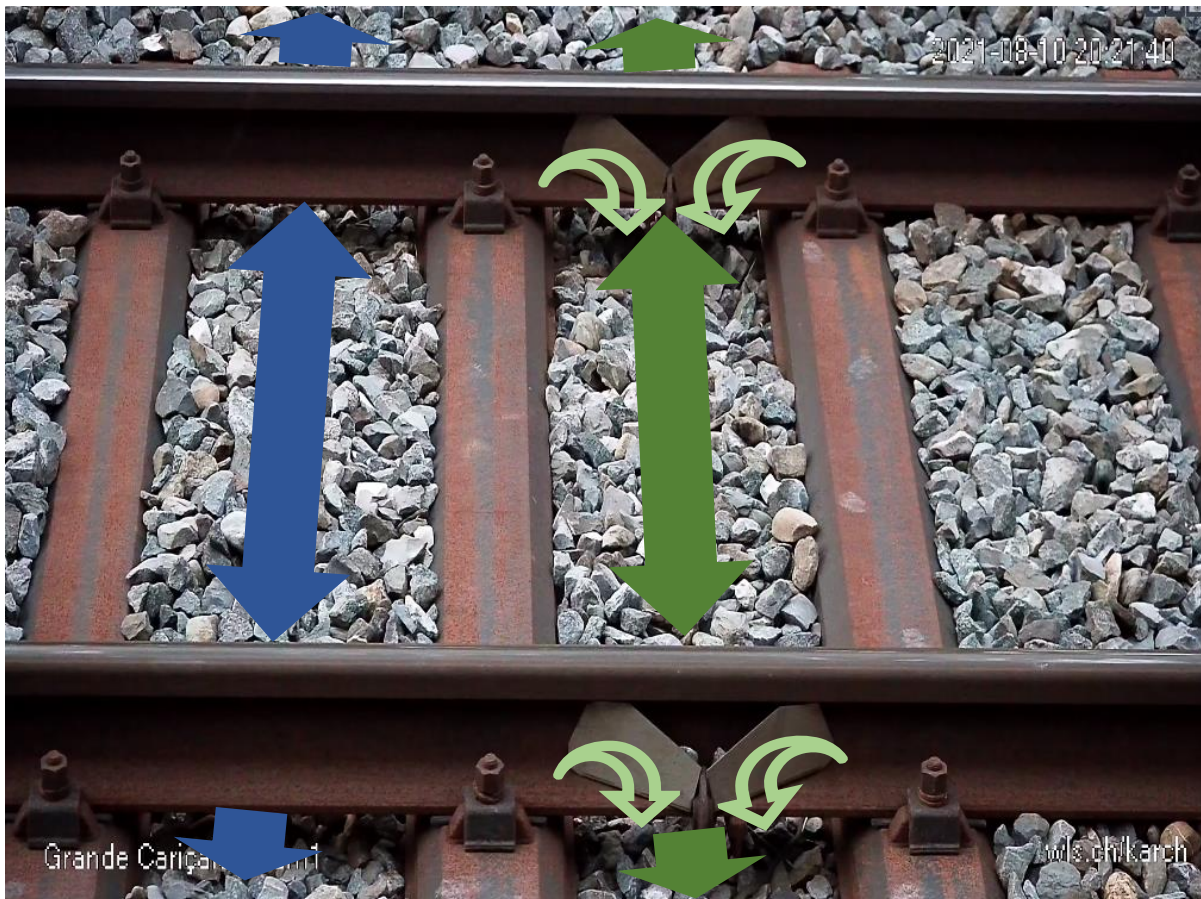


Abb. 14: Standort Grande Carrière mit installierten Amphibienableitblechen (hellgrün), dem darunter ausgehobenen Schottergraben (dunkelgrüner Pfeil) sowie einem zweiten Schottergraben links davon (blauer Pfeil). © WLS.CH, 2021

Frage 2: Zeit bis Auffindung des Schottergrabens

Zur Beantwortung dieser Frage wurde das Bildmaterial der Weitwinkelkameras analysiert. Für die Auswertung wurde die Zeit ab Erscheinen des Amphibs am Rand des Bildes bis zum Erreichen des Schottergrabens gemessen. Dabei wurden nur Ereignisse berücksichtigt, in denen erfolgreiche Querungen zu beobachten waren und sich die Tiere dem Schottergraben von oben oder unten annäherten.

Frage 3 und 4: Verhaltensänderung bei Zugdurchfahrt

Bei Ereignissen mit Zugdurchfahrt wurde das Verhalten vor, während und nach der Zugdurchfahrt beurteilt. Folgende Beurteilungskriterien wurden erstellt:

Vor Zugdurchfahrt:

- «in Bewegung» Amphib bewegt sich bis 5 Sekunden zur Zugdurchfahrt noch

- «verharren» Amphib bewegt sich bereits ab 5 Sekunden vor Zugdurchfahrt nicht mehr

Während Zugdurchfahrt:

- «verharren» Amphib bewegt sich während Zugdurchfahrt nicht
- «weggesprungen» Amphib springt während der Zugdurchfahrt hektisch weg
- «in Bewegung» Amphib bewegt sich trotz Zug wie vorher weiter

Nach Zugdurchfahrt

- «sofort weiter» Amphibien setzen ihre Wanderung innert 5 Sekunden nach Zugdurchfahrt fort
- «verharren und weiter» Amphibien bewegen sich nach 5 Sekunden oder später
- «verharren» Amphibien verharren, bis das Video zu Ende ist
- «weggesprungen» Amphibien springen hektisch weg
- «nicht sichtbar» Verhalten ist nicht sichtbar

Frage 5-7: Tötung oder Verletzung durch Luftdruckunterschiede sowie Messung des Luftdrucks bei Zugdurchfahrt

Um Druckunterschiede verschiedener Zugarten und Geschwindigkeiten zu messen, wurden an mehreren Standorten Luftdruckmessungen durchgeführt. Zur Messung potenzieller Druckunterschiede wurde ein MSR160 Data Logger auf Schotterhöhe direkt zwischen den Schienen platziert. Die Positionshöhe lag auf demselben Niveau wie die querenden Amphibien.

Frage 8: Erfolgreiche Querungsarten

Für die «Querungsart» wurde zwischen dem Gleis (2 Schienen) und einer Schiene unterschieden. Für die Analyse wurde eine Querung dann als erfolgreich eingestuft, wenn die Amphibien die Wiese oder das Schotterbett oberhalb bzw. unterhalb des Gleises erreicht hatten. Eine erfolgreiche Querung konnte durch Überwindung des Gleises aber auch nur einer Schiene erfolgen, wenn sich die Tiere bereits im Gleiszwischenraum (GZR) befanden. Eine Querung war auch dann erfolgreich, wenn die beiden Querungshilfen Amphibienableitbleche und Schottergraben nicht genutzt wurden. Je nach Fragestellung

wurden diese Fälle nicht berücksichtigt. Ein ausführlicher Beschrieb zu den Querungsmöglichkeiten befindet sich im Protokoll (S.81).

Sonderfälle

Zweigleisige Strecke: Die Strecke in Oberrüti bestand aus zwei Gleisen (vier Schienen). In diesem Fall galt eine erfolgreiche Querung als erfüllt, wenn ein Gleis und nicht beide überquert wurden, denn die beiden installierten Kameras haben je ein Gleis überwacht.

Falls Videosequenzen zu früh mit der Aufzeichnung stoppten und dadurch nicht sichtbar war, wie sich ein Tier aus dem Überwachungsbereich bewegt, wurden die entsprechenden Kategorien mit «nicht sichtbar» beurteilt, da die Weiterreise nicht beurteilt werden konnte.

Alle Kameras wurden so installiert, dass der obere Bildrand Richtung Laichgewässer zeigte und der untere Bildrand Richtung Überwinterungsgebiet resp. Sommerhabitat. Erschienen im Frühjahr Amphibien am oberen Bildrand im Bereich hinter dem Gleis, wurde angenommen, dass dieses Tier das Gleis bereits anderswo erfolgreich gequert hatte. Dies wurde mit «bereits oben» oder im Fall der Rückkehrer mit «bereits unten» beurteilt. Diese Ereignisse wurden auch nicht zu den Totalquerungen dazugezählt, da die Querung nicht im Überwachungsbereich der Kameras stattgefunden hatte.

Frage 9: Mortalität beim Klettern an den Gleisen

Zur Beantwortung dieser Frage wurden nur direkt in Videos sichtbare Tötungen oder Verletzungen gezählt. Über Tiere, welche ausserhalb des Überwachungsbereichs der Kameras potenziellen Verletzungen erlagen, konnten keine Aussagen gemacht werden.

3. Resultate

3.1. Standorteigenschaften und Datenanalyse

Während der Studie waren die Bedingungen bezüglich Monitoringdauer, Amphibienableitblechen und Schottergräben nicht überall identisch. Neben der unterschiedlichen Monitoringdauer an den Standorten gab es auch Unterschiede bei den Querungshilfen. In Lungern waren nie Amphibienableitbleche installiert und auch keine Schottergräben ausgehoben worden. In der Grande Cariçai waren bis zum 11.03.2020 ebenfalls keine Amphibienableitbleche installiert. In Mellikon waren Amphibienableitbleche und Schottergräben vorhanden. In Oberrüti wurde die Bahnstrecke zweigleisig befahren. Pro Gleis wurden mehrere Schottergräben ausgehoben sowie Amphibienableitbleche installiert. Es wurde jeweils ein Schottergraben pro Gleis mit einer Kamera überwacht. In der Grande Cariçai wurden zwei nebeneinander angelegte Schottergräben überwacht, der eine hatte Amphibienableitbleche installiert der andere nicht.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Bedingungen wurden die Daten von Lungern und jene von der Grande Cariçai bevor die Amphibienableitbleche installiert wurden, in Bezug auf die Querungen im Schottergraben separat oder im Fall von Lungern nur das Total der Querungen analysiert. Für die Bewertung der Querungen im Schottergraben und die Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche wurden die Daten von Mellikon, der Grande Cariçai (mit AAB) und Oberrüti zusammen analysiert. Von den ursprünglich 1'563 Ereignissen aller Standorte betrug das Total der Ereignisse nach der Datenbereinigung noch 858.

3.2. Kamerasysteme

Die vier Kamerasysteme haben zuverlässig aufgezeichnet. Um keine Amphibien zu verpassen, wurde die Sensitivität der Kameras auf «hoch» eingestellt. Aus diesem Grund lösten auch Spinnen, Nachtfalter, Mücken und Fliegen sowie Vegetation und Regen die Kameras aus. Dies führte in vielen Fällen dazu, dass die Kameras durchgehend Aufnahmen generierten, was rasch grosse Mengen an Speicherkapazität aufbrauchte und die Auswertung der Daten erschwerte. Ebenso musste die Linse mehrmals von Spinnweben gereinigt werden.

3.3. Anzahl der Ereignisse während Untersuchungszeit aller Standorte

Obwohl die Artbestimmung in Einzelfällen schwierig war, konnte bis auf wenige Ausnahmen die Kröten als Erdkröten (*Bufo bufo*) und die Frösche als Grasfrösche (*Rana temporaria*) identifiziert werden. Bei den Molchen wurde angenommen, dass es sich hauptsächlich um Bergmolche (*Ichthyosaura alpestris*) handelte.

Der Hauptzug fand meist im Februar und März statt. Eine Ausnahme bildet hierbei Lungern, wo der Hauptzug der Kröten, vermutlich aufgrund der Höhenlage und den trockenen Wetterbedingungen, erst gegen Ende April einsetzte. Grafiken zum monatlichen Verlauf der Amphibienzüge pro Standort, Art und Querungsrichtung sind im Anhang III (S.86) zu finden. Insgesamt konnten vom 14.02.20 bis 31.08.2021 an allen Standorten zusammen 1'563 Ereignisse mit 1'734 Amphibien dokumentiert werden, davon 320 Ereignisse in Mellikon, 542 in der Grande Cariçaie, 36 in Oberrüti und 665 in Lungern. Die Diskrepanz in der Anzahl der Ereignisse und der Anzahl der Amphibien kommt dadurch zustande, dass in 171 Ereignissen Weibchen mit Männchen im Huckepack (Amplexus) dokumentiert wurden. Berechnungen wurde jedoch mit der Anzahl Ereignisse durchgeführt. Von den 1'563 Querungsversuchen fanden 1199 (77%) bei Regen oder nassen Wetterverhältnissen statt, während 364 (23%) Querungsversuche bei trockenem Wetter beobachtet wurden.

Ereignisse mit Amphibien und Zugdurchfahrten (AZ) wurden insgesamt 104 aufgezeichnet, Ereignisse ohne Zugdurchfahrt (A) 1'459. Eine genaue Auflistung der Totalereignisse nach Tierart und Alter sowie erfolgreichen Querungen sind in Tab. 2 und Tab. 3 dargestellt. In den Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6, Tab. 7 sind die Ereignisse pro Standort, Tierart, Alter, Ereignisart und erfolgreichen Querungen aufgeschlüsselt. In Oberrüti querten die Amphibien in Bezug auf die Anzahl Ereignisse am erfolgreichsten mit 42% Querungserfolg, gefolgt von Mellikon (35%), Grande Cariçaie (28%) und Lungern mit (7%).

Tab. 2: Total aller Ereignisse an allen vier Standorten während der Jahre 2020 und 2021 nach Tierart und Alter. Kröten wurden am häufigsten dokumentiert, gefolgt von Fröschen und Molchen.

Total Ereignisse alle vier Standorte 2020 und 2021					
1'563 (100%)					
Frösche		Kröten		Molche	
579		883		101	
adult	juvenil	adult	juvenil	adult	juvenil
228	351	792	91	96	5

Tab. 3: Das Total der erfolgreichen Querungen aller vier Standorte sowie das Total der erfolgreichen Querungen pro Tierart und Alter; unabhängig davon, ob Amphibienableitbleche installiert waren und/oder ein Schottergraben ausgehoben worden war.

Total Querungen alle vier Standorte 2020 und 2021					
322 (21% von 1'563)					
Frösche		Kröten		Molche	
163		135		24	
adult	juvenil	adult	juvenil	adult	juvenil
94	69	118	17	22	2

Tab. 4: Total aller Ereignisse in Mellikon, aufgeschlüsselt nach Tierart, Alter, Ereignisart und erfolgreichen Querungen. «A» steht für ein Ereignis mit «Amphib» und «AZ» für ein Ereignis mit Amphib und Zugdurchfahrt.

Total Ereignisse Mellikon 2020 und 2021																							
320 (20% von 1'563)																							
Frösche				Kröten				Molche															
177				108				35															
adult		juvenil		adult		juvenil		adult		juvenil													
175		2		108		0		35		0													
A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ												
158	17	2	0	98	10	0	0	31	4	0	0												
Erfolgreiche Querungen				Erfolgreiche Querungen				Erfolgreiche Querungen															
58		4		0		0		41		3		0		0		5		1		0		0	
62 (35%)				44 (41%)				6 (17%)															
Erfolgreiche Querungen in Mellikon																							
112 (35% von 320)																							

Tab. 5: Total aller Ereignisse in der Grande Cariçai, aufgeschlüsselt nach Tierart, Alter, Ereignisart und erfolgreichen Querungen. «A» steht für ein Ereignis mit «Amphib» und «AZ» für ein Ereignis mit Amphib und Zugdurchfahrt.

Total Ereignisse Grande Cariçai 2020 und 2021																							
542 (35% von 1'563)																							
Frösche				Kröten				Molche															
387				108				47															
adult		juvenil		adult		juvenil		adult		juvenil													
38		349		45		63		42		5													
A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ												
35	3	319	30	40	5	51	12	34	8	5	0												
Erfolgreiche Querungen				Erfolgreiche Querungen				Erfolgreiche Querungen															
21		2		63		6		26		3		10		5		7		4		2		0	
92 (23%)				44 (41%)				13 (28%)															
Erfolgreiche Querungen Grande Cariçai																							
149 (28% von 542)																							

Tab. 6: Total aller Ereignisse in Oberrüti, aufgeschlüsselt nach Tierart, Alter, Ereignisart und erfolgreichen Querungen. «A» steht für ein Ereignis mit «Amphib» und «AZ» für ein Ereignis mit Amphib und Zugdurchfahrt.

Total Ereignisse Oberrüti 2021																			
36 (2% von 1'563)																			
Frösche				Kröten				Molche											
15				2				19											
adult		juvenil		adult		juvenil		adult		juvenil									
15		0		2		0		19		0									
A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ								
10	5	0	0	2	0	0	0	13	6	0	0								
Erfolgreiche Querungen				Erfolgreiche Querungen				Erfolgreiche Querungen											
7		2		0		0		1		0		3		2		0		0	
9 (60%)				1 (50%)				5 (26%)											
Erfolgreiche Querungen Oberrüti																			
15 (42% von 36)																			

Tab. 7: Total aller Ereignisse Lungern, aufgeschlüsselt nach Alter, Ereignisart und erfolgreichen Querungen. In Lungern wurden ausschliesslich Erdkröten dokumentiert. «A» steht für ein Ereignis mit «Amphib» und «AZ» für ein Ereignis mit Amphib und Zugdurchfahrt. In Lungern waren keine Querungshilfen installiert.

Total Ereignisse Lungern 2021 Kröten			
665 (43% von 1'563)			
adult		juvenil	
637		28	
A	AZ	A	AZ
635	2	26	2
Erfolgreiche Querungen			
44	0	2	0
46			
Erfolgreiche Querungen Lungern			
46 (7% von 665)			

3.4. Querungen im und ausserhalb des Schottergrabens - Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche (Frage1)

Die nachfolgende Abb. 15 zeigt das Total der Querungen, sowohl **im** als auch **ausserhalb** des Schottergrabens, aufgeschlüsselt nach Tierart und Alter mit dem reduzierten Datensatz von 858 Ereignissen. Bei dieser Analyse wurde die Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche nicht als Bedingung vorausgesetzt.

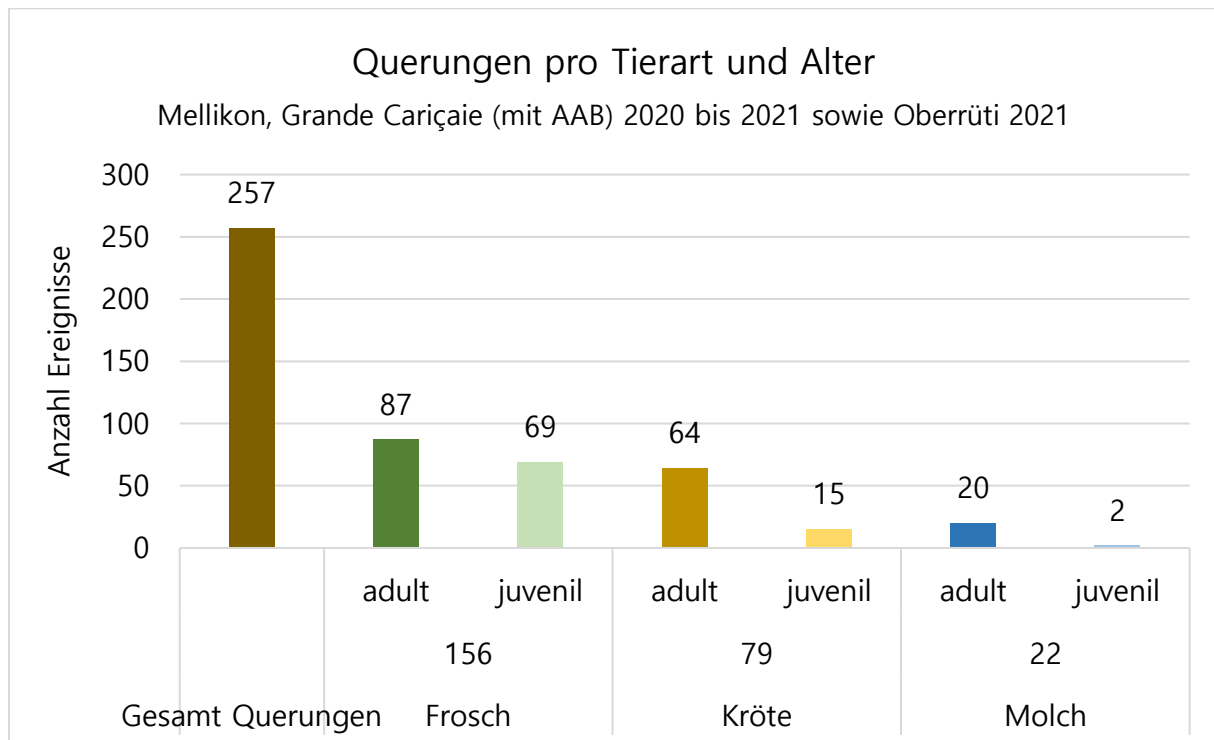


Abb. 15: Bei total 858 erfassten Ereignissen, kam es zu 257 erfolgreichen Querungen (30%) ausser- und innerhalb des Schottergrabens. Die meisten davon von adulten und juvenilen Fröschen sowie adulten Kröten. Diese Querungen im Schottergraben sind unabhängig von der Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche.

Querung ausserhalb des Videobereichs und aufgefüllter Schottergraben

In 13 Fällen müssen die Amphibien ausserhalb des Videobereichs gequert haben, da sich die Tiere im Video bereits in der oberen resp. unteren Wiese befanden. Dies Ereignisse wurden mit «bereits oben» oder «bereits unten» vermerkt und wurden nicht mitgezählt. In Mellikon fanden am 25.02.2021 Gleisbauarbeiten statt, wobei der Schottergraben mit neuem Schotter aufgefüllt wurde. Vom 25.02.21 bis 05.03.21 bestand keine namhafte Lücke mehr für die Amphibien Anhang IV auf S. 99, Abb. 44, Abb. 45 und Abb. 46). In dieser Zeit wurden 75 Ereignisse dokumentiert aber nur 11 Querungen im Schottergraben (aufgefüllt) verzeichnet.

Vergleich - Querungen im Schottergraben und ausserhalb

Die Daten der Standorte Mellikon, Grande Cariçai (mit AAB) und Oberrüti zeigen, dass 90% (n=231) der Querungen (Adulte und Juvenile) im Schottergraben und nur 10% (n=26) ausserhalb erfolgten (Abb. 16).

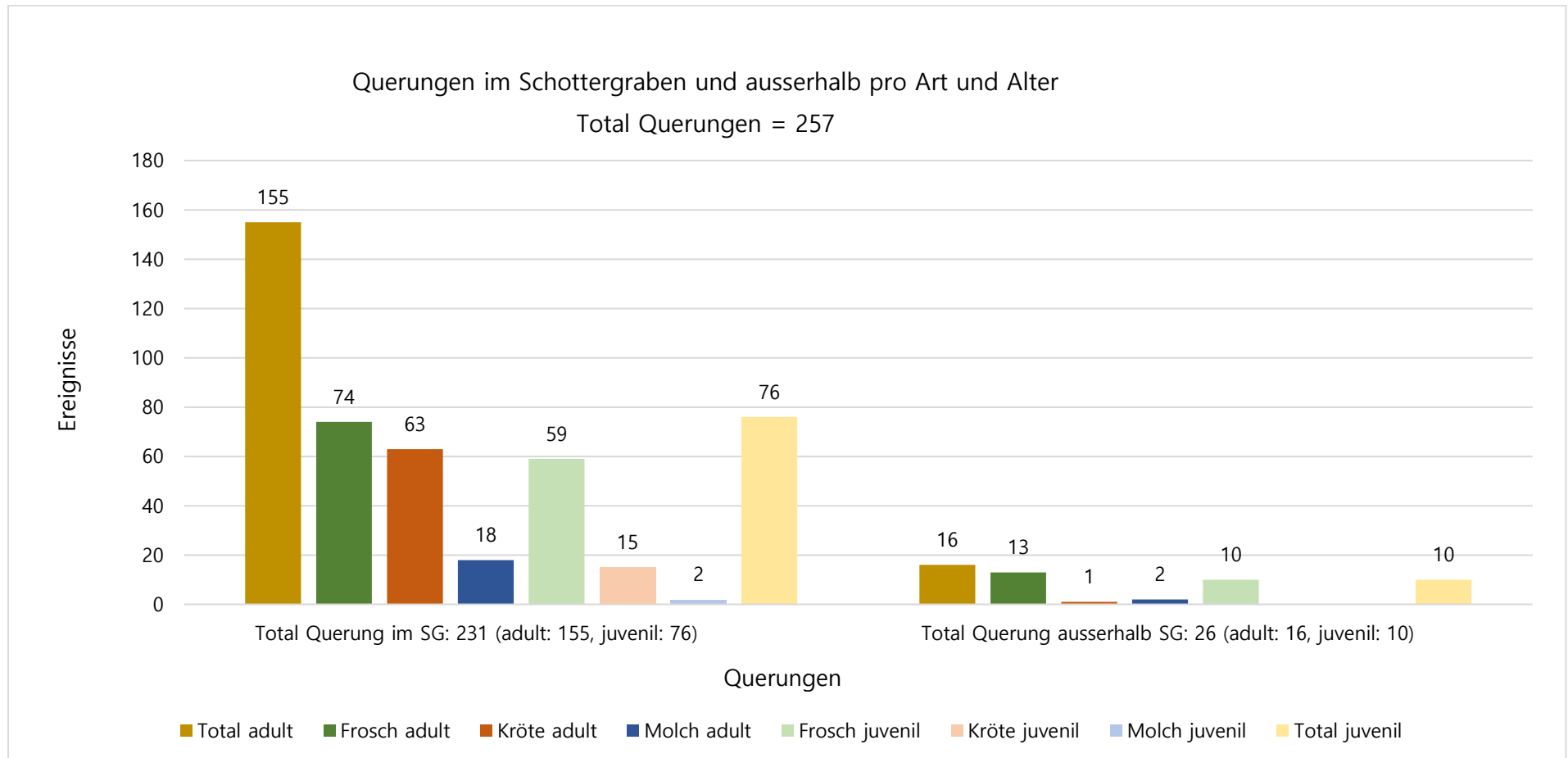


Abb. 16: Vergleich der Querungen pro Art und Alter im Schottergraben und ausserhalb. Von 257 Querungen erfolgten 231 durch den Schottergraben und 26 ausserhalb. Von den 171 Querungen der Adulten querten 155 (90%) im SG und nur 16 (10%) ausserhalb des SG. Von den 86 Juvenilen querten 76 (88%) im SG und 10 ausserhalb (12%).

In der folgenden Abb. 17 wird in Form eines Trichterdiagramms dargestellt, von wie vielen der 858 Ereignisse die Amphibien mit dem Schottergraben Kontakt hatten (n=697), den Schottergraben fanden und auf irgendeine Weise nutzten (n=379), das Total aller Querungen (n=257) im SG und ausserhalb, die erfolgreichen Querungen, welche im Schottergraben durch Unterqueren des Gleises oder einer Schiene erfolgten (n=231) sowie die Querungen welche ausserhalb des Schottergrabens dokumentiert wurden (n=26). Auch hier wurde die Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche nicht als Bedingung vorausgesetzt. Tiere, welche den Schottergraben zwar gefunden hatten und unter einer Schiene querten (n=93), jedoch nicht das ganze Gleis, sind im Gleiszwischenraum aus dem Überwachungsbereich gegangen.

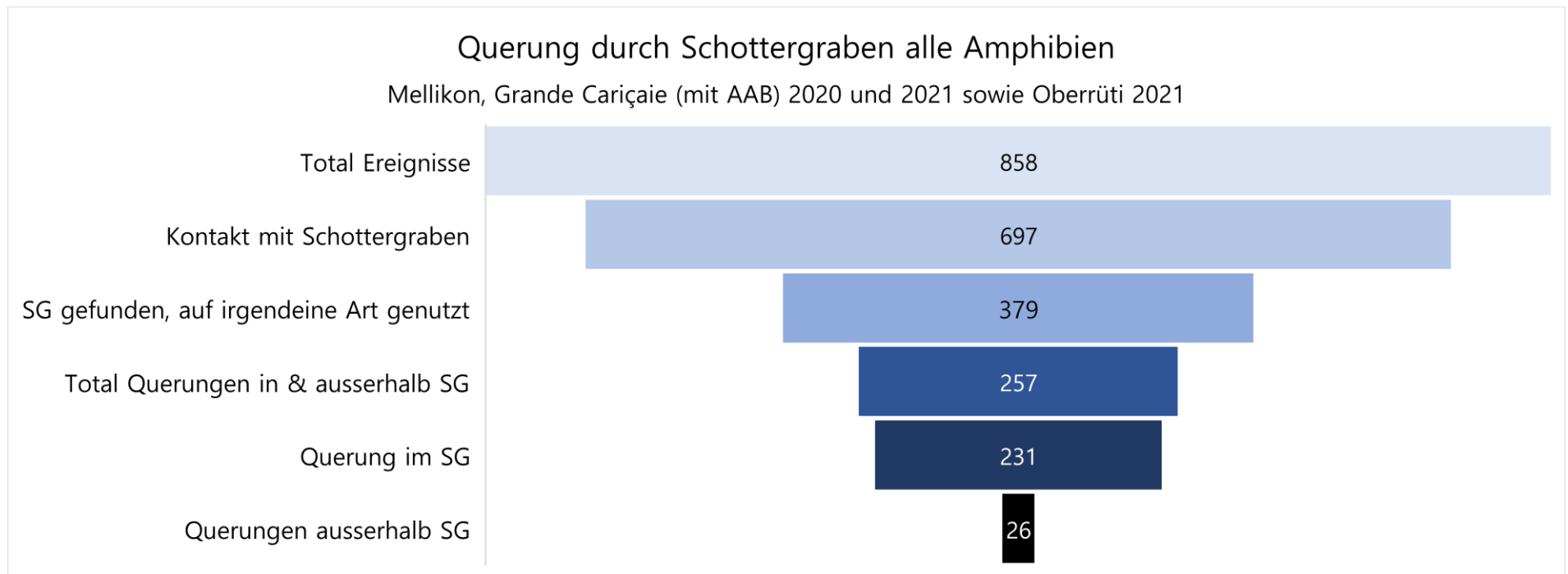


Abb. 17: Von 697 Ereignissen, bei denen die Tiere Kontakt mit dem Schottergraben hatten, haben 379 (54%) Amphibien den Schottergraben gefunden und auf irgendeine Art genutzt, was jedoch nicht automatisch in einer erfolgreichen Querung resultierte. Total wurden 257 (68%) Querungen verzeichnet (auch ausserhalb des SG), wovon 231 (90%) im Schottergraben stattfanden und 26 (10%) ausserhalb.

Amphibienableitbleche

In Abb. 18 ist dargestellt, wie viele der Amphibien der 858 Ereignisse sich entlang der Schiene annäherten, überhaupt mit den Amphibienableitblechen in Kontakt kamen, in wie vielen Fällen davon die Amphibienableitbleche ihren Zweck erfüllten, wie viele den Schottergraben fanden und wie viele Querungen im Schottergraben daraus resultierten.

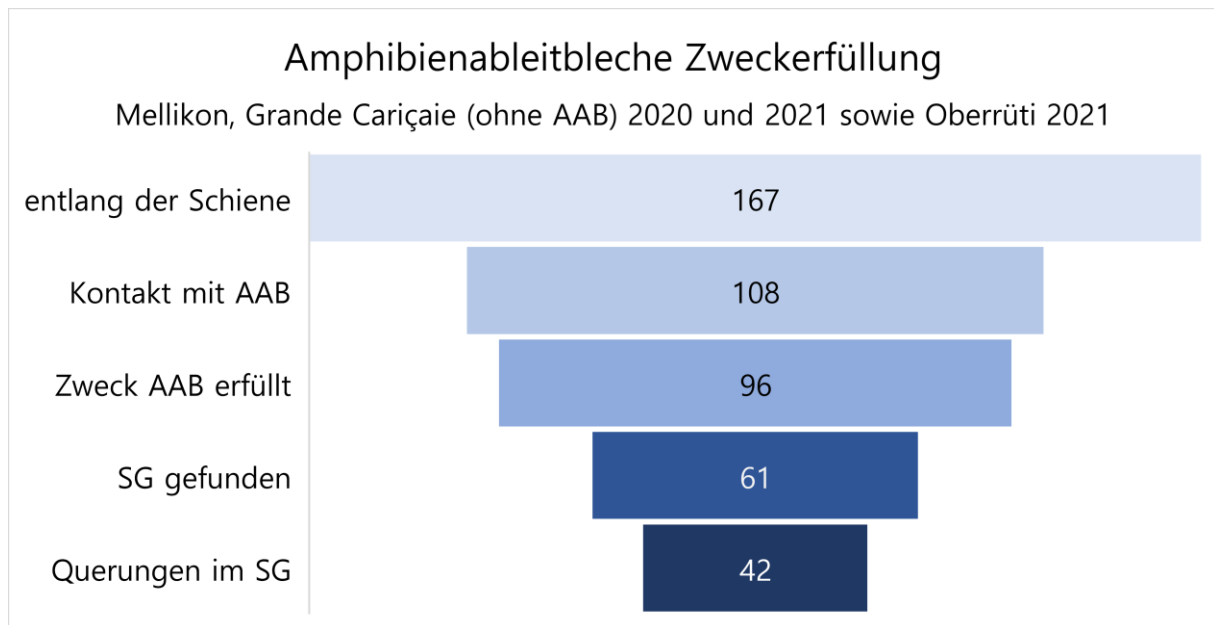


Abb. 18: Von den 858 Ereignissen hatte ein Grossteil der Amphibien keinen Kontakt mit den Amphibienableitblechen (AAB) oder es war nicht sichtbar (hinter der Schiene verdeckt). Bei 167 Ereignissen näherten sich die Amphibien entlang der Schiene (so wie vorgesehen) und 108 (65%) hatten effektiv Kontakt mit den Amphibienableitblechen. In 96 Fällen (89%) haben die Amphibienableitbleche ihren Zweck erfüllt, 61 (64%) fanden den Schottergraben und davon haben 42 (69%) effektiv im Schottergraben erfolgreich gequert. Die Querungsanzahl ist hier in Abhängigkeit davon, dass die vorhergehende Bedingung erfüllt ist.

Die meisten Tiere näherten sich der Schiene entlang dem Schottergraben. Jedoch wurde auch beobachtet, dass sich Amphibien vom unteren Schotterbett annäherten und trotzdem mit den Amphibienableitblechen Kontakt hatten. Die Abb. 19, Abb. 20, Abb. 21, Abb. 22, Abb. 23 und Abb. 24 zeigen in Form einer Bilderserie auf, wie ein Frosch und Molch von den Amphibienableitblechen in den Schottergraben geleitet werden.

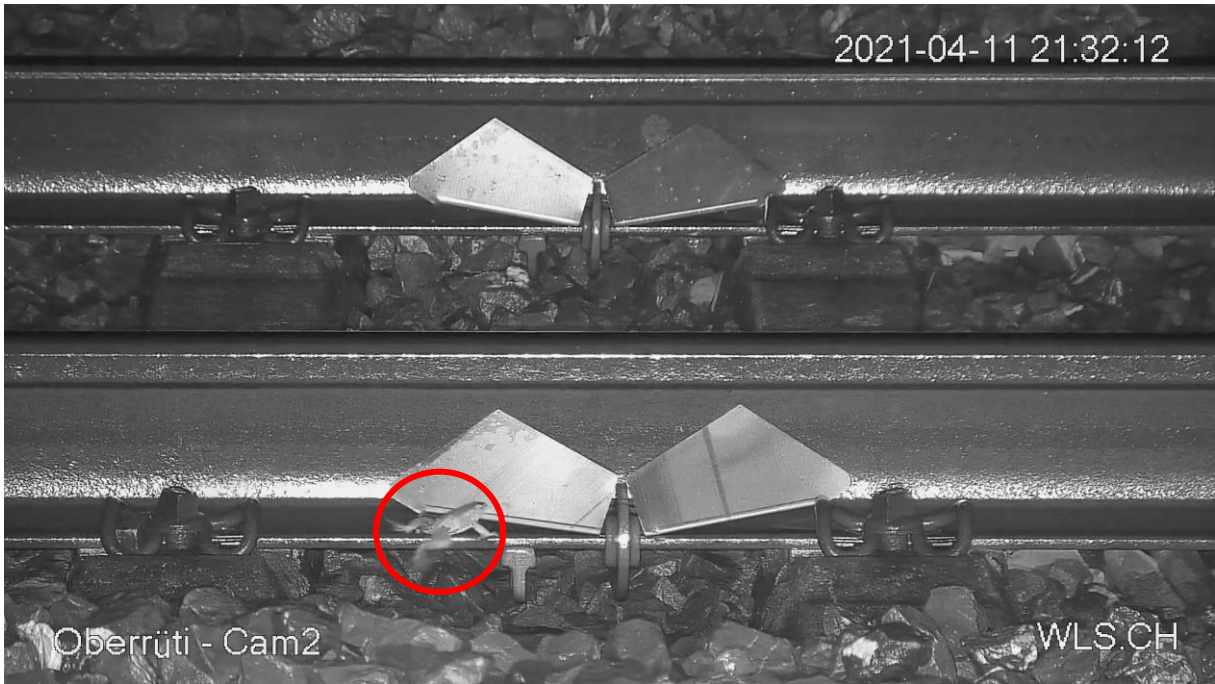


Abb. 19: Frosch nähert sich Glesiabweiser entlang der Schiene. © WLS:CH, 2021

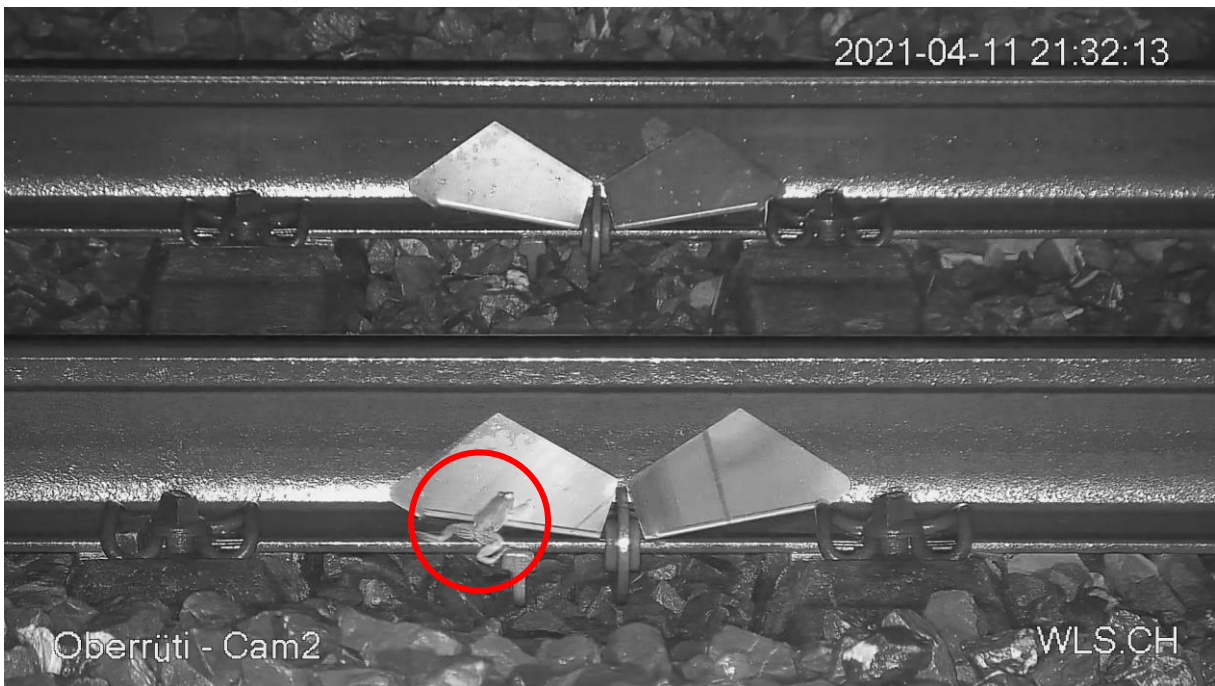


Abb. 20: Frosch trifft auf Amphibienableitbleche. © WLS:CH, 2021

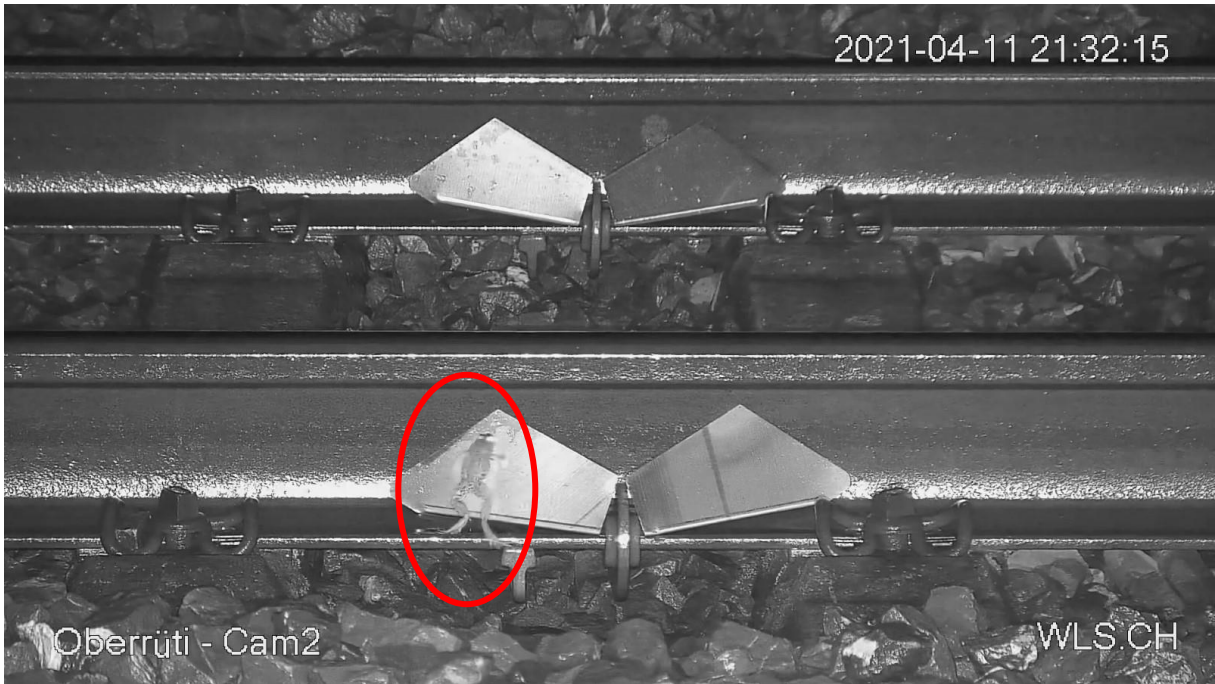


Abb. 21: Frosch wird durch den Amphibienableitbleche in den Schottergraben abgedrängt. © WLS:CH, 2021

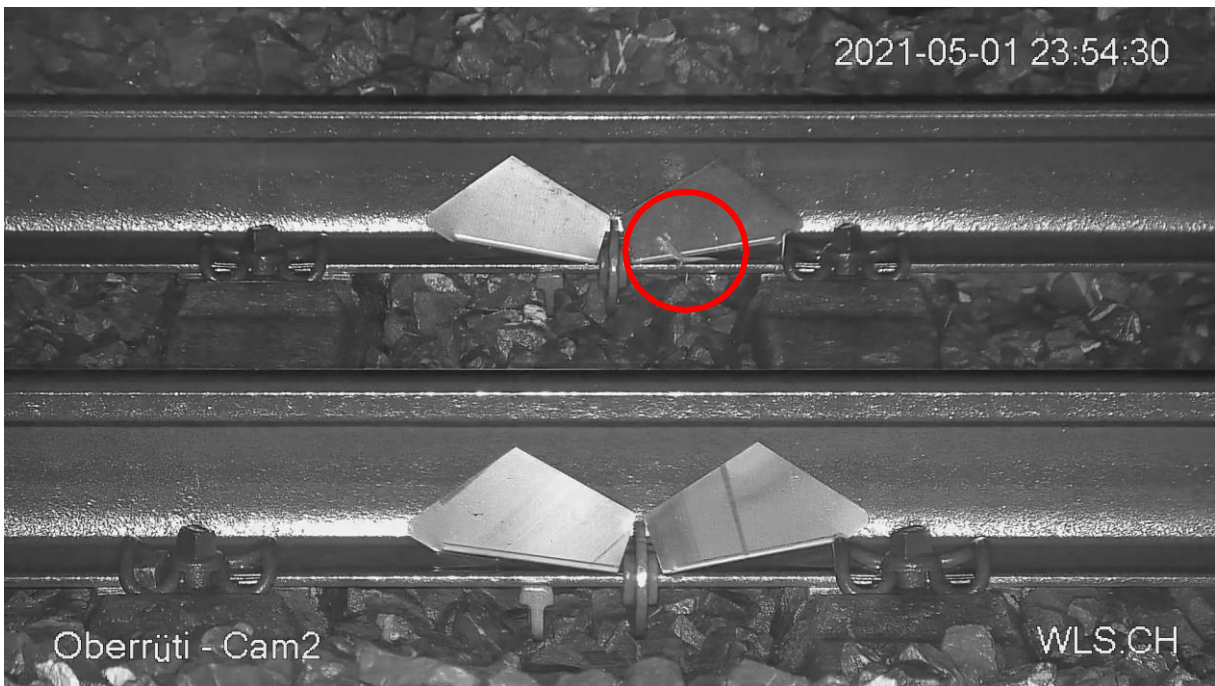


Abb. 22: Molch, der entlang der Schiene wandert, trifft auf den Amphibienableitbleche. © WLS:CH, 2021

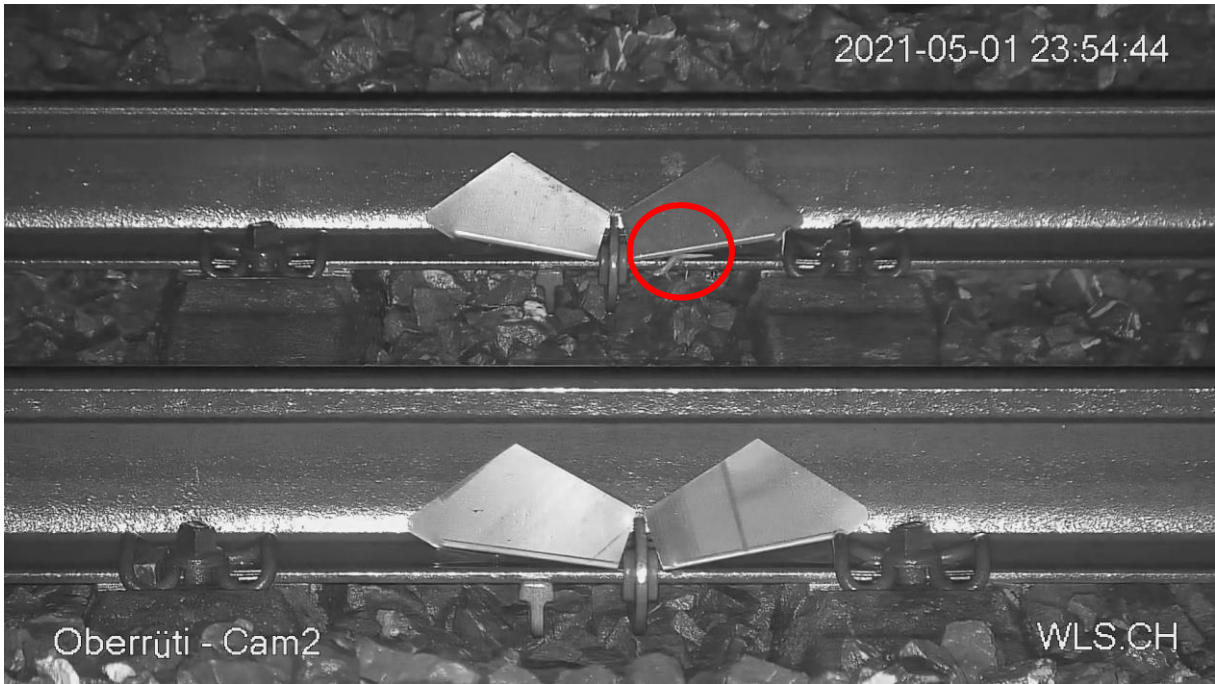


Abb. 23: Molch erkennt das Hindernis, und sucht einen alternativen Weg, wobei das Tier in den Schottergraben fällt. © WLS:CH, 2021

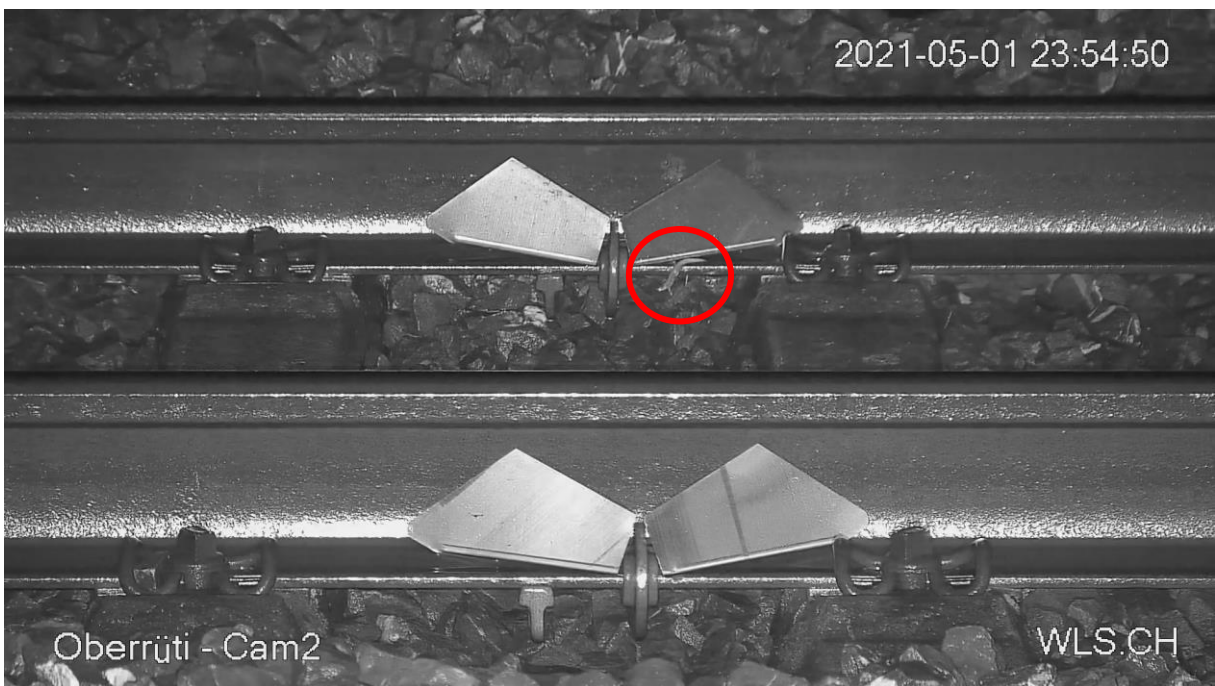


Abb. 24: Molch fällt in den Schottergraben. © WLS:CH, 2021

Querungen von Mäusen und Schlangen im Schottergraben

Neben Amphibien wurden auch Langschwanz- und Wühlmäuse sowie Ringelnattern dabei beobachtet, wie sie den Schottergraben zur Unterquerung des Gleises nutzen.

Erfolgreiche Querungen in Abhängigkeit von Amphibienableitblechen und Schottergraben

Im Gegensatz zur Abb. 17, in der die Anzahl Querungen im Schottergraben angegeben wurden, unabhängig davon, ob die Amphibienableitbleche ihren Zweck erfüllt hatten oder nicht, werden in der nachfolgenden Tab. 8 die erfolgreichen Querungen in Abhängigkeit von der Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche und des Auffindens und Nutzens des Schottergrabens pro Art und Altersklasse dargestellt.

Tab. 8: Erfolgreiche Querungen in Abhängigkeit von Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche und Auffinden und Nutzens des Schottergrabens. Von den 121 adulten Amphibien, bei denen die Amphibienableitbleche ihren Zweck erfüllt hatten, haben 76 ebenfalls den Schottergraben genutzt (35 Frösche, 27 Kröten und 14 Molche). Weiter haben davon 54 Amphibien erfolgreich durch den Schottergraben gequert (26 Frösche, 19 Kröte, 9 Molche). Das Total der erfolgreichen Querungen ist nach wie vor 257, hier wird nun aber ersichtlich, wie genau die Querungsversuche der verschiedenen Amphibien und Altersstadien erfolgt sind. Auffallend bei der Bedingung «Amphibienableitbleche Zweck erfüllt» sind die 707 Ereignisse, bei denen dies nicht sichtbar war oder überhaupt kein Kontakt bestand. Wichtig ist an dieser Stelle zu wissen, dass Amphibienableitbleche grösstenteils bei Amphibien wirken, die sich entlang der Schiene und nicht entlang des Schotterbetts dem Schottergraben nähern. Beim Anteil der «nicht sichtbar» Ereignissen ist die Wahrscheinlichkeit natürlich hoch, dass die Tiere «versteckt» Kontakt mit dem Amphibienableitbleche hatten und auch in den Schottergraben abgedrängt wurden. Bei den meisten erfolgreichen Querungen war die Zweckerfüllung der AAB «nicht sichtbar» oder die Amphibien hatten «kein Kontakt», dennoch haben 301 Tiere den SG gefunden und anschliessend 176 erfolgreich gequert. Die grün gefärbten Zellen bedeuten «ja», die roten «nein» und die gelb gefärbten Zellen bedeuten «kein Kontakt oder nicht sichtbar» (Abkürzungen kK o. ns/Kns).

Total Ereignisse Mellikon, Grande Cariçãie (mit AAB) und Oberrüti n=858

Frosch n=568, Kröte n=206, Molch n=84

Kontakt mit Amphibienableitblechen (Zweck erfüllt, nicht erfüllt und drübergestiegen) n=138

Amphibienableitbleche Zweck erfüllt

	ja		nein		kein Kontakt oder nicht sichtbar	
	adult	juvenil	adult	juvenil	adult	juvenil
Frosch	58	1	5	0	154	343
Kröte	38	0	3	0	100	63
Molch	25	0	8	0	42	5
Total	121	1	16	0	296	411

Schottergraben genutzt

	ja		nein		kK o. ns	
	adult	juvenil	adult	juvenil	adult	juvenil
Frosch	35	0	23	1	0	0
Kröte	27	0	10	0	1	0
Molch	14	0	7	0	4	0
Total	76	0	40	1	5	0

Schottergraben genutzt

	ja		nein		kK o. ns	
	adult	juvenil	adult	juvenil	adult	juvenil
Frosch	1	0	3	0	1	0
Kröte	1	0	0	0	2	0
Molch	0	0	5	0	3	0
Total	2	0	8	0	6	0

Schottergraben genutzt

	ja		nein		kK o. ns	
	adult	juvenil	adult	juvenil	adult	juvenil
Frosch	74	104	51	171	29	68
Kröte	66	37	18	21	16	5
Molch	18	2	8	1	16	2
Total	158	143	77	193	61	75

erfolgreiche Querung

	ja			n			Kns			ja			n			Kns			ja			n			Kns					
	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j
Frosch	26	7	2	0	0	0	4	19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kröte	19	7	1	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Molch	9	2	3	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total/Rubrik	54	16	6	0	0	0	4	36	0	1	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtot. e. Q.	59																													

erfolgreiche Querung

	ja			n			Kns			ja			n			Kns			ja			n			Kns					
	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j
Frosch	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kröte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Molch	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1	1	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtot. e. Q.	1																													

erfolgreiche Querung

	ja			n			Kns			ja			n			Kns			ja			n			Kns					
	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j	a	a	a	j	j	j
Frosch	48	26	0	59	26	19	2	48	1	8	121	42	7	20	2	1	15	52												
Kröte	43	21	2	15	15	7	0	18	0	0	14	7	1	8	7	0	1	4												
Molch	9	4	5	2	0	0	1	7	0	0	1	0	1	6	9	0	0	2												
Total	100	51	7	76	41	26	3	73	1	8	136	49	9	34	18	1	16	58												
Subtot. e. Q.	197																													

Total erf. Q. 257

Grande Cariçaipe ohne Amphibienableitbleche 14.03.20 – 11.03.20

Im Jahr 2020 waren in der Grande Cariçaipe die Amphibienableitbleche vom 14.03.-11.03.2020 noch nicht installiert. In dieser Zeit wurden nur adulte Tiere beobachtet. Von den 40 Ereignissen haben 22 (55%) der Amphibien die Schottergräben gefunden und davon haben 19 Tiere (48%) erfolgreich durch die Schottergräben gequert (Tab. 9).

Tab. 9: Erfolgreiche Querungen in der Grande Cariçaipe ohne Amphibienableitbleche in Abhängigkeit der Nutzung des Schottergrabens. Obwohl mehr Ereignisse mit Molchen erfasst wurden, querten die Kröten am erfolgreichsten (10 Querungen von 19). Die grün gefärbten Zellen bedeuten «ja», die roten «nein» und die gelb gefärbten Zellen bedeuten «kein Kontakt oder nicht sichtbar» (Abkürzungen kK/ns oder Kns).

Grande Cariçaipe ohne Amphibienableitbleche 14.02.-11.03.2020			
Total Ereignisse n=40, Frösche=11, Kröten=12, Molche=17			
	AAB nicht installiert		
	adult		
Frosch	11		
Kröte	12		
Molch	17		
Total	40		

Schottergraben genutzt			
	ja	nein	kK/ns
	adult	adult	adult
Frosch	8	2	1
Kröte	11	0	1
Molch	3	3	11
Total	22	5	13

erfolgreiche Querung									
	ja	nein	Kns	ja	nein	Kns	ja	nein	Kns
	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Frosch	7	1	0	0	2	0	0	1	0
Kröte	10	1	0	0	0	0	0	1	0
Molch	2	1	0	0	3	0	0	10	1
Total erfolgr. Quer./Rubrik	19	3	0	0	5	0	0	12	1
Total erfolgr. Querungen	19								

Lungern – Querungen ohne Schottergraben und Amphibienableitbleche

In Lungern wurden total 665 Ereignisse mit adulten Kröten dokumentiert. In 46 der 665 Fälle (knapp 7%) kam es zu einer Querung, wobei 21 über und 23 unter einer Schiene resp. dem Gleis querten. Auch drei Weibchen mit Männchen im Huckepack haben eine Querung bewältigt, sowohl über als auch unter einer Schiene ohne einen künstlich angelegten Schottergraben.

3.5. Zeitdauer, bis die Amphibien den Schottergraben finden (Frage 2)

Dies Frage kann nicht abschliessend beantwortet werden, da die meisten Amphibien ausserhalb der Weitwinkelzone auf den Gleisbereich gestossen sind. Somit war nicht klar, wie lange sich diese Tiere bereits entlang der Schiene oder auf dem Schotterbett bewegten und nach einer Querungsmöglichkeit suchten. Auch bei jenen Fällen, in denen die Amphibien von vorne oder oben ans Gleis stiessen, eigneten sich für die Analyse keine der aufgezeichneten Videosequenzen.

3.6. Beeinflusst die Durchfahrt eines Zuges das Verhalten der Amphibien? Gibt es Unterschiede bei Art und Alter? (Frage 3 und 4)

Hierfür wurde der gesamte Datensatz von 1'563 Ereignissen verwendet. Insgesamt wurden 104 Ereignisse mit Amphib und Zugdurchfahrt dokumentiert. Am häufigsten hielten sich die Amphibien dabei im Gleiszwischenraum auf. Die Tab. 10 zeigt die Anzahl Ereignisse mit Zugdurchfahrt pro Art und Alter für das Verhalten vor, während und nach der Zugdurchfahrt sowie die Zeit in Sekunden, bis sich Tiere nach einer Zugdurchfahrt wieder in Bewegung setzten.

Verhalten vor Zugdurchfahrt

Pro Altersklasse war das häufigste Verhalten vor der Zugdurchfahrt das «Verharren», sowohl bei den Adulten $n=28$ (47%), als auch bei den Juvenilen $n=29$ (66%). Die Zahlen sind in der Tabelle grün hervorgehoben. Einzel nach Art und Alter analysiert, zeigten die adulten Frösche das «Verharren» $n=14$ (56%) am häufigsten, die adulten Kröten $n=9$ (53%) und Molche $n=9$ (50%) aber das Verhalten «in Bewegung» (blau hervorgehoben). Die juvenilen Frösche $n=22$ (73%) und Kröten $n=7$ (50%) zeigten ebenfalls am häufigsten das Verhalten «Verharren». Ereignisse mit juvenilen Molchen und Zugdurchfahrt wurden keine dokumentiert.

Verhalten während Zugdurchfahrt

Bei allen Adulten konnte am häufigsten das Verhalten «verharren» $n=40$ (67%) beobachtet werden. Bei den Juvenilen war das häufigste Verhalten «verharren» und «weggesprungen» mit je 17 Ereignissen (je 39%). Die Zahlen sind in der Tabelle grün markiert. Pro Art und Alter analysiert, war bei allen adulten Fröschen $n=15$ (60%), Kröten $n=13$ (76%) und Molchen $n=12$ (67%) das häufigste Verhalten während der Zugdurchfahrt das «Verharren». Bei den juvenilen Fröschen wurden die beiden Verhalten, «Verharren» und «Weggesprungen» mit je 12 Ereignissen (je 40%) am meisten beobachtet. Ebenso bei den juvenilen Kröten mit je 5 Ereignissen (je 36%).

Verhalten nach Zugdurchfahrt

Das häufigste Verhalten war bei allen Arten und Altersklassen das «verharren und weitergehen» (nach frühestens 5 Sekunden nach Zugdurchfahrt).

Zeit bis Bewegung nach Zugdurchfahrt:

Von den 104 Ereignissen mit Zugdurchfahrt konnten 84 für die Berechnungen verwendet werden. In 20 Ereignissen war entweder nur ein «Verharren» ohne anschließende Bewegung zu sehen oder das Tier war nicht sichtbar, weil es vom durchfahrenden Zug verdeckt war. Adulte Frösche und Molche setzten ihre Wanderung durchschnittlich nach ca. 42 Sekunden fort (gelb), adulte Kröten erst nach ca. 82 Sekunden (grau), (jedoch mit sehr hoher Standardabweichung). Bei den Juvenilen waren die Frösche und Kröten etwa gleich auf; die durchschnittliche Zeit bis zur Bewegung nach der Zugdurchfahrt betrug 31 resp. 29 Sekunden (lila).

Verhaltensänderungen

Auffallend ist, dass adulte Amphibien ($n=26$), welche vor der Zugdurchfahrt in Bewegung sind, ihr Verhalten bei Zugdurchfahrt ändern und verharren (bis zu einer Minute). Bei juvenilen Tieren, die bereits vor der Zugdurchfahrt verharren, ist häufig auch ein hektisches Wegspringen ($n=22$) zu beobachten. Der Grossteil ($n=68$) der Amphibien verharrt nach der Zugdurchfahrt, jedoch ist eine sofortige Fortsetzung der Wanderung in 15 Ereignissen zu beobachten.

Tab. 10: Verhalten vor, während und nach Zugdurchfahrt nach Art und Alter aufgelistet. Abkürzungen der Verhaltenskategorien: (E ZD= Ereignisse mit Zugdurchfahrt, iB= in Bewegung, v=verharren, weg= weggesprungen, v&w= verharren und weiter, sw= sofort weiter und ns=nicht sichtbar. In der letzten Spalte «Zeit bis Bewegung» wird die Anzahl Ereignisse pro Art und Alter (n) aufgelistet, welche für die Berechnung verwendet wurden. Die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SA) in [s] pro Art und Alter sind in den letzten zwei Teilspalten angegeben. Grüne Zellen zeigen das häufigste Verhalten pro Altersklasse an, blaue Zellen jene pro Art und Alter. Die gelben und lila Zellen zeigen die ähnlichen Mittelwerte der «Zeit bis Bewegung nach Zugdurchfahrt» der adulten respektive juvenilen Tiere an. Die grau gefärbten Zellen zeigen den deutlich höheren Mittelwert der «Zeit bis Bewegung nach Zugdurchfahrt» bei den Kröten und die hohe Standardabweichung. Ereignisse mit Zugdurchfahrten mit juvenilen Molchen wurden keine gefunden.

Tierart	Verhalten vor ZD				Verhalten während ZD				Verhalten nach ZD					Zeit bis Bewegung		
	E ZD	iB	v	ns	iB	v	weg	ns	v	v&w	sw	weg	ns	n	Ø t [s]	SA t[s]
Frosch adult	25	6	14	5	2	15	3	5	0	15	5	1	4	21	42	58
Kröte adult	17	9	8	0	1	13	0	3	2	12	2	0	1	15	82	177
Molch adult	18	9	6	3	0	12	2	4	1	14	2	0	1	15	43	35
Total Ereig. Adulte	60	24	28	8	3	40	5	12	3	41	9	1	6	51	54	102
Frosch juvenil	30	3	22	5	0	12	12	6	1	19	3	0	7	22	31	29
Kröte juvenil	14	3	7	4	1	5	5	3	1	8	3	0	2	11	29	52
Total Ereig. Juvenile	44	6	29	9	1	17	17	9	2	27	6	0	9	33	31	38
Total Ereig. beide Alter mit ZD	104	30	57	17	4	57	22	21	5	68	15	1	15	84	44	83

Querungserfolg bei Ereignissen mit Amphib und Zugdurchfahrt

Je nach verwendetem Datensatz, ob gesamt oder reduziert, liegt der Querungserfolg bei den Ereignissen mit Zugdurchfahrt (alle Arten und Alter zusammen berechnet) bei 31% respektive 32%. Der Querungserfolg bei den Ereignissen ohne Zugdurchfahrt liegen beim gesamten Datensatz bei 20% und beim reduzierten bei 30%. Der Querungserfolg ist bei den Ereignissen mit Zugdurchfahrt minim höher ausgefallen (Abb. 25).

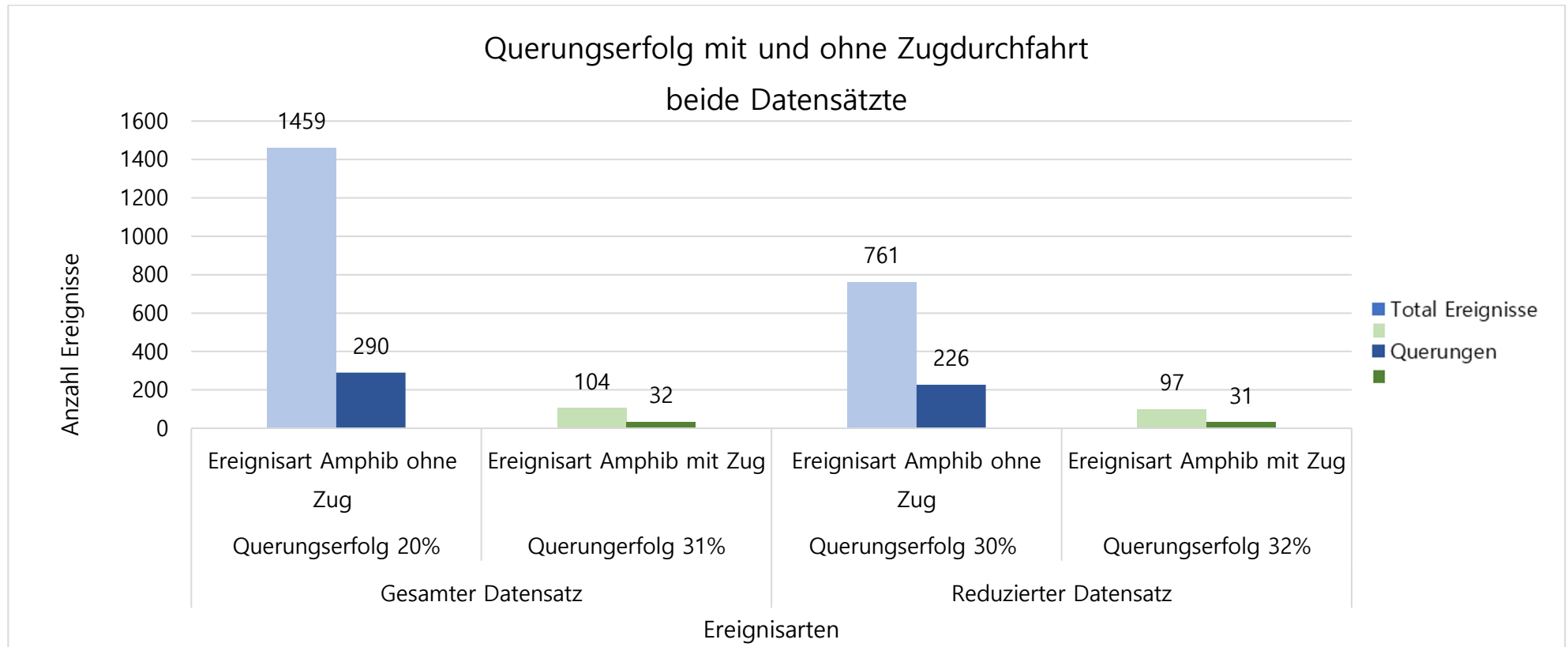


Abb. 25: Anzahl Ereignisse für die beiden Ereignisarten «Amphib **ohne** Zugdurchfahrt» und «Amphib **mit** Zugdurchfahrt» für den gesamten Datensatz (n=1563, links) und den reduzierten Datensatz (n= 858, rechts) sowie der jeweilige Querungserfolg in %. Im gesamten Datensatz sind auch Standorte dabei, an denen keine Querungshilfen wie Schottergraben oder Amphibienableitbleche installiert wurden (Lungern und Grande Cariçaié ohne AAB).

3.7. Führt der erhöhte Luftdruck vorbeifahrender Züge zu Verletzungen oder Tötungen der Amphibien? Gibt es Unterschiede zwischen Arten und Altersstadien? (Frage 5 und 6)

Bei den 104 Ereignissen mit Zugdurchfahrt konnte kein Ereignis beobachtet werden, in dem ein Amphib offensichtlich im überwachten Bereich durch den Luftdruck der vorbeifahrenden Personen- und Güterzüge getötet oder verletzt wurde. Während die meisten Amphibien nach der Zugdurchfahrt ihre Wanderung ruhig fortsetzten, gingen einige hektisch weiter. In seltenen Fällen (n=1) schienen die Tiere desorientiert oder kehrten nach der Zugdurchfahrt um (n=2). Auch bei doppelten Zugdurchfahrten (n=2) und im Huckepack (n=5) konnten keine Ereignisse mit Verletzungen oder Tötungen beobachtet werden. In drei Ereignissen wurden zwei adulte Molche und eine juvenile Kröte jedoch vom Luftdruck weggeschleudert, teils ausserhalb des Überwachungsbereichs (Abb. 26). Die Kröte und ein Molch schienen unverletzt. Über jenen Molch, der aus dem Überwachungsbereich geschleudert wurde, kann keine Aussage gemacht werden. Züge verkehrten mit einer Geschwindigkeit zwischen 40-150 km/h auf. Von den 104 Ereignissen mit Amphib und Zugdurchfahrt waren 60 mit adulten Amphibien und 44 mit Juvenilen. Nur in den vorgängig erwähnten drei Ereignissen wurden die Amphibien (2 adult und 1 juvenil) vom Luftdruck erfasst und weggetragen.



Abb. 26: Ereignis aus Oberrüti (Doppelgleis): adulter Molch wird durch den Luftdruck des durchfahrenden Zugs vom Amphibienableitblech geschleudert. Ob das Tier überlebt hat oder verletzt war, konnte nicht beurteilt werden, da er Molch aus dem Überwachungsbereich weggetragen wurde. © WLS:CH, 2020

3.8. Wie gross sind die Luftdruckänderungen zwischen Gleisen auf Bodennähe bei verschiedenen Zugarten und Geschwindigkeiten? (Frage 7)

Messungen zu Luftdruckunterschieden wurden in Mellikon, der Grande Cariçai sowie auf der Bahnstrecke zwischen Gland und Nyon durchgeführt. Das Messgerät MSR160 Data Logger wurde auf Schotterhöhe, direkt zwischen den Schienen platziert (Abb. 27). Die Positionshöhe liegt somit auf demselben Niveau wie die querenden Amphibien.



Abb. 27: MSR160 Data Logger auf Schotterhöhe im Gleiszwischenraum in Mellikon zur Messung eines potenziellen Luftdruckunterschieds auf Bodennähe bei Zugdurchfahrt. © Andrin Hunziker, 2021

Mellikon

Auf der Strecke zwischen Mellikon und Rümikon verkehren zwei Züge (S36) pro Stunde in entgegengesetzter Richtung. Die mögliche Höchstgeschwindigkeit beträgt gemäss Auszug aus der RADN 90-100 km/h (Regelwerk SBB R I-30131. Streckentabellen, 2021). Bei den insgesamt vier Messungen bei Zügen die ca. 80km/h fahren, war nur ein minimaler Druckunterschied von ca. 1.40 mbar feststellbar (Abb. 28).

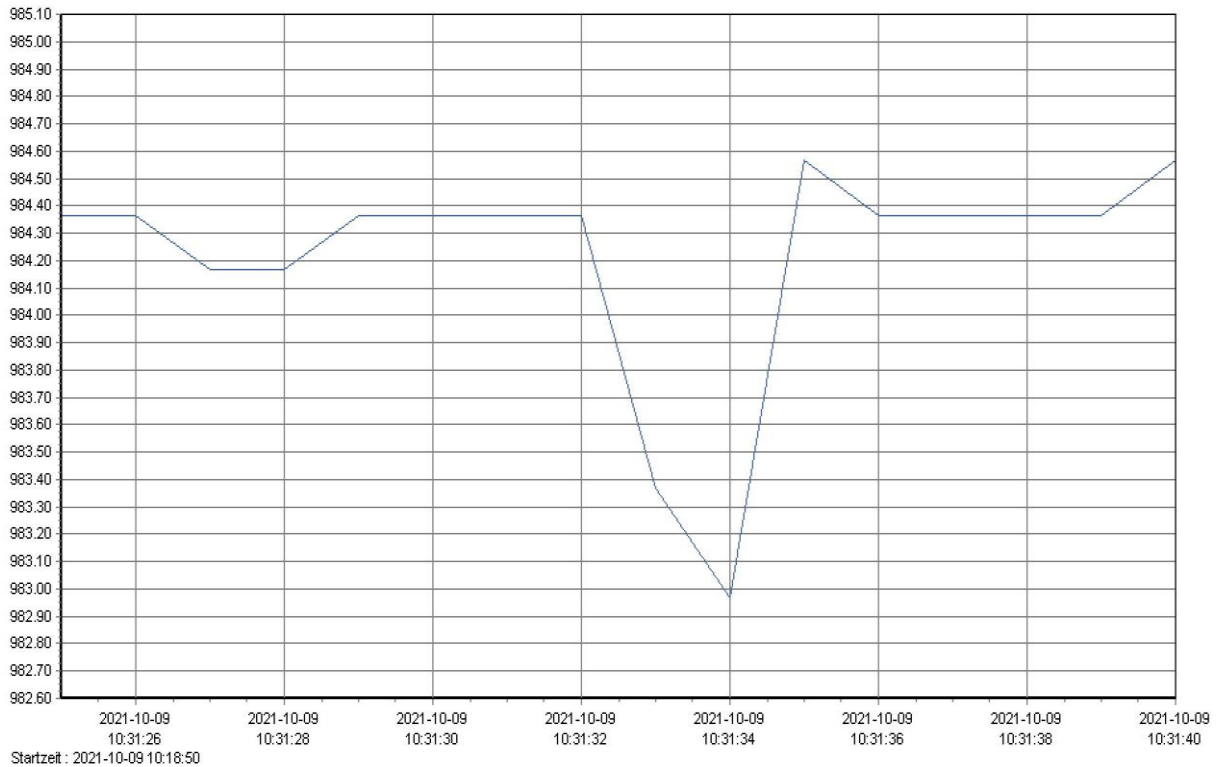


Abb. 28: Luftdruckmessung in Mellikon. Bei den Zugdurchfahrten um 10:26 und 10:31 mit ca. 80 km/h sind kaum Luftdruckunterschiede sichtbar. Einzig um 10:31 sinkt der Luftdruck um ca. 1.40 mbar (blau).

Grande Cariçai

In der Grande Cariçai war bei Zugdurchfahrt kurzfristig ein erhöhter Luftdruck feststellbar: zuerst wurde ein Druckanstieg um +3.5 mbar beobachtet, danach ein Druckabfall von – 10 mbar, gefolgt von einem erneuten Druckanstieg von +6.5 mbar, zurück zum ursprünglichen Luftdruck von 974 mbar. Diese Druckunterschiede spielten sich während 0.5 Sekunden ab (Abb. 29). Die Geschwindigkeit des Zuges betrug bei dieser Messung 110 km/h.

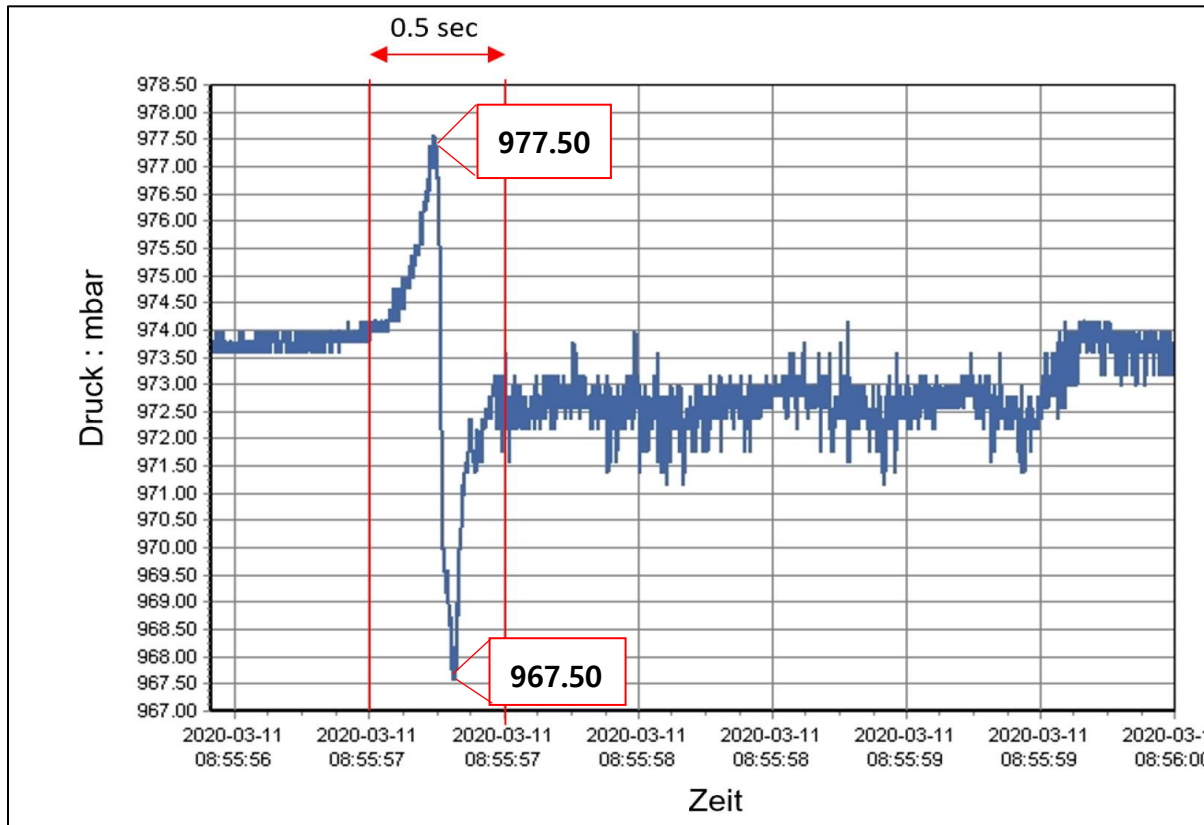


Abb. 29: Kurzfristige Druckveränderung bei Zugdurchfahrt (Personenzug 110 km/h) während 0.5 Sekunden. Eine Erhöhung des Drucks von 3.5 mbar entspricht 3.5 g, welche auf 1 cm² drücken, respektive 6.5 g, beim Druckabfall von 6.5 mbar.

Gland-Nyon

Auf der Bahnstrecke zwischen Gland und Nyon wurden ebenfalls zwei Messungen gemacht. Auch wenn diese Strecke nicht Teil des Monitorings war, zeigen die Messungen auf, dass ab einer höheren Geschwindigkeit (ICE und EC) grosse Druckunterschiede bei Zugdurchfahrten vorkommen. Bei einer Geschwindigkeit von 130-140 km/h ist der Druckunterschied durch die Zugdurchfahrt deutlich zu sehen (Abb. 30). Der Druck sinkt kurzzeitig um ca. 217 mbar (von 962 mbar auf 748 mbar) und steigt anschliessend wieder auf den ursprünglichen Druck.

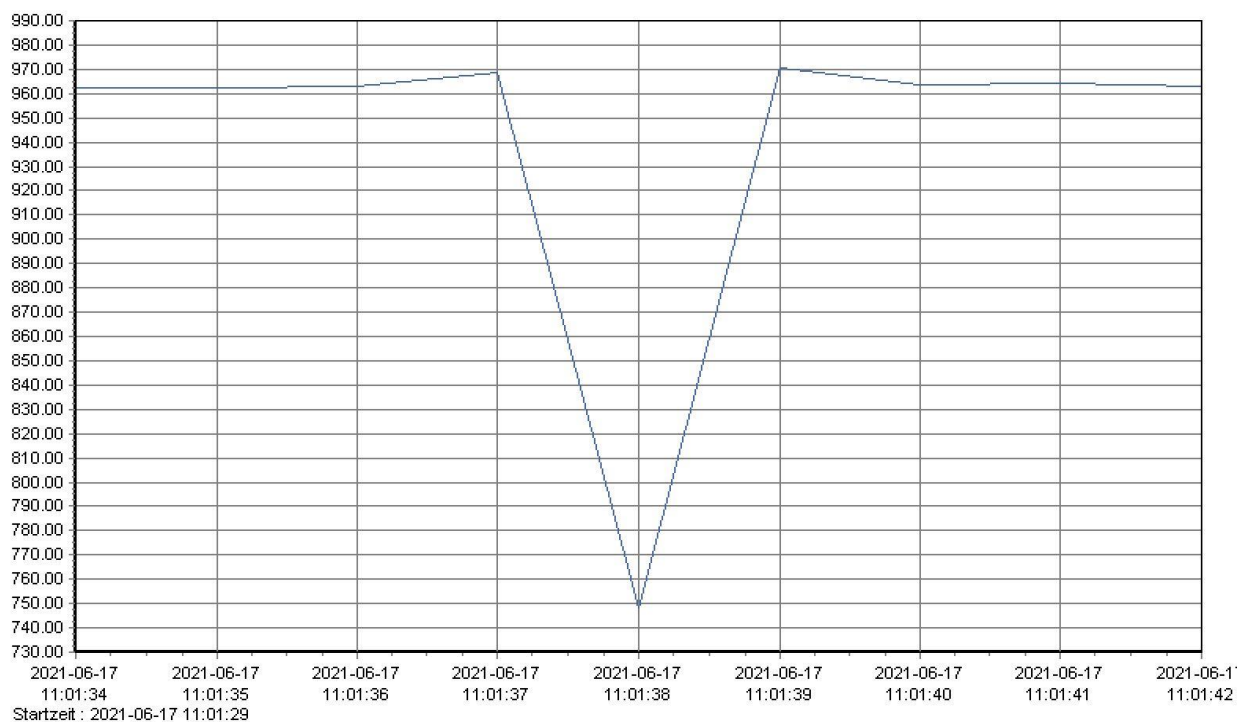


Abb. 30: Zugdurchfahrt auf der Strecke Gland-Nyon ($v=130-140$ km/h). Der Druckunterschied von ca. 217 mbar ist deutlich sichtbar.

3.9. Gibt es ein erfolgreiches Querens der Gleise - welche Querungsarten? (Frage 8)

Die Amphibien haben eine Vielzahl an Querungsarten gezeigt. In Tab. 11 sind die Querungsarten bei erfolgreichen Querungen pro Art und Altersklasse angegeben. Hierfür wurde der reduzierte Datensatz der Standorte Mellikon, Grande Cariçai mit AAB und Oberrüti verwendet.

Tab. 11: Verschiedene Querungsarten im Schottergraben und ausserhalb des Schottergrabens. Pro Altersklasse (grün) und Art (blau) war die häufigste Querungsart unter einer Schiene im Schottergraben (grün), gefolgt von der Unterquerung des Gleises im Schottergraben, Kombinationen von über und unter der Schiene wurden ebenfalls beobachtet (gelb). Das Überqueren von einer Schiene wurde am häufigsten bei den juvenilen und adulten Fröschen beobachtet (grau).

	Verschiedene Querungsarten (reduzierter Datensatz) Querungen n=257									
	im Schottergraben					ausserhalb Schottergraben			im und ausserhalb SG	
	unter einer Schiene im SG	unter Gleis im SG	über Gleis im SG	über eine Schiene & unter einer Schiene im SG	über eine Schiene im SG	über Gleis links oder rechts von SG	unter einer Schiene nicht SG	über eine Schiene nicht SG	über eine Schiene nicht SG, unter einer Schiene im SG	unter einer Schiene nicht SG, unter einer Schiene im SG
Frosch adult	37	23	0	3	1	3	2	7	10	1
Kröte adult	37	25	0	0	0	0	0	1	1	0
Molch adult	12	6	0	0	0	0	2	0	0	0
Total adult	86	54	0	3	1	3	4	8	11	1
Frosch juvenil	39	19	1	0	6	0	0	3	1	0
Kröte juvenil	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Molch juvenil	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total juvenil	47	28	1	0	6	0	0	3	1	0
Total Querungsart	133	82	1	3	7	3	4	11	12	1
Total Querungen						257				

In Abb. 31 und Abb. 32 sind die häufigsten Querungsarten pro Altersklasse dargestellt. Eine Querung unter dem Gleis bedeutet, dass beide Schienen unterquert wurden. Eine Querung unter einer Schiene bedeutet, dass nur eine der beiden Schienen gequert wurde. Es können auch beide Schienen unterschiedlich gequert werden.

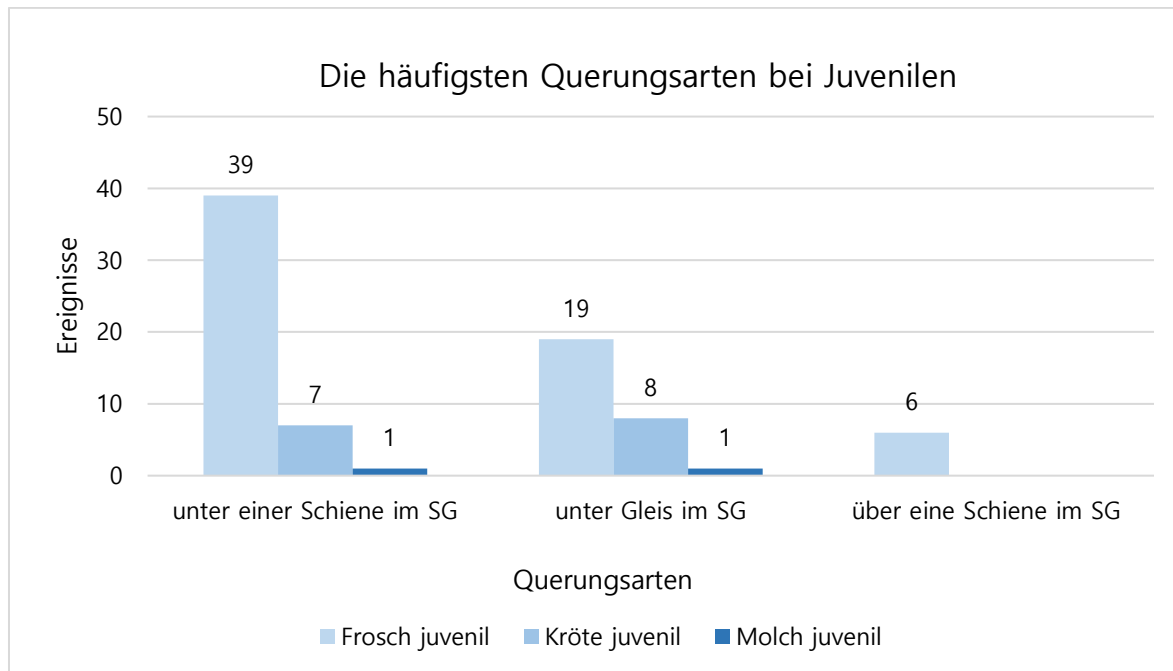


Abb. 31: Die häufigsten Querungsarten für juvenile Tiere and den Standorten Mellikon, Grande Cariçai e und Oberrüti. Juvenile Frösche haben in 6 Ereignissen auch über eine Schiene gequert.

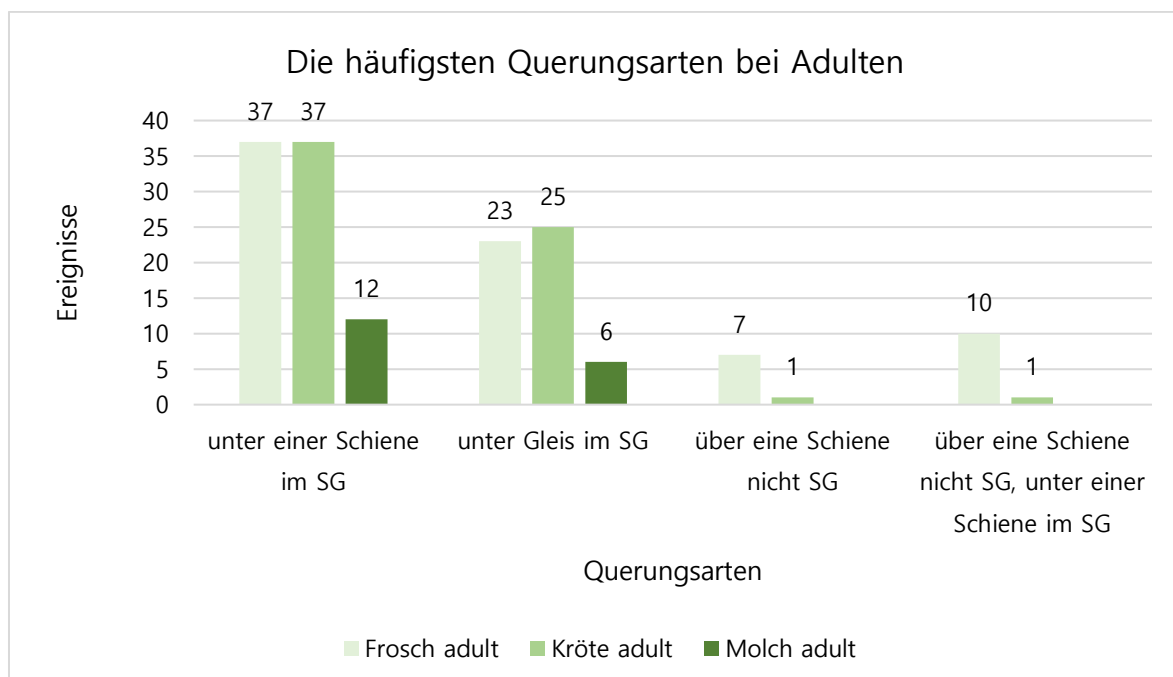


Abb. 32: Die häufigsten Querungsarten für adulte Tiere and den Standorten Mellikon, Grande Cariçai e und Oberrüti. Adulte Frösche haben ausserdem auch öfters über die Schienen gequert.

In Lungern wurden nie Querungshilfen installiert. Dennoch haben 21 der 44 adulten Kröten auch unter einer Schiene gequert (Abb. 33). Für juvenile Tiere ist die Unterquerung einer Schiene aufgrund ihrer geringen Grösse einfacher.

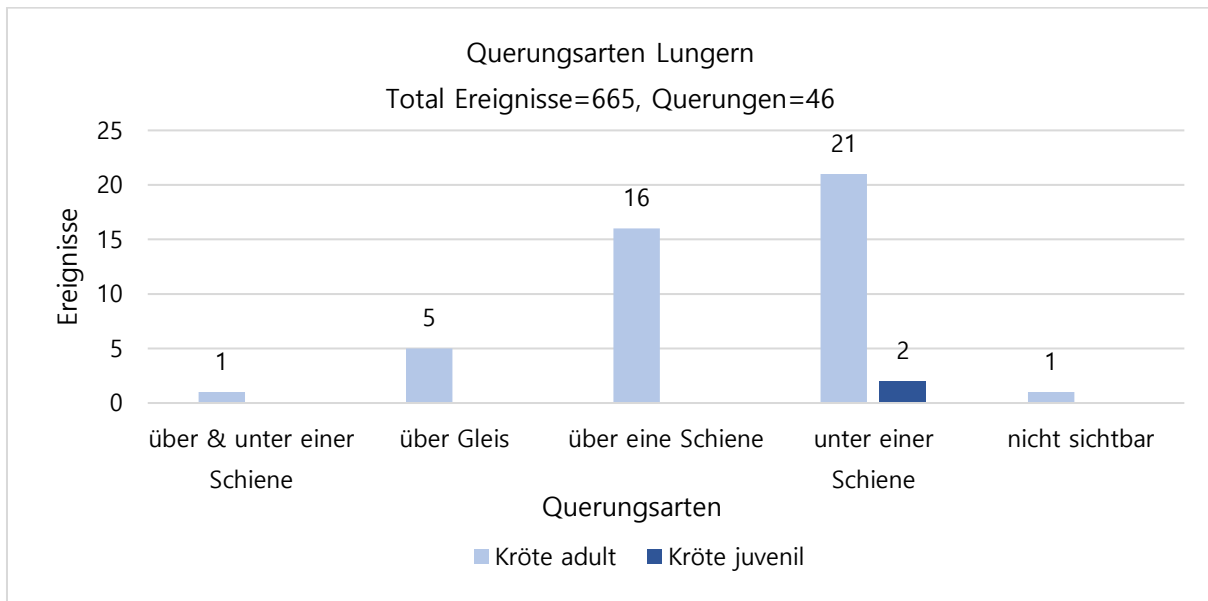


Abb. 33: Verschiedene Querungsarten der Kröten in Lungern. Trotz fehlender Querungshilfen hat ca. die Hälfte der Kröten unter einer Schiene gequert.

In der Grande Cariçaiä haben trotz fehlender Amphibienableitbleche knapp 50% der Amphibien durch den Schottergraben gequert (Abb. 34).

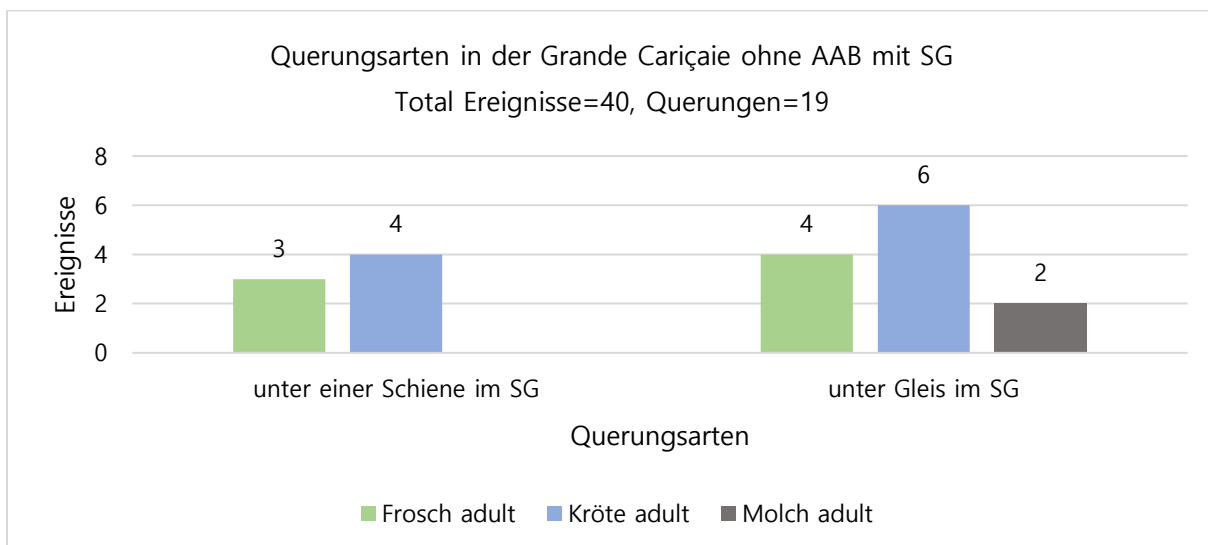


Abb. 34: Querungsarten in der Grande Cariçaiä ohne Amphibienableitbleche aber mit Schottergräben. Von den 19 Amphibien haben alle ohne Amphibienableitbleche trotzdem unter einer Schiene oder unter dem gesamten Gleis durch den Schottergraben gequert. Querungen über eine Schiene oder das Gleis wurden keine beobachtet.

Querungen pro Art und Alter

Gemessen an der Anzahl Ereignisse pro Art und Alter zeigt sich, dass die adulten Frösche und Kröten häufiger queren als die Juvenilen (Abb. 35). Bei den Molchen ist es umgekehrt, jedoch ist die Anzahl der Ereignisse für Juvenile sehr tief. Für die Grafik wurde der reduzierte Datensatz verwendet. Die geringere Querungserfolg der Juvenilen ist darauf zurückzuführen, dass juvenile Tiere oft im Schotter verschwanden und dadurch nicht sichtbar war, ob sie wirklich gequert hatten.

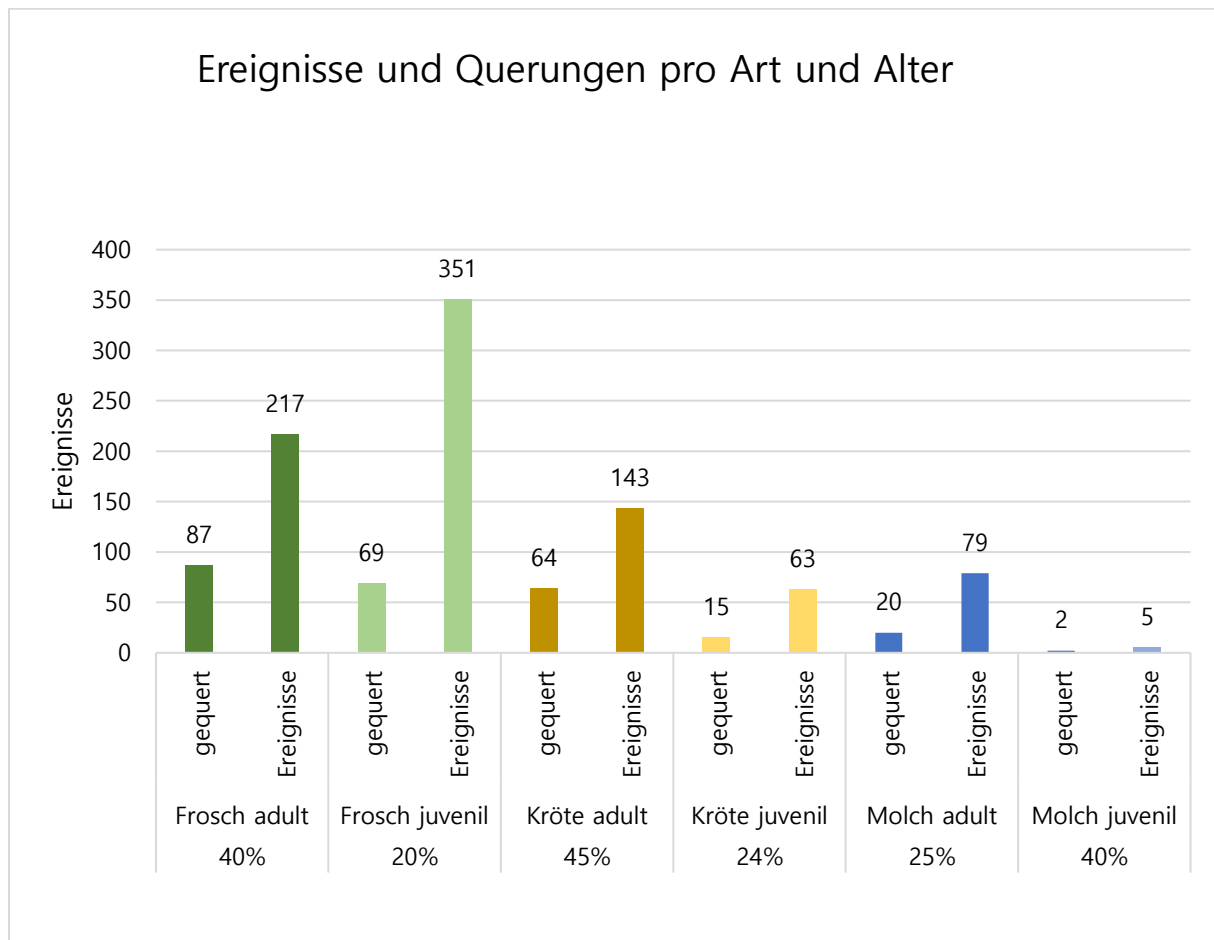


Abb. 35: Bei den adulten Fröschen queren 40%, die Juvenilen nur 20%. Bei den Kröten verhält es sich gleich, Adulte queren häufiger (45%) als die Juvenilen (23%). In beiden Fällen queren die Adulten ca. doppelt so oft wie die Juvenilen. Bei den Molchen scheint es umgekehrt, jedoch waren nur wenige Ereignisse mit juvenilen Molchen zu verzeichnen. Alle Ereignisse mit AAB wobei von den Juvenilen nur ein juveniler Grasfrosch auf das AAB getroffen ist und wie vorgesehen abgelenkt wurde.

3.10. Wird eine Mortalität beim Klettern an den Gleisen festgestellt? Werden die Tiere auf der Schiene überfahren? (Frage 9)

Während des gesamten Monitorings konnte nur ein Fall von Mortalität durch Überfahren beobachtet werden. Dabei handelte es sich um einen juvenilen Frosch am Standort Grande Carrière, der auf die Schiene gesprungen war und kurz darauf vom Zug überrollt wurde (Abb. 36). Ein weiteres juveniles Tier ist unmittelbar vor der Zugdurchfahrt von der Schiene gesprungen.



Abb. 36: Juveniler Frosch, der vom Zug überrollt wurde. © WLS.CH, 2020

Prädation durch Rabenkrähen

In Lungern wurde beobachtet, wie Rabenkrähen das Gleis patrouillieren auf der Suche nach Nahrung (Abb. 37 und Abb. 38). Eine Prädation wurde am 23.05.2021 am Standort Lungern dokumentiert. Anhand der Videoanalyse wurde ersichtlich, dass die Kröte in der Nacht zuvor beim Querungsversuch des Gleises gescheitert war und die Schiene als Tagesversteck nutzte. Die Rabenkrähe zerrt die Kröte unter der Schiene hervor, pickt auf sie ein, frisst sie jedoch nicht. Ob die Kröte an der Rabenkrähen-Attacke verendete, ist unklar.



Abb. 37: Rabenkrähe zerrt Kröte unter der Schiene hervor und pickt auf den Hals ein.

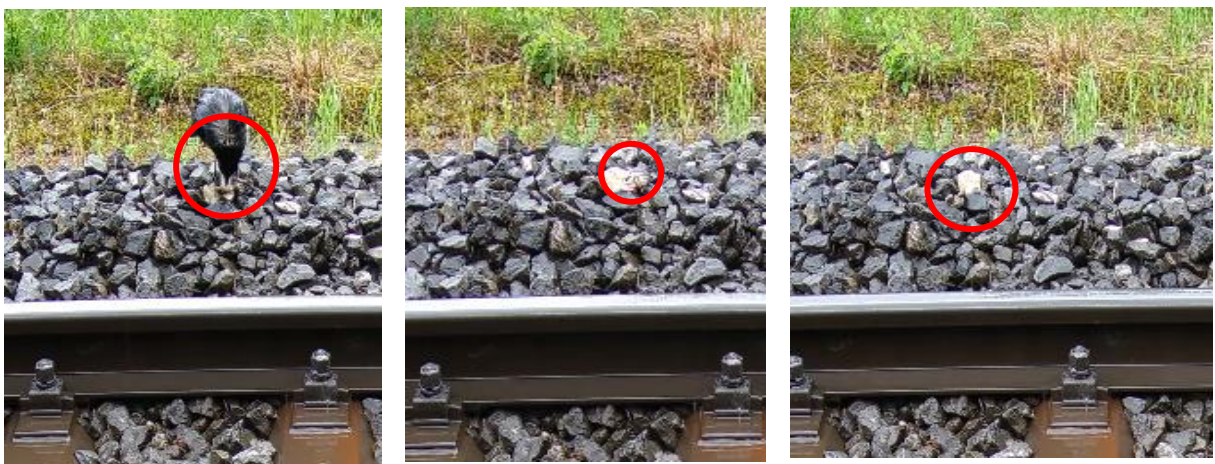


Abb. 38: Die Rabenkrähe frisst die Kröte nicht. Einige Videos später ist die Kröte nicht mehr zu sehen. Ob sie verendete oder überlebte war nicht sichtbar.

Tagesverlauf der Querungen und Zugdurchfahrten

Das Verkehrsaufkommen sowie die maximalen Zuggeschwindigkeiten gemäss RADN oder VRAIL variieren zwischen den Monitoringstandorten (Tab. 12).

Tab. 12: Die mögliche Geschwindigkeit gemäss RADN und VRAIL, Zugverkehrszeiten, Anzahl Züge pro Tag und Nacht sowie das Total der Zugdurchfahrten pro Monitoringstandort. Als Tag gelten die vollen Stunden ab 06:00 bis 18:00 Uhr und als Nacht 19:00 bis 05:00 Uhr.

Standort	Kanton	Strecke	VRAIL	Max V [km/h]	Züge/Tag	Züge/Nacht	Total
Mellikon	AG	602	651	90-100	38	7	45
Grande C.	VD	261	8	90-120	53	9	61
Oberrüti	AG	521	564	115-150	125	53	178
Lungern	OW	NA	14	42	34	1	35

An den Standorten Mellikon, Grande Carrière und Lungern ist sowohl die Tages- und Nachtfrequenz der Züge deutlich geringer als in Oberrüti, wo die Strecke Teil der internationalen Güterverkehrsachse ist. Die Gefahr für Amphibien, durch Überrollen oder Luftdruckänderungen umzukommen oder bei ihren Querungsversuchen durch Zugdurchfahrten beeinträchtigt zu werden, besteht an den untersuchten Standorten hauptsächlich während der Amphibienzugzeit bei feuchten Wetterverhältnissen bei Dunkelheit. Alle Arten zeigen ähnliche Aktivitätsphasen. In Abb. 39 sind die Querungsversuche der Amphibien pro Stunde für alle Standorte dargestellt.

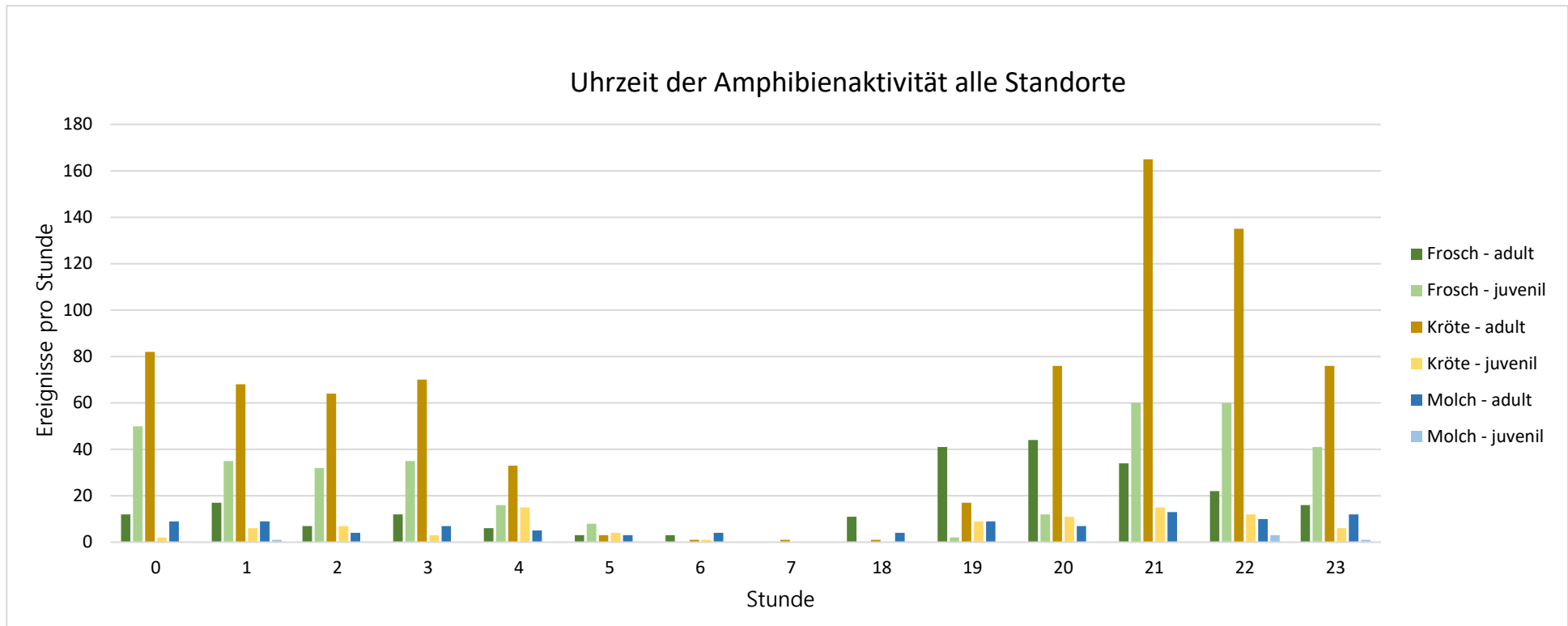


Abb. 39: Querungsversuche der Amphibien pro Stunde aller Standorte während der gesamten Monitoringzeit. Zugdurchfahrten und Amphibienquerungen überlappen sich vor allem bei Dunkelheit in den Abendstunden.

4. Diskussion

4.1. Kamerasysteme

Die Kamerasysteme haben erfolgreich die migrierenden Amphibien in Mellikon, der Grande Cariçãie, Oberrüti und Lungern bei ihren Querungen bzw. Querungsversuchen dokumentiert. Aufgrund der hohen Sensitivität der Kamerasysteme wurden viele Videos aufgenommen, die durch Insekten ausgelöst wurden. Dies generierte grosse Datenmengen, brachte die Speicherkapazität an die Grenzen und gestaltete die visuelle Analyse zeitintensiv. Eine automatisierte Auswertung, basierend auf maschinellem Lernen, wäre in Zukunft sinnvoll. Die Entdeckung der kleinen juvenilen Amphibien ist eine Herausforderung und die Bestimmung der Tierart bei Juvenilen schwierig. Kontrollen der Kameras vor Ort sind unerlässlich, um Vegetation zu entfernen und Verunreinigungen (z.B. Spinnennetze) vor den Linsen zu beseitigen.

4.2. Monitoringstandorte

Die Anzahl Ereignisse schwankte zwischen den Standorten und Jahren. Der trockene Frühling im April 2020 hat wohl in Mellikon zur Austrocknung der Tümpel geführt, denn im Jahr 2020 wurden keine Juvenilen entdeckt. Auch in der Grande Cariçãie wurden im zweiten Aufnahmejahr deutlich mehr juvenile Tiere erfasst als im ersten Jahr. Am Standort Oberrüti wurden nur wenige Ereignisse registriert, dies könnte daran liegen, dass aufgrund der späteren Installation am 8. März 2021 ein Teil des Frühlingszugs verpasst wurde. In Lungern wurde die Kameraanlage am 19. April 2021 installiert, weil bekannt war, dass die Frühlings-Amphibienzüge aufgrund der Höhenlage später stattfinden. Um keine Amphibien zu verpassen, ist es wichtig, die Kamerasysteme vor dem Frühlingszug zu installieren. In Mellikon fanden im Jahr 2020 Gleisbauarbeiten statt. Das Schotterbett wurde mit neuem Schotter aufgefüllt (sog. Grampen) – auch die extra ausgehobenen Schottergräben wurden aufgefüllt. Die Schottergräben sollten nach dem Grampen so rasch als möglich wieder durchgängig gemacht werden. Gerade zur Hauptzugzeit kann dies einen grossen Einfluss auf den Querungserfolg haben.

4.3. Anzahl der Ereignisse während Untersuchungszeit aller Standorte

Die Hauptzüge der beobachteten Amphibien setzten im Februar und März ein, was der bekannten Migrationszeit für diese Arten entspricht (Meyer et al., 2014). Amphibien beginnen ihre Wanderung sobald die Lufttemperatur + 5°C beträgt und Regenwetter einsetzt (Dervo et al., 2016; Mayer et al., 2018). Die erfassten Ereignisse schwanken stark zwischen den Jahren und Standorten. Dies ist ebenfalls in den Daten dieser Amphibienzugstellen auf der Website von Karch sichtbar (Karch, 2021a, 2021b, 2021c). Während in Mellikon und der Grande Cariçãie im ersten Studienjahr kaum Juvenile beobachtet wurden, war die Anzahl Juvenile in der Grande Cariçãie im zweiten Studienjahr höher und überstieg die Anzahl Ereignisse mit Adulten Tieren deutlich (60 Adulte und 389 Juvenile). Ein Grossteil dieser Juvenilen waren Frösche, gefolgt von Kröten. Weshalb die juvenilen Frösche so zahlreich erfasst wurden und Kröten nicht bleibt unklar. Ereignisse mit Adulten waren bei jeder Tierart ähnlich häufig erfasst worden. Im Falle der Strassenmortalität z.B. sind nicht alle Schutzmethoden oder -massnahmen für alle Amphibienarten gleichermassen geeignet (Schmidt & Zumbach, 2008). Während sich einige Methoden für die Migration zum Laichgewässer eignen, sind sie deutlich weniger wirksam bei juvenilen Froschlurchen und juvenilen Molchen. Dies könnte auch im Fall der Schottergräben und Amphibienableitbleche der Fall sein. Juvenile Tiere können auch ohne Schottergraben im Schotterbett aufgrund ihrer geringen Grösse queren. Juvenile Tiere trafen eher selten auf Amphibienableitbleche, da sie sich häufiger im Schotterbett bewegten als entlang der Schiene. Eine weitere Möglichkeit zur Erklärung der hohen Anzahl an erfassten juvenilen Fröschen wäre, dass sie aufgrund ihrer Fortbewegungsart (Hüpfen) eher von den Kameras erfasst werden, während juvenile Kröten und Molche eher im Schotterbett verborgen wandern. Zudem ist bekannt, dass Amphibienpopulationen natürlichen Schwankungen ausgesetzt sind (Schmidt & Zumbach, 2008). In vorangegangenen Studien wurde gezeigt, dass Molche spät im Herbst ihre Rückwanderung antreten (Suter et al., 2020). In der vorliegenden Studie wurde das Monitoring jedoch nur bis August durchgeführt. Prädation und lokales Austrocknen von kleinen Laichgewässern könnte ebenfalls einen Einfluss haben. In Mellikon sind im ersten Studienjahr die Tümpel wegen hohen Temperaturen beinahe ausgetrocknet. Es besteht die Möglichkeit, dass die Larven bis zur Metamorphose nicht überlebt haben und deshalb keine juvenilen Tiere beobachtet werden konnten.

4.4. Erlauben die Schottergräben (mit und ohne AAB) ein erfolgreiches Queren der Gleise? (Frage 1)

Schottergräben

Das Monitoring hat gezeigt, dass an den Standorten mit Querungshilfen 27% der Amphibien erfolgreich im Schottergraben queren. Wobei auch Querungen ausserhalb dokumentiert wurden. Schottergräben helfen Amphibien bei der Querung der Gleise, auch wenn nicht alle Amphibien den Schottergraben finden oder nach Auffinden wirklich zur Querung nutzen. Der Standort Lungern wurde nicht mit Querungshilfen ausgestattet. Hier wurden 43% der insgesamt 1'563 Ereignisse erfasst, jedoch nur 46 Querungen (7% von 665) dokumentiert. Dieser Vergleich zeigt auf, dass Querungshilfen einen massgeblichen Einfluss auf den Querungserfolg haben.

Der Kontakt mit dem Schottergraben resultierte nicht in allen Ereignissen in erfolgreichen Querungen. In 93 Querungsversuchen nutzten Amphibien den Schottergraben auch nur zur Unterquerung einer Schiene. Anstatt den Schottergraben vollständig zu durchqueren, setzten viele ihre Wanderung im Gleiszwischenraum fort, was nicht ausschliesst, dass sie später ausserhalb des Überwachungsbereichs die zweite Schiene ebenfalls überwandern. Nach nichterfolgreicher Querung konnte keine Umkehr zurück zum Winterhabitat oder Laichgewässer beobachtet werden. Die Tiere haben sich entweder links oder rechts dem Gleis entlang aus dem überwachten Bereich bewegt. Mehrere Schottergräben in kurzen Abständen würden in solchen Fällen möglicherweise rascher zu einer Querung führen und den Tieren ein kräftezerrendes Herumirren im Gleiszwischenraum und Zeiteinbussen ersparen. Gerade bei zweigleisigen Strecken wäre das eine Erleichterung.

Die zweigleisig befahrene Strecke in Oberrüti wies den besten Querungserfolg auf, jedoch bedeutet dies nicht, dass die beobachteten Tiere alle vier Schienen querten. Jedes Gleis wurde separat überwacht und ausgewertet. Daraus darf nicht fälschlicherweise geschlossen werden, dass Amphibien bei doppelgleisigen Strecken einen höheren Querungserfolg aufweisen. Zudem war die Anzahl der Ereignisse in Oberrüti klein $n=36$ (2% von 1'563) im Vergleich zu den anderen Standorten. In Mellikon war der Querungserfolg 7% höher als in der Grande Cariçaie. Jedoch wurden im zweiten Aufnahmejahr in der Grande Cariçaie deutlich mehr Juvenile gezählt. Diese tauchten teils plötzlich aus dem Schotter auf und verschwanden wieder im Schotter. Dies generierte Ereignisse, welche beim Kriterium

«Querung» oft mit «nicht sichtbar» beurteilt werden mussten. Einige Arten und Altersstadien sind klein genug, um nicht im Schottergraben unter der Schiene zu queren. Adulte Tiere sind allgemein einfacher beim Querungsversuch zu beurteilen, während juvenile plötzlich hinter oder unter dem Schotter verschwinden.

In Lungern haben sogar adulte Kröten unter einer Schiene ohne Schottergraben gequert. Andere Querungshilfen wie z.B. der gleisnahe Kleintierdurchlass könnten den Vorteil aufweisen, dass Amphibien rascher queren, da sie durch die Lenkung nicht im Gleiszwischenraum in die falsche Richtung wandern. Jedoch ist hier die Anzahl der Durchgänge entlang der Amphibienzugstellen entscheidend. Nach oben gesicherte Durchgänge, welche über die gesamte Gleisbreite reichen, würden auch besser vor Prädation schützen. Für alle Tunneldurchgänge muss bedacht werden, dass Leitstrukturen nötig wären, um die Amphibien zur Öffnung zu führen. Bei der Lösung mit Schottergräben und Amphibienableitblechen wäre dies nicht nötig.

Amphibienableitbleche

Die Aufnahmen haben gezeigt, dass bei Tieren, welche entlang der Schiene wandern, die Amphibienableitbleche eine hohe Zweckerfüllung aufwiesen. Amphibienableitbleche werden zwar auch als Steighilfe genutzt, in den meisten Fällen bezwecken sie jedoch ein Abdrängen des Tiers in den Schottergraben. Knapp zwei Drittel (62%) von jenen Tieren, bei denen die Amphibienableitbleche ihren Zweck erfüllten, haben anschliessend den Schottergraben genutzt. Amphibienableitbleche könnten mit der Zeit durch Bremsstaub verschmutzt werden und dadurch an Wirksamkeit verlieren. Insbesondere Molche könnten dann aufgrund der erhöhten Griffigkeit über die Gleisabweiser hinweg laufen und würden nicht mehr in den Schottergraben abgelenkt. In fünf Ereignissen war zu sehen, wie sich Molche entlang der Schiene annäherten aber anschliessend über die Amphibienableitbleche drüber gingen, anstatt in den Schottergraben zu fallen. Bei Fröschen und Kröten wurde dies nie beobachtet.

Bei einer grossen Anzahl der Ereignisse hatten die Amphibien keinen Kontakt mit den Amphibienableitblechen oder es war nicht sichtbar. In jenen Ereignissen, in denen die Zweckerfüllung der Amphibienableitbleche nicht sichtbar war, besteht trotzdem eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass sie ihren Zweck erfüllt hatten.

In der Grande Cariçai (Zeit ohne installierte AAB) war auch ohne Amphibienableitbleche ein guter Querungserfolg von 48% zu verzeichnen. Dabei handelte es sich aber

ausschliesslich um adulte Tiere, welche aufgrund ihrer Grösse besser im Video verfolgt werden können. Zudem waren in der Grande Cariçaië zu jeder Zeit zwei nebeneinanderliegende Schottergräben zur Querung verfügbar.

Querungen in der Grande Cariçaië ohne AAB

Obwohl die Molche mit 17 Ereignissen am häufigsten vertreten waren (Frösche n=11, Kröten n=12) kam es nur zu 2 Querungen. Dies ist möglicherweise damit zu erklären, dass sich viele Molche dem Schottergraben entlang der Schiene näherten. Aufgrund ihres schlanken Körpers haben sie ausreichend Platz auf dem Schienenfuss und können sich mühelos entlang der Schiene bewegen. Sind keine Amphibienableitbleche installiert, welche die Tiere von der Schiene in den Schottergraben abdrängen, gehen die Molche einfach der Schiene entlang weiter und verpassen den Schottergraben. Kleine Exemplare wurden vereinzelt bei der Querung unter der Schiene beobachtet, in kleinen Lücken im Schotterbett. Wären die Amphibienableitbleche in der Grande Cariçaië früher installiert gewesen, wäre es wahrscheinlich zu mehr Querungen bei den Molchen gekommen.

Querungen von anderen Tieren im Schottergraben

Neben Amphibien nutzten auch Mäuse (Langschwanz- und Wühlmäuse) und Schlangen (Ringelnattern) den Schottergraben zur Unterquerung des Gleises. Demnach dient der Schottergraben nicht nur Amphibien als Querungshilfe, sondern auch Reptilien und Kleinsäugetern.

4.5. Zeitdauer, bis die Tiere den Durchlass finden (mit und ohne AAB)? (Frage 2)

Diese Frage kann nicht abschliessend beantwortet werden, da der Grossteil der Amphibien ausserhalb der Weitwinkelzone auf den Gleisbereich getroffen ist. Die Mehrheit der Tiere, welche in den Weitwinkelvideos zu sehen waren, näherte sich bereits auf dem Schotter oder entlang der Gleise. Daher kann keine Aussage darüber gemacht werden, wie lange die Tiere bereits entlang der Gleise oder des Schotters nach einer Querungsmöglichkeit gesucht haben. Auch bei jenen Fällen, in denen die Amphibien von vorne oder oben an das Gleis stiessen, eignen sich die aufgezeichneten Videosequenzen nicht um diese Frage zu beantworten. Die Tiere näherten sich entweder hinter der Schiene und waren demnach nicht sichtbar. Mit besenderten Individuen und einer hohen zeitlichen Auflösung bei den Positionsdaten, könnte die Zeit bestimmt werden, die Amphibien brauchen, um Gleise zu queren.

4.6. Beeinflusst Zugdurchfahrt das Verhalten der Amphibien bei der Querung? Gibt es Unterschiede zwischen verschiedenen Amphibienarten und Altersstadien? (Frage 3 und 4)

Bei allen Standorten ist klar ersichtlich, dass es bei einem Grossteil der Amphibien durch vorbeifahrende Züge zu einer Verhaltensänderung kommt. Vor der Zugdurchfahrt ist die am häufigsten beobachtete Verhaltensänderung das plötzliche Verharren bei Tieren, die kurz davor noch in Bewegung waren. Amphibien spüren möglicherweise die Vibrationen des herannahenden Zugs. Während der Zugdurchfahrt verharren 53% aller Amphibien. Ebenso wurde in 21% der Ereignisse ein Wegspringen bei Zugdurchfahrt beobachtet. Nach Zugdurchfahrt verharren 65% aller Amphibien und bewegen sich erst nach frühestens 5 Sekunden bzw. durchschnittlich nach 44 Sekunden ($n=84$) wieder und setzen ihre Wanderung fort. Juvenile Tiere $n=33$ (\bar{x} 31 Sekunden) setzten sich durchschnittlich 23 Sekunden früher wieder in Bewegung als Adulte $n=51$ (\bar{x} 54 Sekunden). Im Fall der Frösche und Molche beobachtete A. Hunziker (2021) in seiner Bachelorarbeit folgende Wartezeiten nach Zugdurchfahrten: Frösche 49.5 s, Kröten 35 s und Molche 36 s. In der vorliegenden Studie war die durchschnittliche Wartezeit bei adulten Kröten und Molchen höher (Frösche \bar{x} 42 s, Kröten \bar{x} 82 s und Molche \bar{x} 43 s).

In 14% der Ereignisse springen die Amphibien nach der Zugdurchfahrt weg (nach weniger als 5 Sekunden). In einigen wenigen Fällen wurde nach der Zugdurchfahrt eine Umkehr

beobachtet oder die Tiere bewegten sich nur eine kurze Strecke lang bis sie wieder verharren. Die eingeschlagene Richtung wurde in den allermeisten Ereignissen beibehalten. Vergleicht man den Querungserfolg bei Ereignissen mit Zugdurchfahrt mit jenen ohne Zugdurchfahrt ist kein erheblicher Unterschied feststellbar. Einige Amphibien verhalten sich eher ruhig andere eher hektisch, wobei dies subjektive Einschätzungen sind.

4.7. Führt der erhöhte Luftdruck vorbeifahrender Züge zu Verletzungen oder zur Tötung der querenden Tiere? Gibt es Unterschiede zwischen verschiedenen Altersstadien und Arten? (Frage 5 und 6)

In keinem Video konnte beobachtet werden, dass ein Amphib durch den Luftdruckunterschied direkt getötet wurde. Ob die Tiere trotzdem innere Verletzung davontrugen und diesen ausserhalb des Überwachungsbereiches erlagen, kann nicht beurteilt werden.

In einem mathematischen Modell (Hummel, 2001) wurde vorhergesagt, dass Autoüberfahrten mit 50 km/h auf Asphaltstrassen bereits zu einer Mortalität bei Amphibien führen. Jedoch nicht durch den Fahrtwind, sondern durch den auf der Fahrbahn wirksame Druck. Weiter wurde festgestellt, dass der Fahrzeugtyp dabei einen Einfluss hat (tiefliegende Sportwagen etc.) (Hummel, 2001; May, kein Datum). Dies kann in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Bei der Bahn ist die Distanz zwischen Schotter und Zugunterseite im Durchschnitt grösser als bei Autos auf Asphaltstrassen. Zudem unterscheidet sich die Beschaffenheit des Untergrunds. Diese beiden Faktoren haben einen Einfluss auf die Druckverhältnisse auf Amphibienhöhe. Die meisten Amphibien befanden sich während der Zugdurchfahrt im Gleiszwischenraum aber auch auf dem unteren Schotterbett. Kein Tier hat sichtbar Schutz vor der herannahenden Gefahr gesucht.

In der Studie von Meyer et al. (2018) konnte Hummels Modell ebenfalls nicht bestätigt werden. Darin wurden die Auswirkungen von Autoüberfahrten auf Kröten (*Rhinella marina*) mit Geschwindigkeiten von 50-110 km/h untersucht. Die Tiere wurden nach der Überfahrt eingesammelt, vermessen und über Nacht verwahrt, um potenzielle innere Verletzungen zu entdecken, welche erst nachträglich zum Tod führen. Alle 97 Kröten überlebten. Auch nach 24 Stunden waren keine Anzeichen von Barotrauma, Verletzungen oder Stress zu erkennen. Der Einfluss von Druckunterschieden könnte bei verschiedenen Amphibienarten aufgrund ihrer unterschiedlichen Grösse auch unterschiedlich stark ausfallen. Bei den Arten, die

während dieser Studie beobachtet wurden, konnte kein Unterschied zwischen Alter und Amphibienart festgestellt werden. Obwohl durch den Strassenverkehr verursachte Druckwellen bei Amphibien in der Studie von Meyer et al. (2018) nicht zu einem Barotrauma zu führten, sind Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Strassen dennoch wirksam, um das Überfahren der migrierenden Amphibien zu vermindern (Mayer et al., 2018). Dies ist jedoch im Bahnverkehr schwierig umsetzbar. In der Studie von Dornas et al. (2019) wiederum zeigten Kröten (Gattung *Rhinella*) neben Schnittverletzungen (Überfahren) und Austrocknungen klare Anzeichen eines Barotraumas (innere Organe aus dem Maul gestülpt) bei Zuggeschwindigkeiten von 70 – 80 km/h. Jedoch sind diese Züge erheblich länger (330 Wagons = 3.5 km). Diese Schlussfolgerung erfolgte nicht durch Videoanalysen und es ist möglich, dass andere Faktoren zu diesen Verletzungen geführt haben.

Ein Wegwinden der Amphibien durch die Druckwelle wurde in drei Ereignissen beobachtet. Ein Molch wurde durch die Luftdruckveränderung des Zugs vom Amphibienableitblech aus dem Überwachungsbereich geschleudert. Ob in solchen Fällen die Tiere eine Weile die Orientierung verlieren, innere Verletzungen davontragen oder gar sterben, kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden. Tiere, welche nach der Zugdurchfahrt noch sichtbar waren, schienen unverletzt zu sein und setzten ihre Wanderung nach der Zugdurchfahrt fort. Möglich wäre, dass weggeschleuderte Tiere aufgrund des Aufpralls Verletzungen davontragen oder sterben und nicht aufgrund des Druckunterschieds – Dies wäre im vorliegenden Fall mit dem Molch durchaus denkbar. Möglicherweise hat jedoch nicht die Druckwelle den Molch weggeschleudert, sondern die Vertikalbewegung der Schiene, die durch die Last des Güterzuges ausgelöst wurde.

Bei den Unterhaltsarbeiten wurden keine toten Tiere nahe der Schottergräben gefunden. Natürlich könnten auch Aasfresser wie Fuchs oder Rabenkrähen tote Tiere beseitigt haben. Füchse waren häufig auf den Aufnahmen zu sehen, ebenso wie Marder und vereinzelt auch Schlangen. Jedoch waren weder auf Videos noch bei Unterhaltsarbeiten tote Amphibien oder Aasfresser beim Beseitigen von Kadavern sichtbar.

Auf stark frequentierten, mehrgleisigen Strecken, wo sich Zugfahrten in den Nachtstunden mit der Amphibienaktivität überschneiden, könnte der Einfluss der Zugdurchfahrten gerade während der Amphibienzugzeiten bei feuchtem Wetter grösser ausfallen.

4.8. Wie gross sind die Luftdruckänderungen zwischen den Gleisen auf Bodennähe bei vorbeifahrenden Zügen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten?

(Frage 7)

Wie die Messungen in Mellikon, der Grande Cariçãie und zwischen Gland und Nyon gezeigt haben, nimmt der Luftdruckunterschied mit steigender Geschwindigkeit beträchtlich zu. Während in Mellikon (Personenzüge 80 km/h) kaum ein Druckunterschied registriert wurde (+- 1.40 mbar), beträgt der Luftdruckunterschied am Standort Grande Cariçãie bei Zugdurchfahrt mit 110km/h auf Bodennähe +5/-10/+6.5 mbar. Die gemessenen Druckunterschiede in der Grande Cariçãie liegen im selben Bereich wie die Messresultate von A. Hunziker (2021) (5-10 mbar). Auf Strecken mit noch höherer Geschwindigkeit, z.B. wie zwischen Gland und Nyon, entsteht eine stärkere Druckwelle. Bei einer Geschwindigkeit von 130-140 km/h betrug der gemessene Druckunterschied 217 mbar. Dieser Druckunterschied ist signifikant höher im Vergleich zu den Standorten wo Amphibien zusammen mit Zugsdurchfahrten in der vorliegenden Studie beobachten wurden. Weitere Beobachtungen auf Hochgeschwindigkeitsstrecken sind nötig, um die Auswirkungen von grossen Luftdruckänderungen auf Amphibien zu evaluieren. Möglicherweise hat auch der Zugstyp einen signifikanten Einfluss auf die Druckentwicklung bei der Durchfahrt.

4.9. Gibt es ein erfolgreiches Queren der Gleise? Wenn ja, welche Arten?

(Frage 8)

Die am häufigsten beobachtete Querungsart war die unter einer Schiene durch. Das bedeutet, viele Amphibien hatten bereits ausserhalb des Überwachungsbereichs eine Schiene gequert und näherten sich dem Schottergraben im Gleiszwischenraum. Ob die Querung der ersten Schiene durch einen anderen Schottergraben stattfand, z.B. in Mellikon, kann nicht beurteilt werden. In den meisten Fällen querten die Amphibien wie beabsichtigt im Schottergraben unter der Schiene resp. unter dem Gleis. Die Frösche querten auch ab und zu über die Schienen. Dies ist nicht erstaunlich, da sie eher dazu neigen zu springen und so auch über die Gleise queren. Amphibienableitbleche dienten auch als Steighilfe über eine Schiene. Kröten nutzen gerne die Lücke im Schottergraben. Molche nutzen teils kleine Lücken im Schotterbett und querten unter der Schiene. In drei Ereignissen haben Weibchen mit Männchen im Huckepack ebenfalls eine Querung geschafft, auch wenn diese Querungen äusserst beschwerlich erschienen.

4.10. Wird eine Mortalität beim Klettern über die Gleise festgestellt? (Frage 9)

Die Mortalität beim Klettern über die Gleise ist äusserst gering (1 von 1'563). Ein juveniler Frosch wurde in der Grande Cariçai vom Zug überrollt. Obwohl gerade Frösche auch über die Schiene queren und teilweise eine Weile sitzen bleiben, wurde kein weiterer Fall von Mortalität beobachtet. Der Tagesverlauf der Querungen zeigt, dass sich die Züge und die Amphibienaktivität nur während der Abendstunden bei Dunkelheit überlappen. An Standorten mit einer höheren Zugfrequenz oder mit mehr Güterverkehr in der Nacht könnte die Mortalität steigen gerade während Hauptzugzeiten und regnerischem Wetter.

Rabenkrähen wurden in Lungern dabei beobachtet, wie sie die Gleise patrouillieren und Jagd auf Amphibien machen. In einer Studie zur Effektivität von Amphibiendurchlässen unter Strassen wurde bereits aufgezeigt, dass Ringelnattern und Iltisse Durchlässe nutzen, um Amphibien zu erbeuten (Eigene Beobachtung Autoren). Im dokumentierten Fall von Lungern war ersichtlich, dass die erbeutete Kröte davor vergeblich versucht hatte das Gleis zu überwinden. Möglicherweise wäre mit einem Schottergraben der Querungsversuch nicht gescheitert und die Kröte hätte sich rechtzeitig in Deckung bringen können. Je länger sich Amphiben an exponierten Stellen aufhalten müssen, z.B. zur Querung eines Hindernisses, desto anfälliger sind sie für Prädation. Auch wenn Tiere beim Querungsversuch nicht Beutegreifern zum Opfer fallen, ist die Überwindung eines Hindernisses mit einem Energie- und Zeitverlust verbunden. Zudem besteht das Risiko der Austrocknung bei längeren Wanderungen ohne geeignete Deckung.

5. Schlussfolgerungen

Das solarbetriebene Kamerasystem eignet sich für die Überwachung von präparierten Gleisabschnitten und zur Erfassung von migrierenden Amphibien. Sollen auch juvenile Amphibien erfasst werden, dann muss die Erfassung so sensitiv eingestellt werden, dass auch viele Videos ohne Amphibien generiert werden, was in der Folge die visuelle Analyse aufwändig gestaltet. Um die Datenmenge zu minimieren, könnten die Kameras so programmiert werden, dass sie nur zu bestimmten Tageszeiten aufnehmen. Die Datenanalyse könnte auch auf Tage mit regnerischem oder feuchtem Wetter reduziert werden. In Zukunft könnte mit Hilfe von künstlicher Intelligenz der Aufwand für die Datenauswertung reduziert werden.

Schottergräben werden als Querungshilfen angenommen und erleichtern Amphibien die Unterquerung der Schienen. Falls ein Schottergraben vorhanden ist, kommt es in rund 27% der Ereignisse zu erfolgreichen Querungen, während ohne Schottergraben nur in 7% der Ereignisse erfolgreiche Querungen zu verzeichnen waren. Der Kameraausschnitt zeigt nur einen kleinen Bereich der ganzen Amphibienzugstelle. Der Querungserfolg muss demnach höher ausgefallen sein. Die Amphibienableitbleche erfüllen in 90% der Fälle ihren Zweck und drängten Tiere direkt in den Schottergraben und sie werden auch als Steighilfe genutzt. Sie sind besonders wichtig, wenn sich Tiere entlang der Schienen nähern.

Es ist nach Abschluss der Studie noch immer unklar, wie lange Amphibien den Gleisen entlang gehen, bevor sie eine Querungsmöglichkeit finden. Somit ist eine abschliessende Aussage über die Dauer bis zum Auffinden des Schottergraben nicht möglich. Eine Besenderung von Tieren würde hier eine klarere Datenlage schaffen.

Zugdurchfahrten beeinflussen das Querungsverhalten der Tiere. Die meisten Amphibien verharren während und nach der Zugdurchfahrt, setzen dann aber ihren Querungsversuch nach durchschnittlich 44 Sekunden in eingeschlagener Richtung fort. Nur bei den adulten Kröten konnte eine deutlich längere Verharrungszeit beobachtet werden. Ansonsten konnten keine markanten Verhaltensunterschiede bezüglich Art und Alter festgestellt werden. Eine Umkehr ist nur in Einzelfällen beobachtet worden.

Die kurzzeitige Luftdruckveränderung bei Zugdurchfahrten hat bei den Amphibien keine offensichtlichen Verletzungen verursacht oder zum Tod geführt. Ob ausserhalb des Überwachungsperimeters Tiere an potenziellen inneren Verletzungen starben, kann nicht beurteilt werden. Gerade bei hoher Zugfrequenz und hohen Geschwindigkeiten könnten

Tiere möglicherweise durch ein Wegwinden und Aufprallen Schaden nehmen. Vertikale Bewegungen des Schienenkörpers, verursacht durch eine Zugdurchfahrt, können ebenfalls dazu führen, dass Amphibien weggeschleudert werden.

Die Amphibien queren hauptsächlich via Schottergraben unter einer Schiene oder unter dem Gleis, aber es kommen auch andere Querungsarten über die Schienen vor, z.B. bei den Fröschen. Mortalität beim Klettern an den Gleisen konnte nur in einem Fall bei einem juvenilen Frosch beobachtet werden. Zugdurchfahrten und Amphibienaktivität überlappen sich in den Abendstunden bei Dunkelheit. Strecken mit hohen Zugsfrequenzen in den späten Abendstunden und nachts könnten die Mortalität erhöhen, da es zu einer Überlappung mit der Amphibienaktivität kommt. In der Hauptzugszeit bei feucht-regnerischem Wetter ist die Gefahr am höchsten.

Im Fall von Lungern konnte anhand der Videoanalyse festgestellt werden, dass das Queren der Schienen ohne Querungshilfen mit einem erheblichen Energie- und Zeitverlust verbunden ist. Zudem ist ein Einfluss der Schienenquerung auf die natürliche Selektion nicht auszuschliessen. So könnte es sein, dass ansonsten konkurrenzfähige Tiere an der Überwindung der Barriere scheitern und so gar nicht am Fortpflanzungsgeschehen teilnehmen. Je länger Tiere an exponierten Stellen wegen Hindernissen aufgehalten werden, desto höher wird die Wahrscheinlichkeit, dass sie Beutegreifern zum Opfer fallen. Inwiefern sich das längerfristig auf die Population auswirkt – Tiere kommen in einem geschwächten Zustand zu einem späteren Zeitpunkt im Laichgewässer an, ein Teil der Population wird vom Fortpflanzungsgeschehen ausgeschlossen bzw. auf der Wanderung erbeutet – kann nicht abschliessend beurteilt werden.

An Amphibienzugstellen, wo Gleise zwischen Winterhabitat und Laichgewässer als Barriere wirken, sind Querungshilfen während der Hauptzugszeiten wichtig. Amphibienablenkbleche und Schottergräben sind günstige und effektive Querungshilfen, welche die Durchlässigkeit von Bahnlinien signifikant erhöhen. Entlang der Gleisabschnitte, die Amphibienzugstellen kreuzen, sollten daher in regelmässigen Abständen mehrere Schottergräben ausgehoben und Amphibienablenkbleche installiert werden. Schottergräben und Amphibienablenkbleche müssen regelmässig auf ihre Durchgängigkeit respektive Verschmutzung überprüft werden. Neben Amphibien nutzen auch Kleinsäuger und Reptilien den Schottergraben zur Unterquerung des Gleises, der Schottergraben schafft somit auch für andere Arten Querungsmöglichkeiten.

Amphibien sind durch die Zerstörung ihrer Lebensräume und die Fragmentierung ihrer Habitate stark unter Druck. Daher besteht die Dringlichkeit geeignete und effektive Querungserleichterungen für wandernde Amphibien zu schaffen und dauerhaft zu erhalten. Die Resultate dieser Studie zeigen auf, dass mit verhältnismässig wenig Aufwand und geringen Kosten eine grosse Wirkung erzielt werden kann.

6. Dank

Wir danken Antoine Gander und seinem Team von der Association de la Grande Cariçaie sowie Gilles Neuhaus von den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) für die Unterstützung am Standort in der Grande Cariçaie. Für die Unterstützung am Standort Mellikon danken wir Herbert Cueni von den SBB und sowie Thomas Urfer und Detlef Gebser. Josef Gasser und Markus Weiss von der Zentralbahn danken wir für die Unterstützung am Standort Lungern. Weiter danken Patrick Huwiler vom Kanton AG für das Zurverfügungstellen der Lenkzäune am Standort Mellikon. Wir danken Maria Jakober von der Regionalvertretung Karch Kanton Obwalden für die Informationen zum Standort Lungern. Bei Andrin Hunziker bedanken wir uns für die zusätzlichen Druckmessungen. Für die Unterstützung beim Standort Oberrüti danken wir Thomas Gerber und Nicolas Bircher. Für die anregenden Diskussionen danken wir Adrien Zeender vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), Karin Hilfiker von den SBB und Silvia Zumbach von der Koordinationsstelle für Amphibien und Reptilien in der Schweiz (Karch).

7. Literaturverzeichnis

- Budzik, K., & Budzik, K. (2014). A preliminary report of amphibian mortality patterns on railways. *Acta Herpetologica*, 9, 103–107. https://doi.org/10.13128/Acta_Herpetol-12914
- Dervo, B. K., Bærum, K. M., Skurdal, J., & Museth, J. (2016). Effects of Temperature and Precipitation on Breeding Migrations of Amphibian Species in Southeastern Norway. *Scientifica*, 2016, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/3174316>
- Dornas, R. A. P., Teixeira, F. Z., Gonsioroski, G., & Nóbrega, R. A. A. (2019). Strain by the train: Patterns of toad fatalities on a Brazilian Amazonian railroad. *Science of The Total Environment*, 660, 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.371>
- Hummel, D. (2001). Amphibienschutz durch Geschwindigkeitsbegrenzung—Eine aerodynamische Studie. *Natur und Landschaft*, 76(12).
- Hunziker, A. (2021). Problématique de migration des batraciens et du réseau ferroviaire. Thèse de Bachelor, HEPIA.
- Karch. (2021a). Karch | Amphibienzugstellen in der Schweiz 198. Yverdon-les-Bains-Yvonand Zugstnr. 198. <https://lepus.unine.ch/zsdb/details.php?lang=de&site=198>
- Karch. (2021b). Karch | Amphibienzugstellen in der Schweiz 225. Lungern-Kaiserstuhl-Zgstnr. 225. <https://lepus.unine.ch/zsdb/details.php?&site=225>
- Karch. (2021c). Karch | Amphibienzugstellen in der Schweiz 2077. Mellikon Zgstnr. 2077. <https://lepus.unine.ch/zsdb/details.php?&site=2077>
- May, H. (kein Datum). Amphibientod auf Straßen—NABU. NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/amphibien-und-reptilien/amphibien/wissen/00893.html>

- Mayer, M., Lyons, J. A., Shine, R., & Natusch, D. J. D. (2018). Air-pressure waves generated by vehicles do not imperil road-crossing amphibians. *Salamandra*, 54, 80–82.
- Meyer, A., Zumbach, S., Schmidt, B., & Monney, J.-C. (Hrsg.). (2014). *Auf Schlangenspuren und Krötenpfaden: Amphibien und Reptilien der Schweiz* (2. korr. Aufl). Haupt.
- Regelwerk SBB R I-30131. Streckentabellen. (2021).
- Schmidt, B. R., & Zumbach, S. (2008). Amphibian Road Mortality and How to Prevent It: A Review. <https://doi.org/10.5167/UZH-10142>
- Suter, S., Schaer, B., Wider, S., Meer, S., & Kryszczuk, K. (2020). Monitoring von Amphibiendurchlässen in der Reussebene. Schussbericht. Im Auftrag des Kantons Aargau.
- Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (2010). „Fauna und Verkehr; Schutz der Amphibien, Massnahmen“, VSS Norm 640 699A.

Anhänge

Anhang I: Auswertungsprotokoll/Kriterienkatalog

Abkürzungen	AAB= Amphibienableitbleche SG= Schottergraben SB=Schotterbett GZR=Gleiszwischenraum UK=Umkehr KK=Kabelkanal ent=entlang eS=eine Schiene u=unter ü=über S=Schiene entS=entlang Schiene üeS=über eine Schiene ueS=unter einer Schiene
ID_Event	Als Event gilt das Erscheinen eines Amphibes, oder eines Amphibs mit Zug im Erfassungsbereich der Nahbereichskamera. Falls mehrere Tiere zusammen auftauchen, wird jedes Tier als einzelner Event aufgeführt, da sie unterschiedliche Verläufe der Querungsversuche aufweisen. Die Events werden mit einer fortlaufenden Event-ID versehen. Verschwindet ein Tier aus dem Erfassungsbereich der Nahbereichskamera und vergeht mehr als eine Minute (61 Sekunden) bis ein neues oder evt. das gleiche Tier wieder in den Erfassungsbereich eintritt, gilt das als neuer Event, besonders wenn es sich um eine andere Art oder um ein anderes Individuum handelt, sofern ersichtlich. Gleichen sich die Tiere (Art und Grösse) wird dennoch ein neuer Event erfasst, wenn mehr als eine Minute verstrichen ist.
Datum	Für jeden Event wird das Datum angegeben, an dem er aufgenommen wurde.
ID_Cam	Hier wird angegeben, ob der Event mittels Weitwinkel- oder Nahbereichskamera erfasst wurde.
Eventart	Als Eventart gibt es zwei Möglichkeiten: ein Amphib oder mehrere Amphibien (Huckepack) sowie ein Amphib mit Zugdurchfahrt.

gStunde	Mit der gerundeten Stunde wird angegeben, zu welcher angebrochenen Stunde der Event aufgenommen wurde. Bsp.: Ein Video wird um 19:16:32 aufgenommen, dann wäre die gerundete Stunde 19 Uhr.
Zeitabschnitt	Hier werden die Videosequenzen eingetragen, in denen ein Event sichtbar ist. Dies wird im SmartPlay in der linken Kolonne angegeben. Dauert ein Event mehrere Videosequenzen lang, wird als erstes der Zeitstempel eingetragen von dem Video, in dem das Tier sichtbar wird und als letzten Zeitstempel jener bei dem das Tier aus dem Sichtfeld verschwindet oder erfolgreich gequert hat.
Tierart	Hier wird angegeben, um welche Tierart es sich handelt, wenn möglich. <ul style="list-style-type: none"> • Grasfrösche springen, haben lange Beine, einen Schläfenfleck und glatte Haut • Erdkröten laufen, haben im Vergleich zu Grasfröschen kurze Beine und haben warzige Haut • Bei den Molchen ist kaum unterscheidbar um was für eine Art es sich handelt. Hier wird aber der Bergmolch angenommen. • Feuersalamander sollten anhand ihrer Warnzeichnung erkennbar sein
Alter	<ul style="list-style-type: none"> • Adult • Juvenil Dies wird anhand der Jahreszeit und aufgrund der Grösse und Art bestimmt.
Anzahl	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl Tiere pro Event (Huckepack z.B. zwei Tiere)
Seite	Angabe von welcher Seite sich ein Tier nähert. Hier gibt es vier Möglichkeiten: <ul style="list-style-type: none"> • von vorne = unterer Bildrand • von links • von rechts • von oben = oberer Bildrand Erscheint ein Tier in einer Bildecke, gilt die Diagonale als Entscheidungshilfe

<p>Material</p>	<p>Hier wird genauer angegeben, auf welchem „Material“ oder Untergrund sich die Tiere nähern</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wiese oben • Entlang Schiene links (Tiere befinden sich nicht im GZR und läuft auf Metall) • Entlang Schiene rechts (Tiere befinden sich nicht im GZR und läuft auf Metall) • Schotter (Auf dem Schotterbett auf der unteren Seite des Gleises. Das Tier befindet sich nicht im GZR) • Im Gleiszwischenraum auf dem Schotter (Tier befindet sich zwischen den Schienen auf dem Schotter) • Im Gleiszwischenraum entlang der Schiene links (Tier läuft auf Metall) • Im Gleiszwischenraum entlang der Schiene rechts (Tier läuft auf Metall) • Kabelkanal (KK) • Nicht sichtbar (wenn es nicht erkenntlich ist aus videotechnischen Gründen)
<p>Amphibienableitbleche Zweck</p>	<p>Der Amphibienableitbleche hat zum Zweck, dass Tiere, die sich dem Gleis entlang nähern von den AAB abgedrängt werden und entweder in den Schottergraben runterfallen oder runterspringen. Ebenfalls kann der AAB als Steighilfe dienen, um die Schiene besser zu überwinden oder in Kombination. Findet dies statt, hat der AAB seinen Zweck erfüllt. Laufen Tiere über den AAB weg und fallen nicht in den SG, hat der AAB seinen Zweck nicht erfüllt. Als Zweck erfüllt können demnach die beiden ersten Optionen gewertet werden und Option drei als Zweck nicht erfüllt. Folgende Auswahlmöglichkeiten kommen für die Spalte AAB in Frage:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ja, runtergefallen in SG • Ja, auf Schotter runtergesprungen • Ja, Steighilfe • Ja Kombination von beidem • Nein, drüber gelaufen (Tier läuft über AAB, nicht drum herum) • Nein, nicht erfüllt (Tiere zwar Kontakt hatte aber nicht im eigentlichen Sinn → Tier kam frontal an AAB)

	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht in Kontakt (Falls Tiere nie an einem AAB vorbeikamen) • Nicht sichtbar (Falls es aus videotechnischen Gründen nicht ersichtlich ist)
Schottergraben	<p>Hier soll angegeben werden, ob der Schottergraben als Querungsmöglichkeit erkannt und genutzt wurde. Dies kann mittels folgender Optionen gemacht werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ja, gefunden und genutzt (das Tier nutzt den SG als Querungsmöglichkeit, auch nur unter einer Schiene) • Nein, vorbei links (Tier geht an Schottergraben vorbei, und zwar nach links) • Nein, vorbei rechts (Tier geht an Schottergraben vorbei, und zwar nach rechts) • Nein, links vom SG (wenn das Tier nie mit SG Kontakt hatte und links vom SG ans Gleis kommt) • Nein rechts vom SG (wenn das Tier nie mit SG Kontakt hatte und rechts vom SG ans Gleis kommt) • Bereits oben/unten (wenn Tier wahrscheinlich Gleis ausserhalb unseres Sichtbereichs bereits gequert hat und sich schon in der oberen resp. unteren Wiese befindet) • Nein vorbei links und rechts (wenn Tiere sowohl links und rechts am SG vorbeigehen, rumirren) • Nein, kehrt vor SG um (Tier kehrt vor SG um und kommt so nicht in Kontakt mit SG) • Nein Kabelkanal (KK) • Nicht sichtbar (wenn es aus videotechnischen Gründen nicht beurteilt werden kann)
Füllung	<p>Wenn der Gleisbauzug Schotter aufgefüllt hat und der SG noch „aufgefüllt“ und noch nicht wieder freigeräumt wurde. Trotz mehr Schotter bestehen kleine Lücken direkt unter den Schienen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufgefüllt • Frei
Querung	<ul style="list-style-type: none"> • ja • nein
Querungsart	<p>Art und Weise der Querung</p> <p>Eine Querung ist dann erfolgreich, wenn mittels Kameras sichtbar ist, dass Tier die obere/untere Wiese erreicht, beide Schienen</p>

	<p>quert, oder auch nur eine, vorausgesetzt, dass dann die obere/untere Wiese erreicht wird (für Tiere, die im GZR ankommen, annehmbar, dass sie bereits anderswo die erste Schiene gequert haben.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ja unter Gleis im SG (Idealfall) • Ja über Gleis im SG • Ja über Gleis links von SG (dies gilt auch für Tiere, die vom GZR herkommen) • Ja über Gleis rechts von SG (dies gilt auch für Tiere, die vom GZR herkommen) • Ja über eine Schiene nicht im Schottergraben und unter einer Schiene im SG • Ja über und unter Schiene im SG • Nein nur über eine Schiene im SG (Tier quert nur über eine Schiene aber im SG drin) • Nein nur unter einer Schiene im SG • Nein nur über eine Schiene nicht im SG • Nein geht links entlang am Gleis • Nein geht rechts entlang am Gleis • Nein Umkehr • Bereits oben/unten • Nicht sichtbar • Wir nur eine Schiene gequert und das Tier erreicht nicht die obere/untere Wiese gilt dies als keine Querung → nein
Querungsrichtung	<p>Effektive Querungsrichtung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hoch (Richtung Laichgewässer bei erfolgreichen Querungen aber auch bei angedeutetem Querungsverhalten Bsp. Hochspringen an Schiene etc.) • Runter (Überwinterungsgebiet oder Sommerhabitat) • Keine (wenn vom Verhalten des Tieres auf keine Querungsrichtung geschlossen werden kann) • Nicht sichtbar (aus videotechnischen Gründen) <p>Bereits oben/unten (Querung muss bereits ausserhalb des Überwachungsbereichs stattgefunden haben)</p>
QR	<p>Intention der Querungsrichtung</p> <ul style="list-style-type: none"> • hoch

	<ul style="list-style-type: none"> • runter • links • rechts • nicht sichtbar
Weiterreise	<p>Auf welcher Seite und auf welchem Material/Untergrund die Tiere weitergehen oder ob sie die obere Wiese resp. untere Wiese erreicht haben.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erreicht Wiese oben • Erreicht Wiese unten • Entlang Schotter links (Schotter heisst neben dem Gleis oder Schiene, kann Balken überqueren) • Entlang Schotter rechts (Schotter heisst neben dem Gleis oder Schiene, kann Balken überqueren) • Entlang Schiene links (Entlang Schiene heisst auf der verbreiteten Metalplatte der Schiene, Kontakt mit Metall) • Entlang Schiene rechts (Entlang Schiene heisst auf der verbreiteten Metalplatte der Schiene, Kontakt mit Metall) • Im Gleiszwischenraum GZW links • Im Gleiszwischenraum GZW rechts • Im Gleiszwischenraum (wenn nicht sichtbar wo genau) • Nicht sichtbar (aus videotechnischen Gründen) • Bereits oben/unten
Tierart	<ul style="list-style-type: none"> • Frosch→Grasfrosch • Kröte→Erdkröte • Molch
Wetter	<ul style="list-style-type: none"> • Trocken (keine Nässe sichtbar) • Regen (Regentropfen) • Nach Regen (Regnet nicht mehr, aber noch nass) • Nass (Nässe sichtbar)
Zugdurchfahrt	<p>Ist während des Querungsversuchs ein Zug durchgefahren?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ja oder nein
Zugrichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Links (Zug fährt nach links resp. Ost nach West) • Rechts Zug fährt nach rechts resp. West nach Ost)
Zugart	<ul style="list-style-type: none"> • Personenzug • Güterzug • Gleisbauzug

Zeit	<ul style="list-style-type: none"> • Zeit bei der Durchfahrt gemäss SmartPlayer
Ort bei ZD	<p>Wo befindet sich das Tier während der Zugdurchfahrt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Gleiszwischenraum GZW • Schotterbett unten (unterer Bildrand) nicht zwischen Schienen • Schotterbett oben (oberer Bildrand) nicht zwischen Schienen • Wiese unten • Wiese oben • Kabelkanal • Unter Schiene (unter dem Metall auf dem Schotter) • Auf Schiene drauf (sitzt auf Schiene) • Auf Schienenfuss • Auf Amphibienableitbleche (sitzt auf Amphibienableitbleche) • Nicht sichtbar
Verhalten vor ZD	<ul style="list-style-type: none"> • Verharren (bewegt sich schon 5 s vor ZD nicht mehr) • In Bewegung (bewegt sich 5 s vor ZD noch) • Weggesprungen • Nicht sichtbar
Verhalten während ZD	<ul style="list-style-type: none"> • Verharren • In Bewegung • Weggesprungen • überfahren • Nicht sichtbar
Verhalten nach ZD	<ul style="list-style-type: none"> • Sofort weiter (innert 5 s nach ZD) • Verharren • Verharren und weiter (nach mehr als 5 s nach ZD) • Weggesprungen • Angehalten umgekehrt • Nicht sichtbar
Zustand nach ZD	<ul style="list-style-type: none"> • Verletzt • Tot • unversehrt
Zeit nach ZD bis Bewegung sec	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitdauer in Sekunden bis sich verharrende Tiere nach der Zugdurchfahrt wieder bewegen
Bemerkung	<ul style="list-style-type: none"> • Auffälligkeiten, Spezialfälle

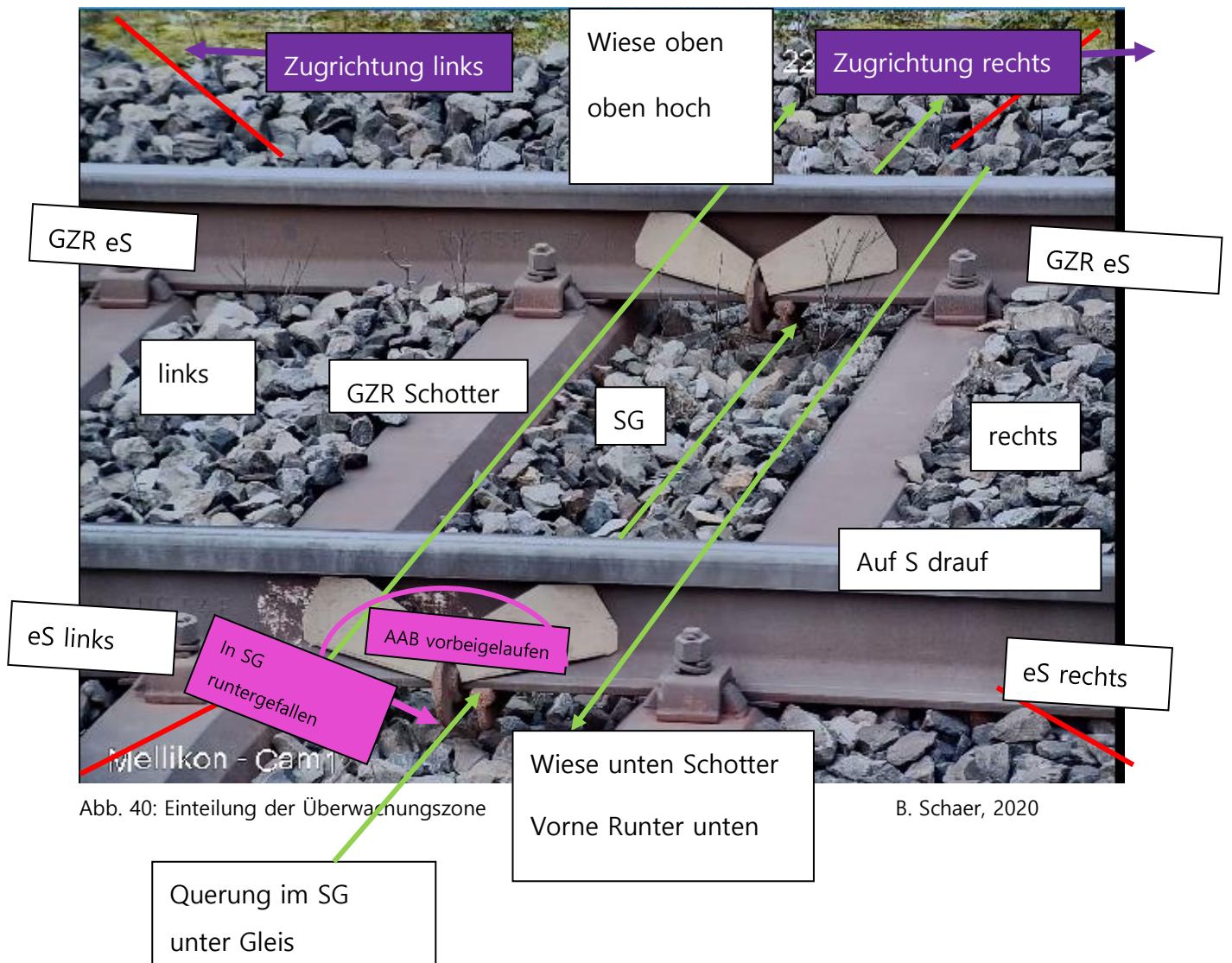


Abb. 40: Einteilung der Überwachungszone

B. Schaer, 2020

Anhang II: Querungsfotos aller Amphibienarten



Abb. 41: Kröte beim Querungsversuch in Mellikon. © WLS:CH, 2020



Abb. 42: Ein Grasfrosch hüpfte auf die Schiene zum Überqueren des Gleises. © WLS:CH, 2020

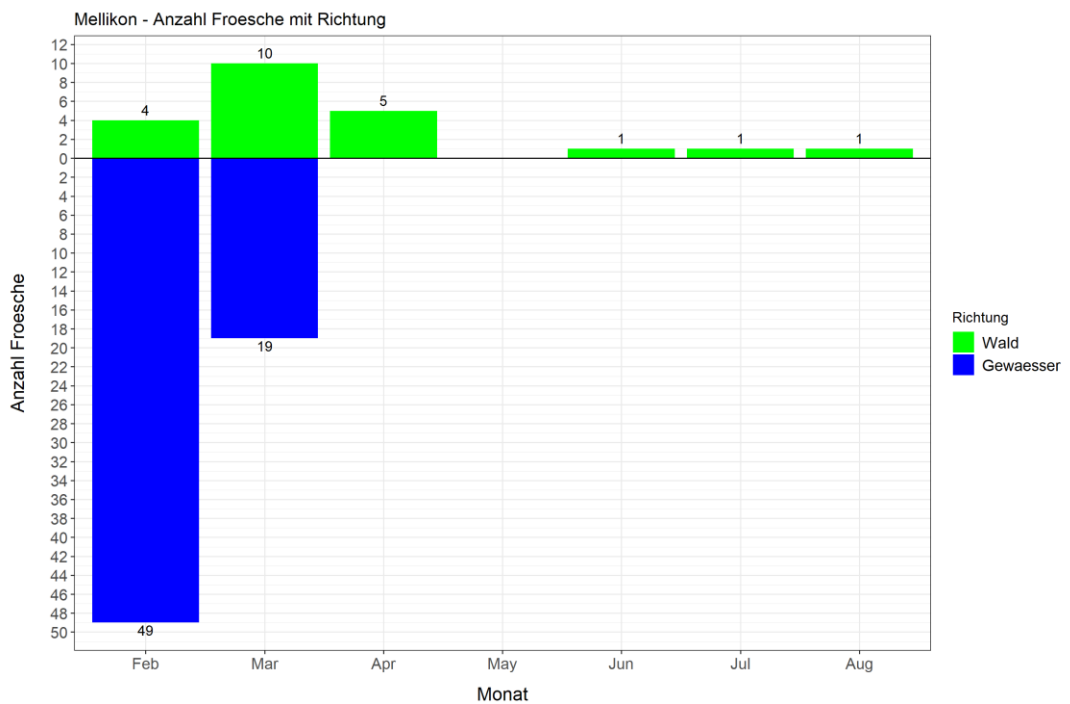
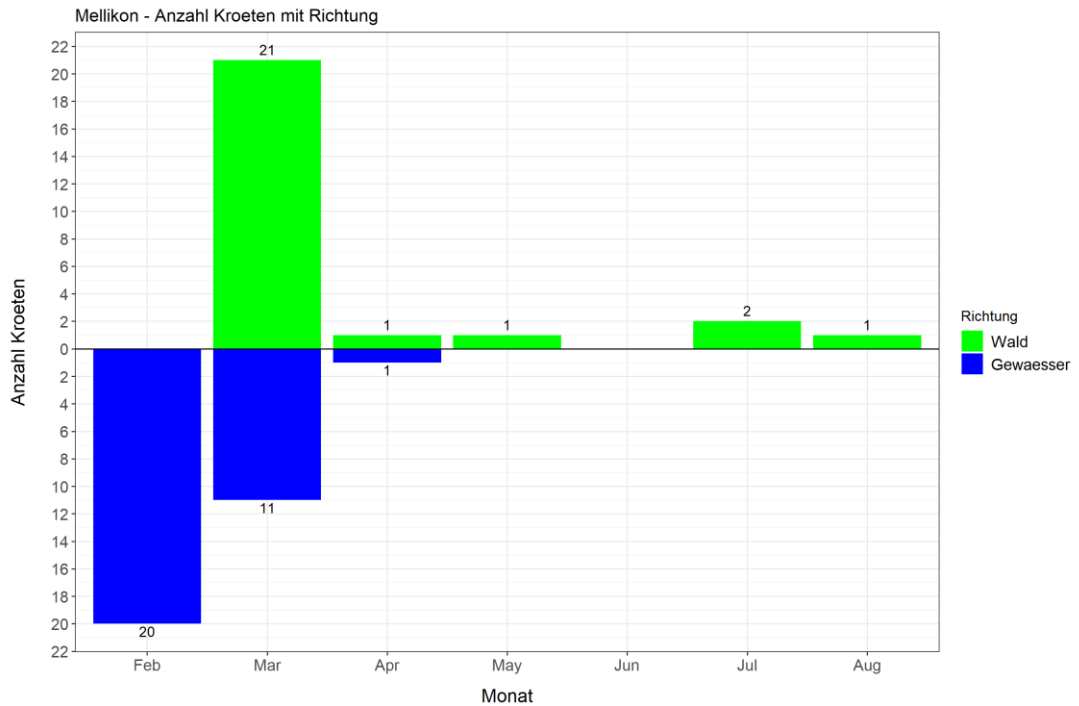


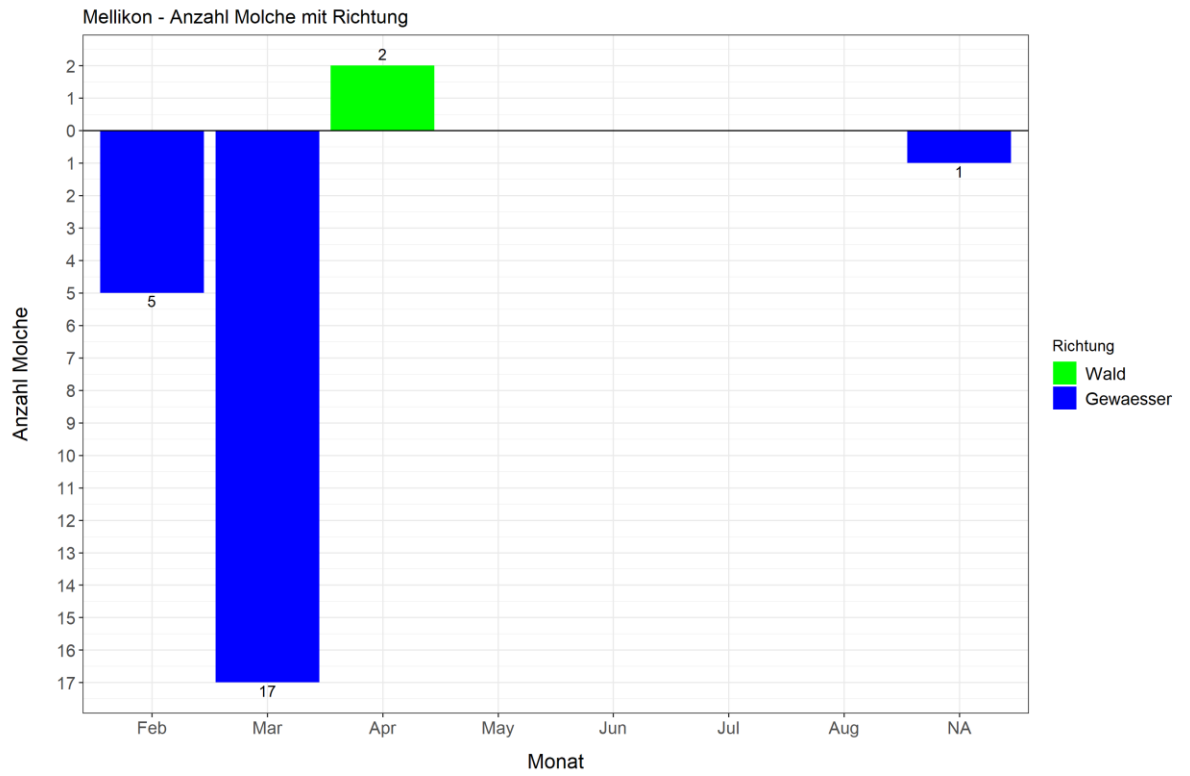
Abb. 43: Ein Molch beim Querungsversuch des Gleises in Mellikon. © WLS.CH 2020.

Anhang III: Querungen im saisonalen Verlauf

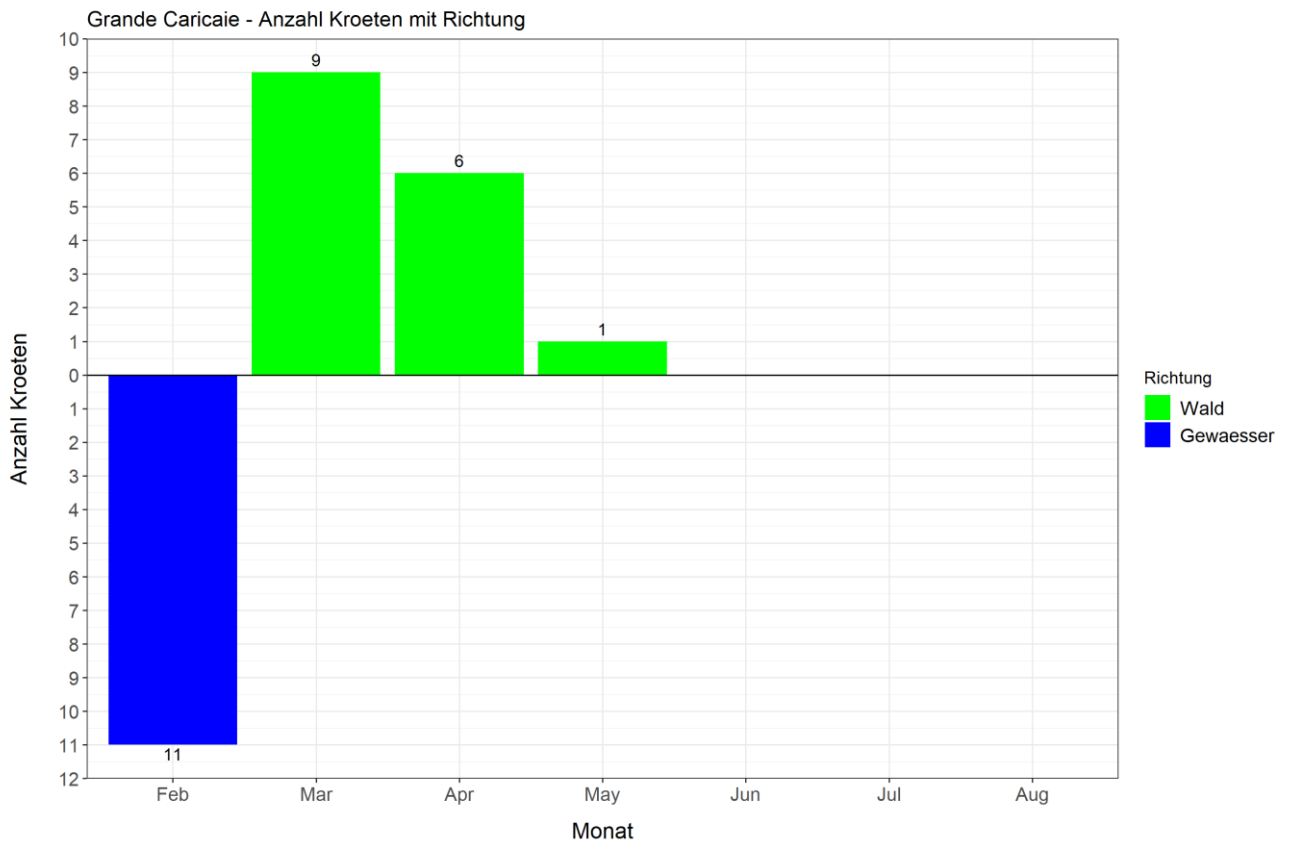
Die Grafiken zeigen pro Jahr und Art den saisonalen Verlauf der Querungen an jedem Standort.

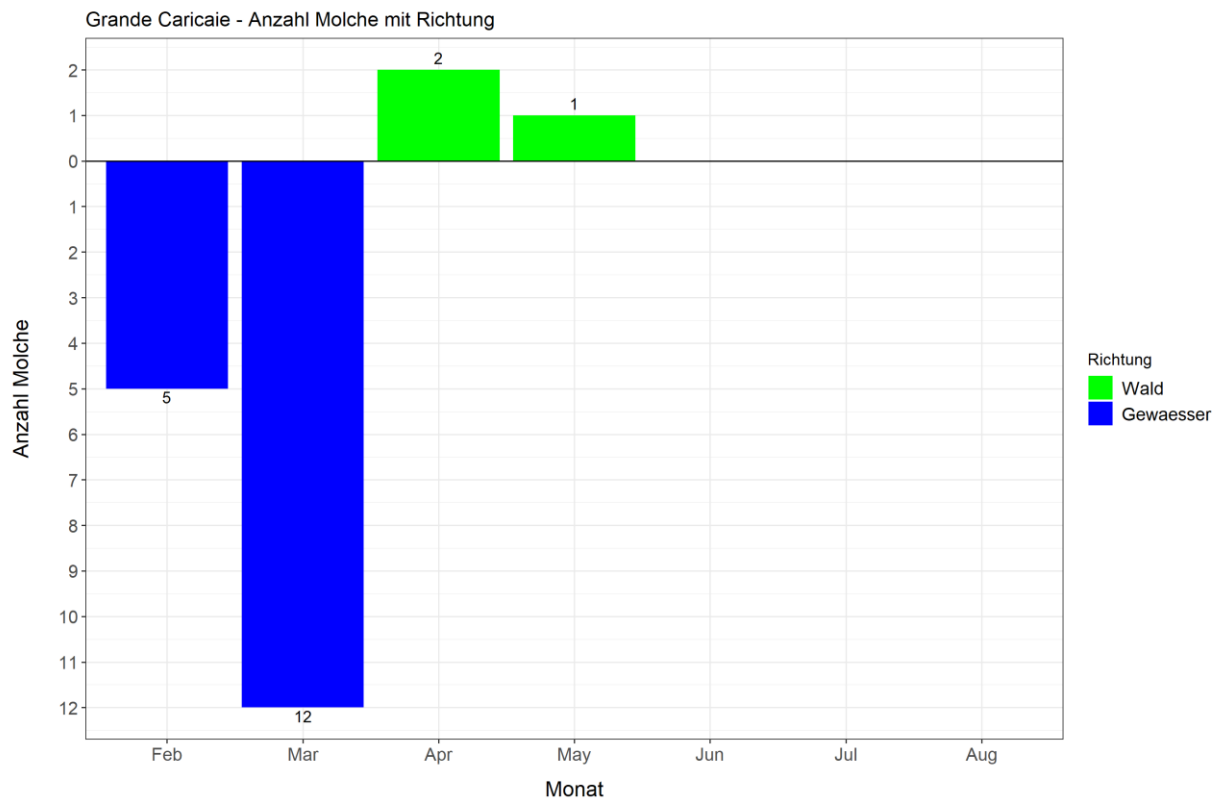
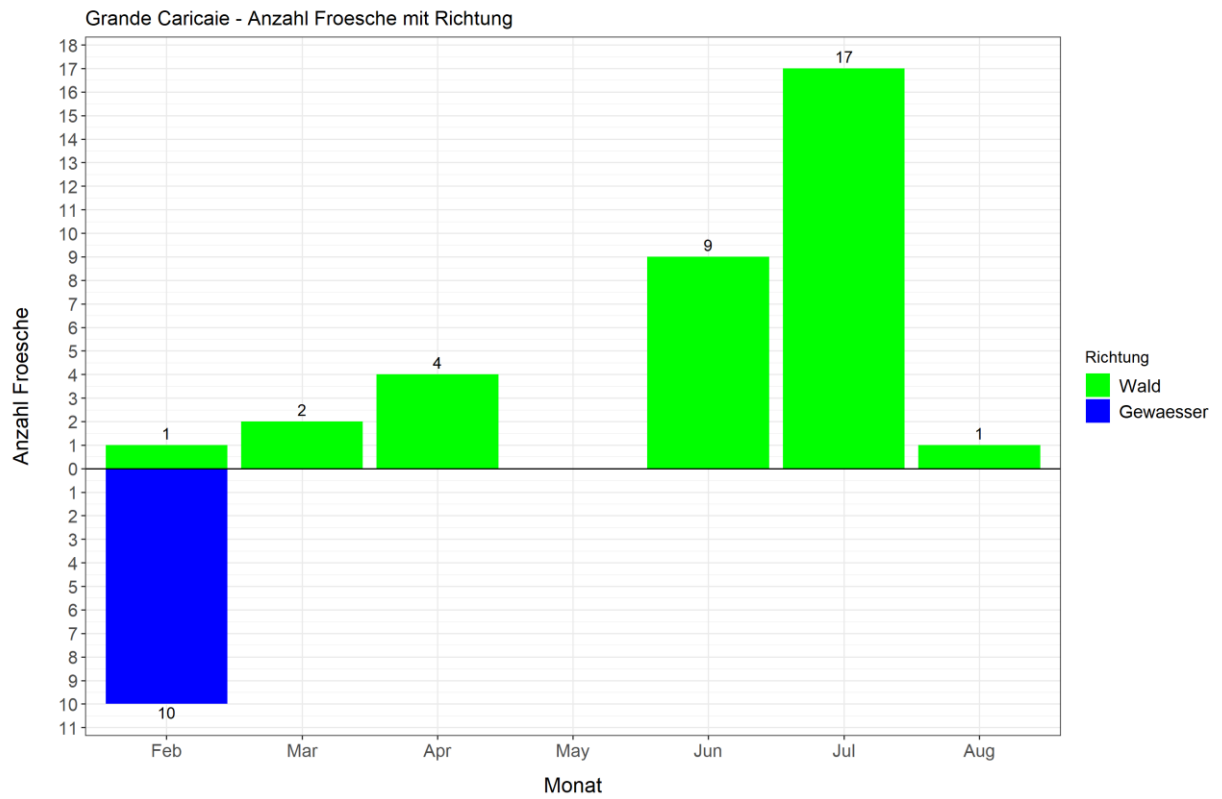
Mellikon 2020



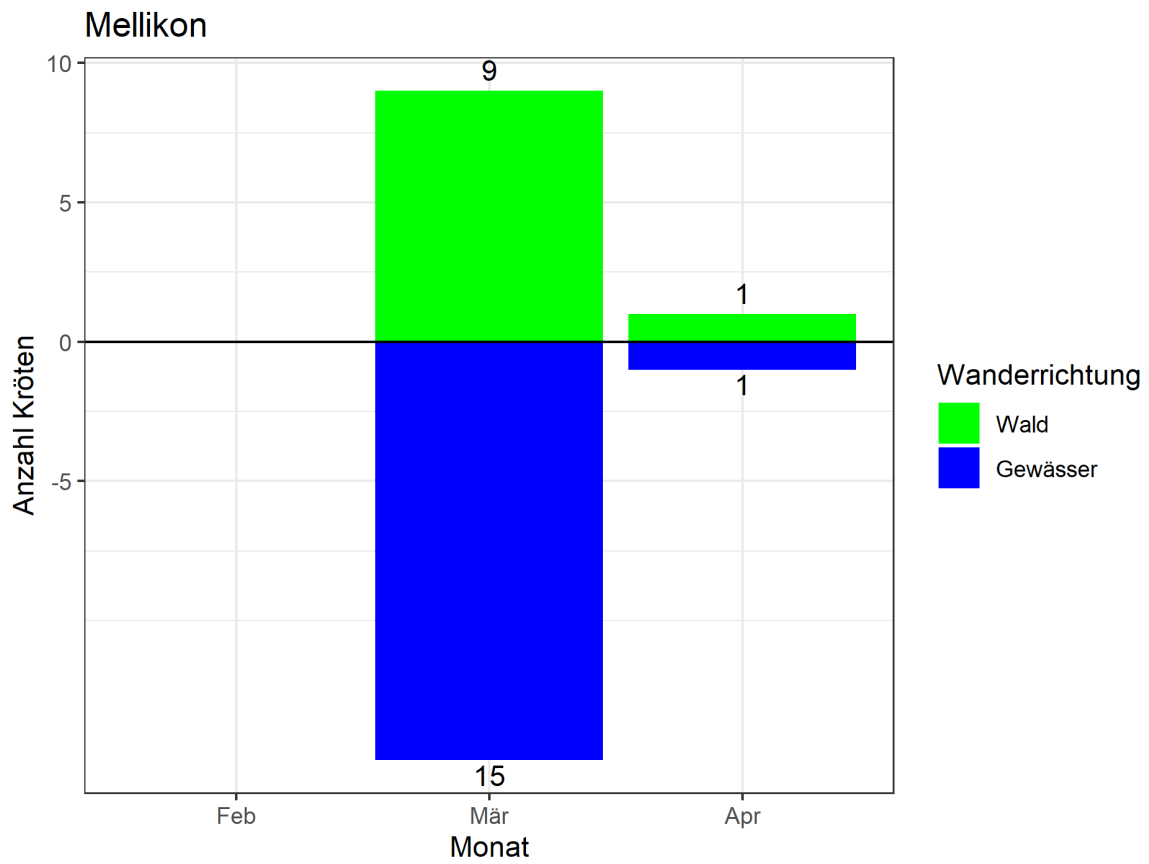
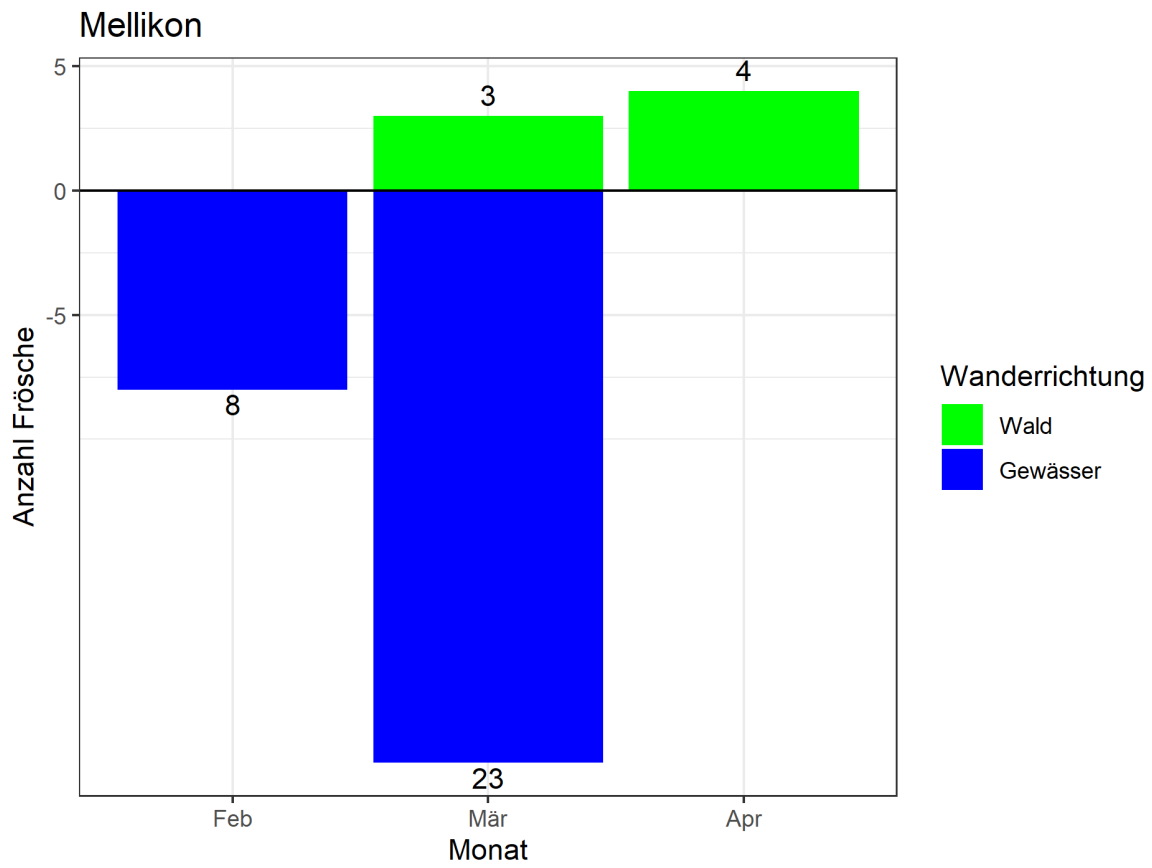


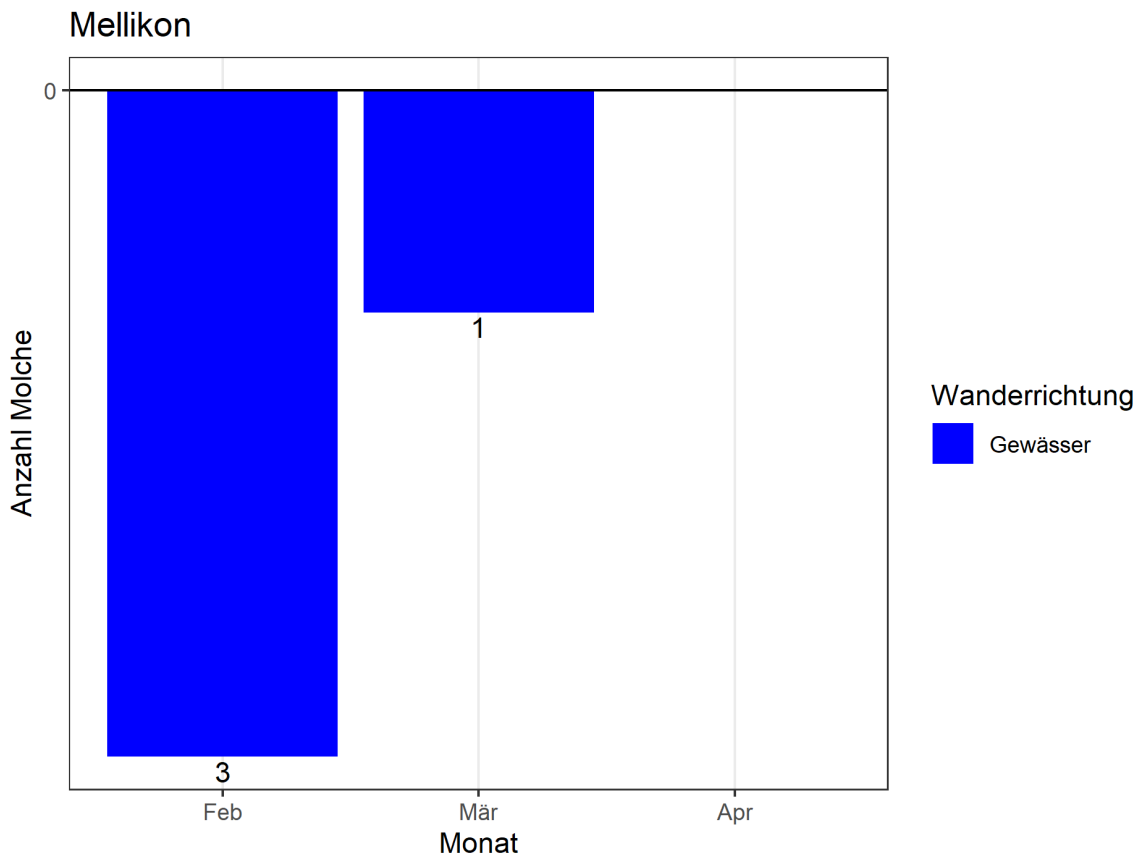
Grande Cariçai 2020



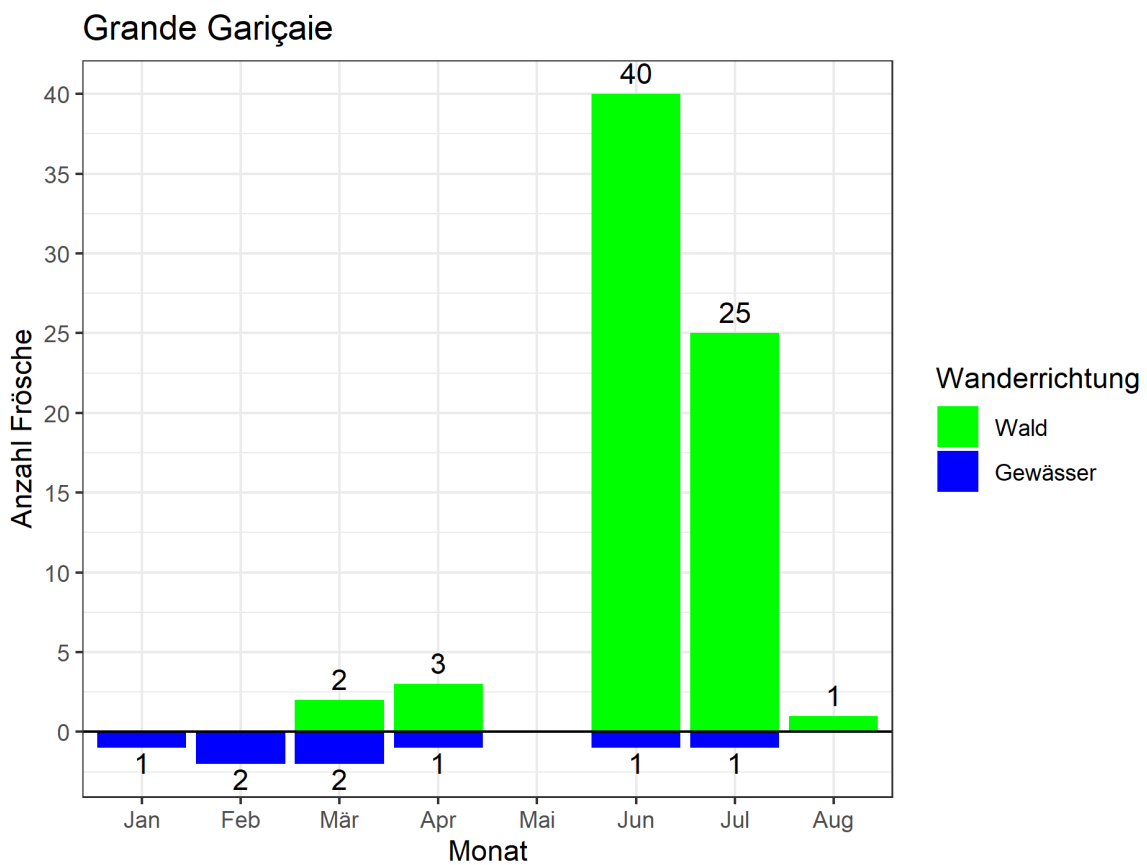


Mellikon 2021

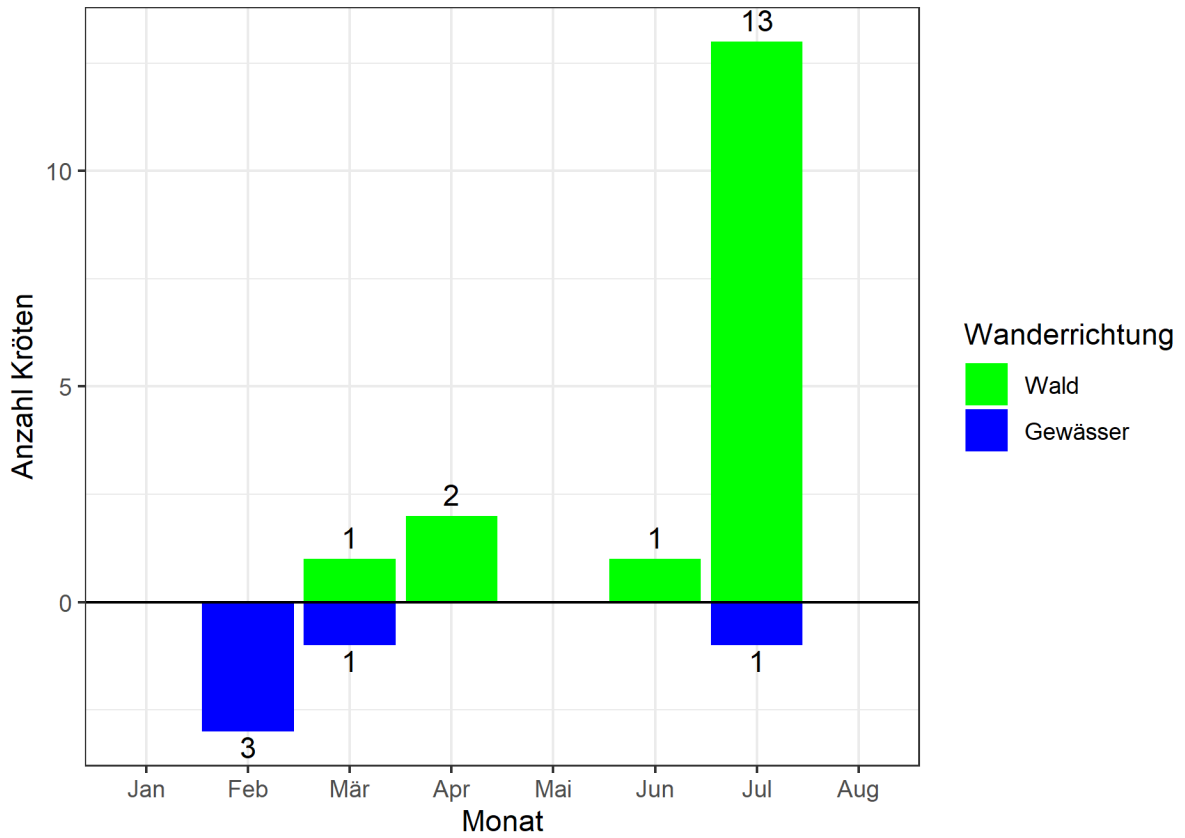




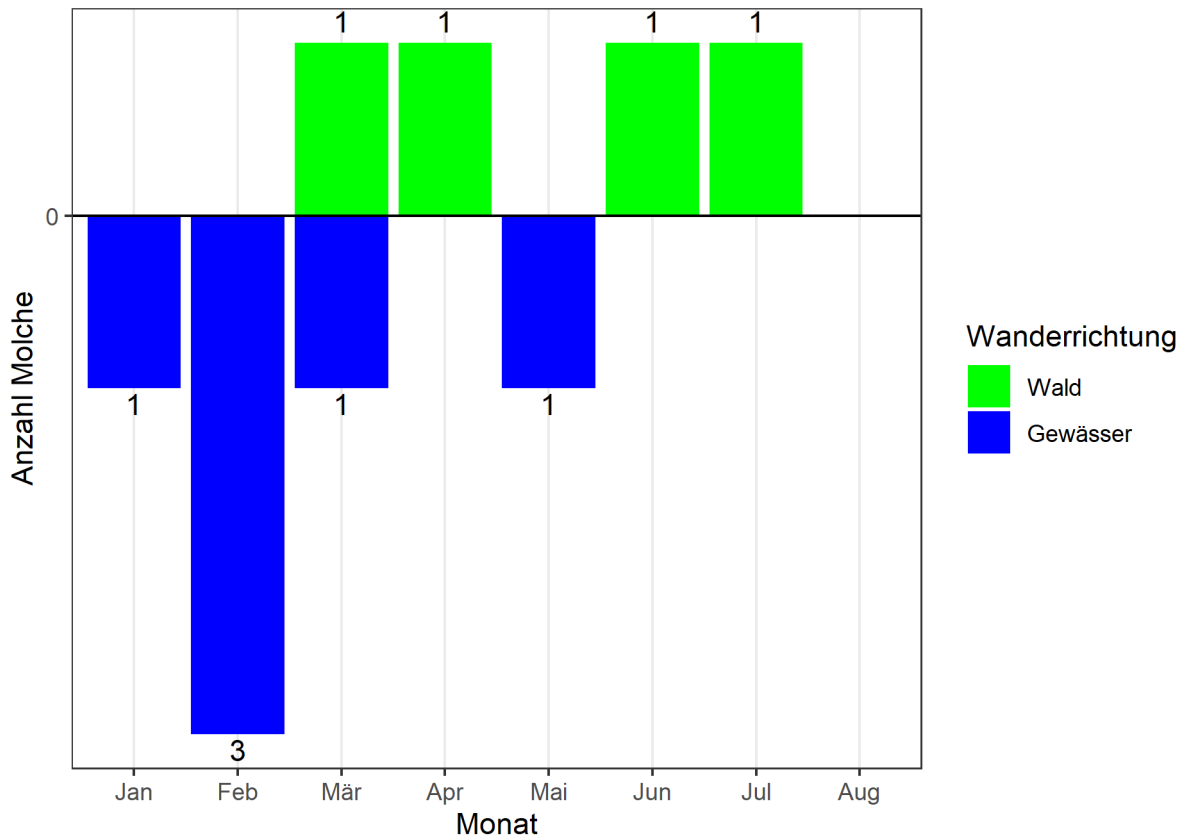
Grande Cariçaie 2021



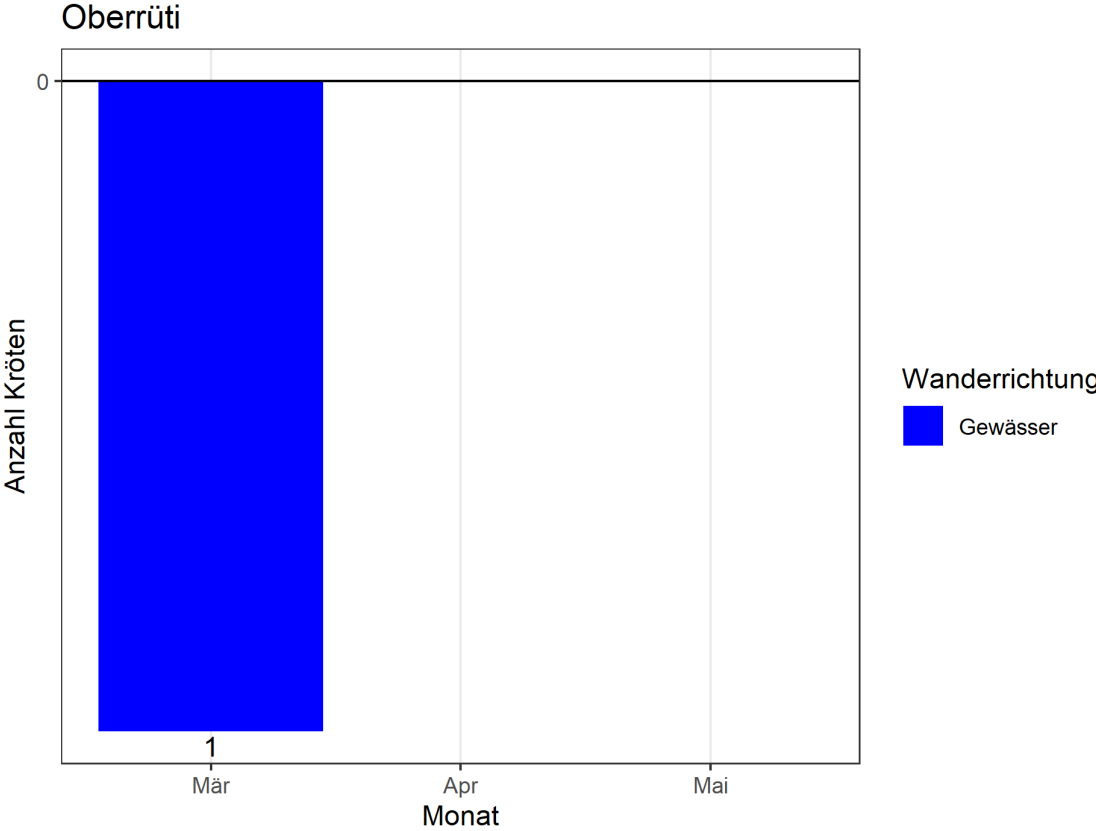
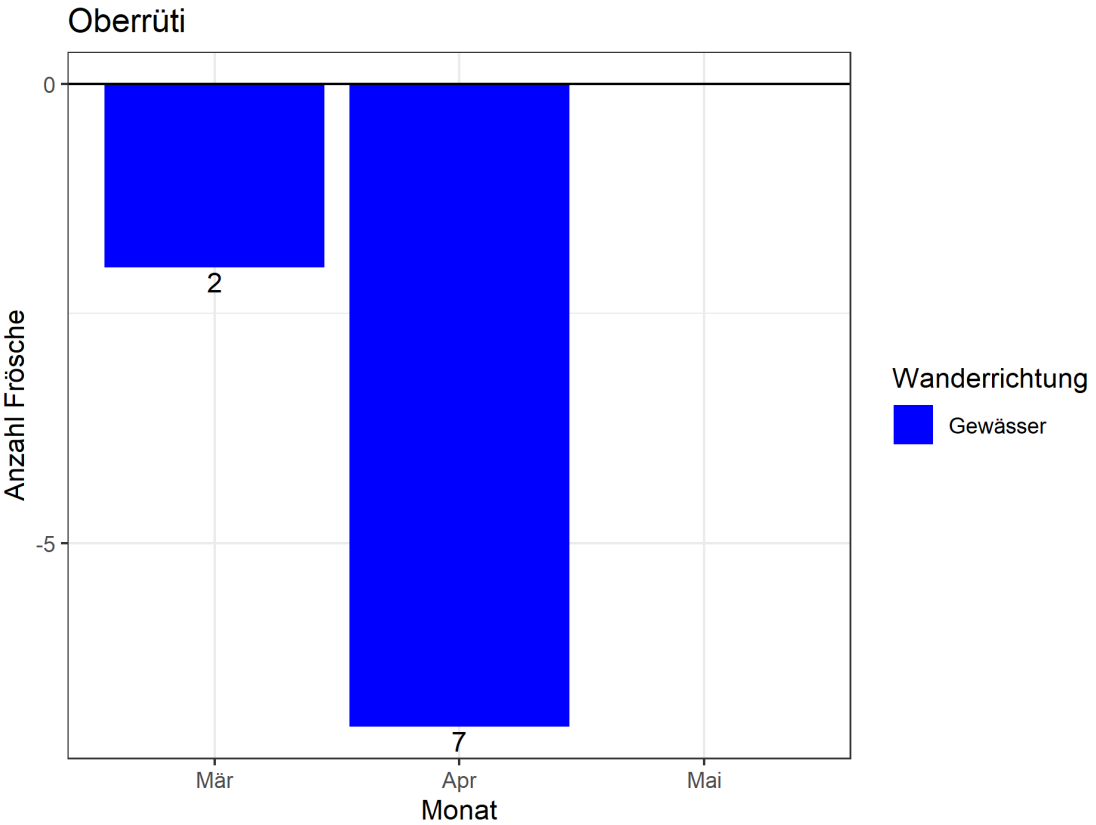
Grande Gariçaie



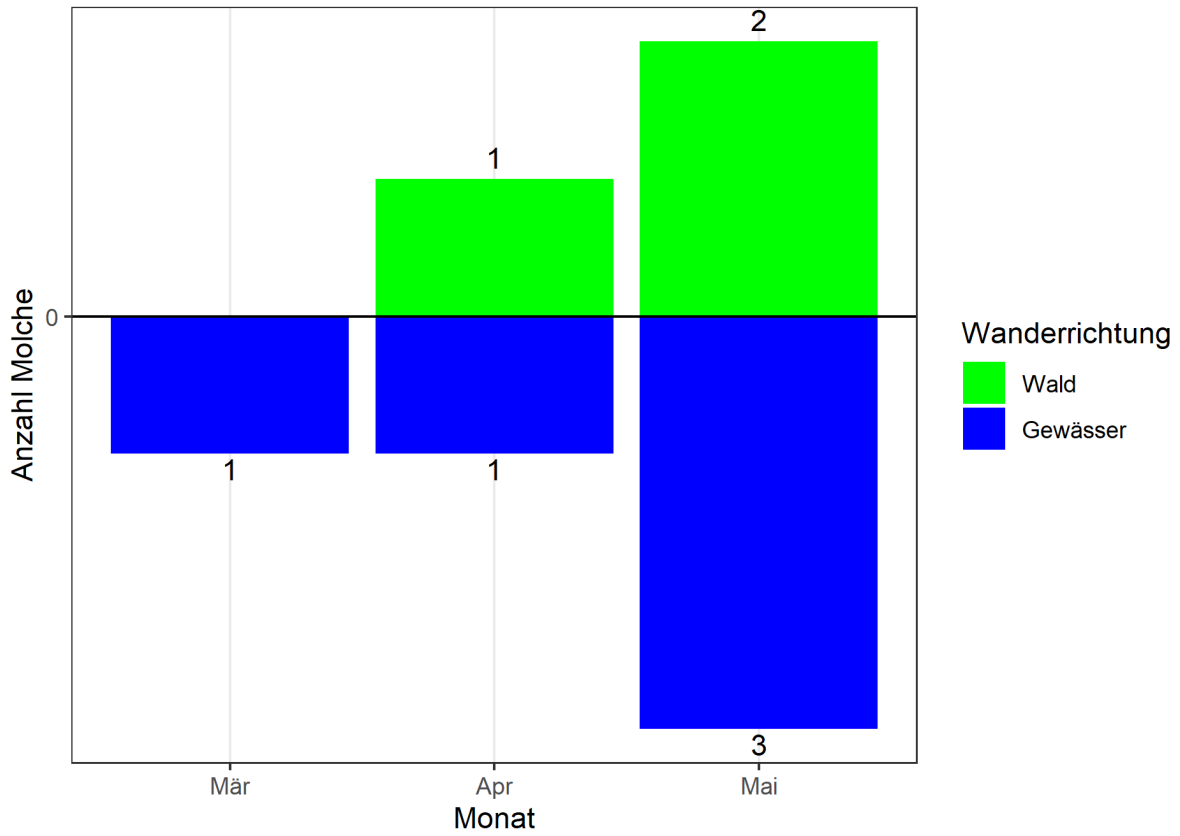
Grande Gariçaie



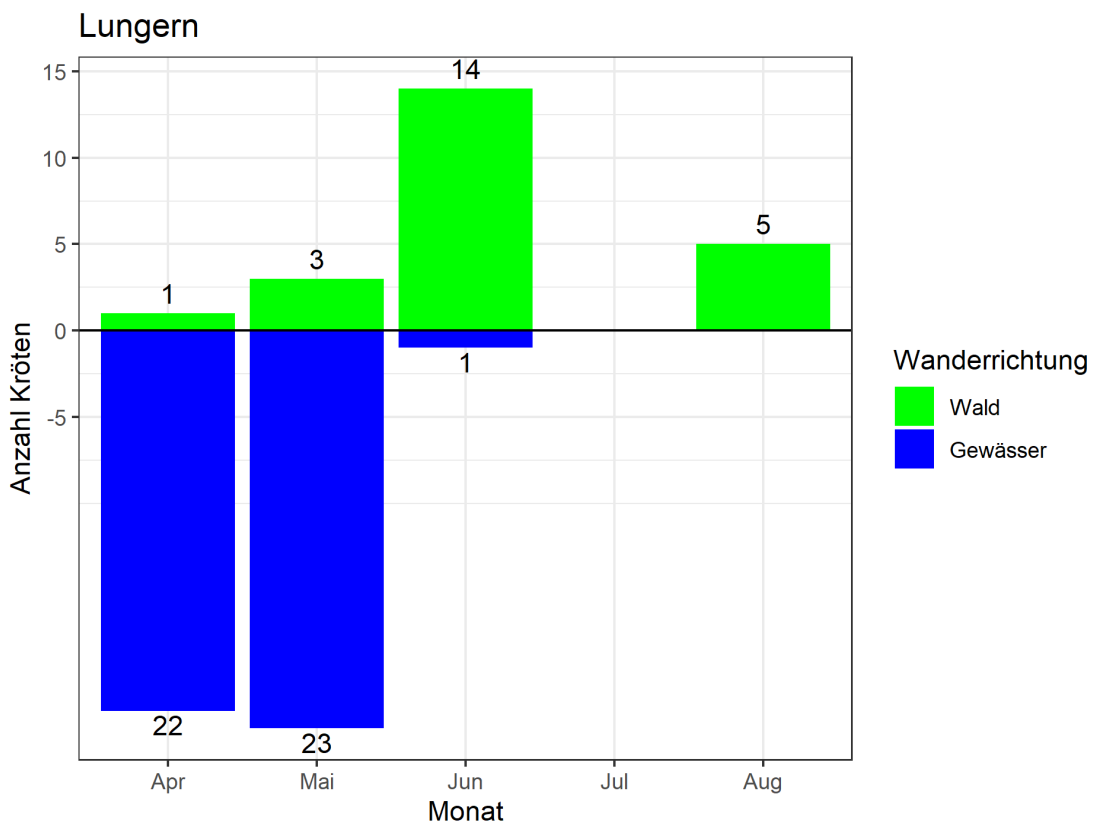
Oberrüti



Oberrüti



Lungern



Anhang IV: Schottergraben aufgefüllt in Mellikon

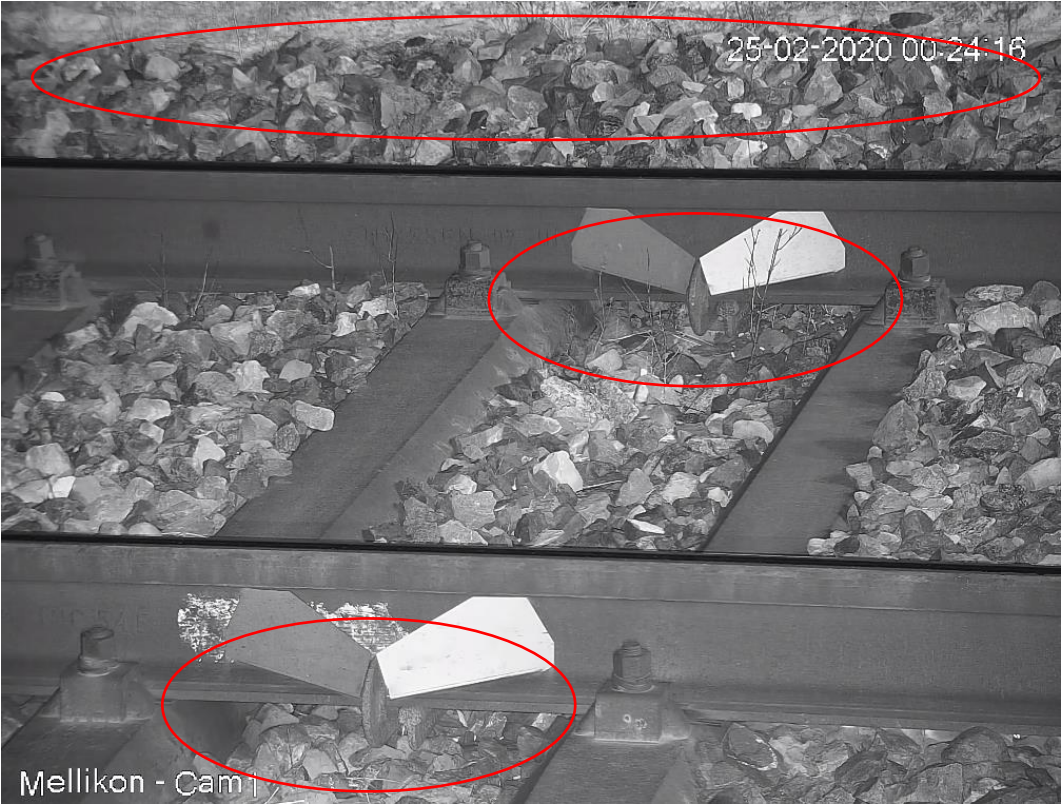


Abb. 44: Schottergraben vor dem Grampen. © WLS.CH 2020



Abb. 45: Schottergraben nach dem Grampen. © WLS.CH 2020

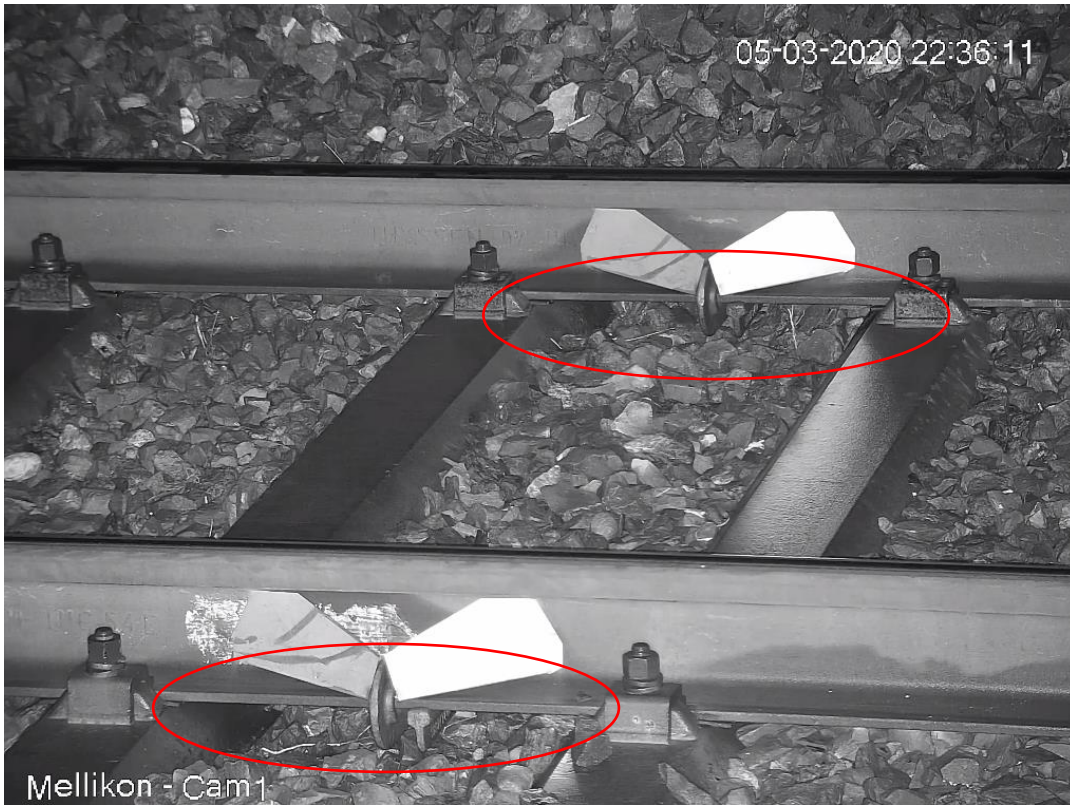


Abb. 46: Schottergraben wieder ausgeräumt. © WLS.CH 2020