

# Erfolgreiche Habitatvernetzung für Laubfrösche

Sonia Angelone, Christoph Flory, Harald Cigler, Joggi Rieder-Schmid, Aline Wyss,  
Felix Kienast & Rolf Holderegger (Birmensdorf)

## Zusammenfassung

Schutzwürdige Arten und deren Lebensräume werden mit Mitteln der Gemeinden, Kantone und des Bundes im Rahmen von Vernetzungsprojekten gefördert. Vernetzungsprojekte haben zum Ziel, den Austausch von Individuen (und somit von Genen) zwischen den Restpopulationen in zerschnittenen Landschaften zu erhöhen. Vernetzung ist für das längerfristige Überleben bedrohter Arten wichtig, um der genetischen Verarmung und deren negativen Folgen entgegen zu wirken.

Hier werden die Hauptresultate eines interdisziplinären Projekts vorgestellt, welches unter Anwendung genetischer Methoden die für den Europäischen Laubfrosch (*Hyla arborea*) umgesetzten Vernetzungsmassnahmen auf ihren Erfolg hin überprüfte. Dabei wurde grossflächig die räumlich-genetische Gliederung der übrig gebliebenen Laubfroschvorkommen ermittelt und der Einfluss mehrerer Landschaftselemente auf den Individuenaustausch erforscht. Zusätzlich wurde in einem Aufzuchtsexperiment ein Teil der Bestände auf Unterschiede in ihrer Lebensfähigkeit getestet.

Die Resultate zeigten eine klare räumlich-genetische Gliederung der Laubfroschbestände und bestätigten Individuenaustausch zwischen Gewässern im Umkreis von 4 km. Die landschafts-genetischen Analysen zeigten, dass für Bestände, die maximal 2 km auseinander lagen, Fliessgewässer wie die Reuss eine Barriere für Genfluss bildeten, während umliegende Laubfroschgewässer einen positiven Einfluss ausübten. Das Aufzuchtsexperiment liess vermuten, dass sich fehlender Genfluss in isolierten Beständen negativ auf die Entwicklungsfähigkeit von Laubfröschen auswirken kann. Ein funktionales Netzwerk von Laichgewässern für den Europäischen Laubfrosch sollte deshalb eine Maschenweite von maximal 2 km aufweisen.

## Successful habitat connectivity measures for tree frogs

To preserve species and habitats of great conservation value, the Swiss Government and other authorities spend large sums of money on the implementation of connectivity measures. The aim is to enhance the dispersal of individuals and gene flow among remnant populations within fragmented landscapes. These processes are essential for the long-term survival of endangered species as they counteract the negative effects of genetic erosion.

Here we present the main results of an interdisciplinary project in which genetic methods were used to evaluate the effectiveness of connectivity measures implemented for the European tree frog (*Hyla arborea*). In the project, the spatial genetic structure of remaining tree frog populations was evaluated at the landscape scale, and the influence of several landscape elements on individual movement was studied. In addition, a subsample of populations was tested for fitness differences in a common garden experiment.

The results showed a clearly defined spatial genetic structure of tree frog populations and confirmed individual exchange among breeding sites at distances of up to 4 km. The landscape genetic analysis affirmed that at distances below 2 km, streaming waters like the river Reuss acted as barrier to gene flow whereas surrounding tree frog breeding sites had a positive effect. The common garden experiment suggested that lack of gene flow among breeding sites can lead to negative effects on individual fitness. A functional habitat network for European tree frogs in fragmented landscapes should therefore exhibit a maximum mesh width of 2 km.

**Schlagwörter** Artenschutz – Ausbreitung – Fitnessmerkmale – Genetische Struktur – Genotypen-Zuordnungstest – Habitatfragmentierung – *Hyla arborea* – Landschaftsgenetik – Mikrosatelliten  
**Key words** Species conservation – dispersal – fitness traits – genetic structure – genotype assignment – habitat fragmentation – *Hyla arborea* – landscape genetics – microsatellites

## 1 LANDSCHAFTSZERSCHNEIDUNG UND -VERNETZUNG

Die Landschaften der Schweiz sind in den letzten Jahrzehnten vielerorts stark zerschnitten worden (JAEGER et al. 2007). Der Grad der Landschaftszerschneidung in der Schweiz ist besonders alarmierend, denn kaum ein anderes europäisches Land verfügt über eine solch hohe Dichte an Siedlungen und Verkehrsflächen (BAUR et al. 2004). Die Landschaftszerschneidung konfrontiert Tierarten mit zahlreichen Problemen, insbesondere mit künstlichen Ausbreitungshindernissen wie Strassen, Bahnlinien, Siedlungen, Industriearealen und Landwirtschaftsflächen. Wenn solche Hindernisse nicht überwunden werden können, führt dies zur räumlichen und funktionalen Isolation der Bestände, was deren langfristige Überlebensfähigkeit beeinträchtigen kann (LINDENMEYER & FISHER 2006). Um diesem schleichenden Prozess entgegen zu wirken, werden räumliche Verbindungen (Vernetzungen) als Ausbreitungshilfen zwischen ökologisch wertvollen Gebieten ausgeschieden oder neu gestaltet. Dies soll den Austausch von Individuen zwischen den Restpopulationen in zerschnittenen Landschaften erhöhen (CROOKS & SANJAYAN 2006).

Normalerweise werden bei Vernetzungsprojekten zuerst die noch vorhandenen Habitatflächen gesichert und in Folge deren Qualität aufgewertet (BOSSHARD 2001). Diese Flächen bilden sodann die Knoten eines Netzwerks, dessen Vernetzung mit zusätzlichen Massnahmen erhöht werden kann, indem zwischen den Knoten liegende Flächen besser genutzt werden. Beispiele für Verbindungselemente sind Wildtierpassagen, Hecken, ökologische Ausgleichsflächen in der Landwirtschaft gemäss Ökoqualitätsverordnung (ÖQV) oder Trittsteinelemente wie Weiher (BAFU 2001). Lokal werden solche Massnahmen oft in Landschaftsentwicklungskonzepten (LEKs) dargestellt (BOLLIGER et al. 2002). So koordiniert etwa der Kanton Zürich im Richtplan die Sicherstellung von Vernetzungskorridoren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Diese Planungen beinhalten aber auch konkrete Vernetzungsmassnahmen für ausgewählte Zielarten. Als Beispiel dazu stellen wir hier die spezifischen Artenschutzprogramme für den Laubfrosch *Hyla arborea* im Reuss- und Thurtal vor.

## 2 LAUBFROSCH UND VERNETZUNGSPROJEKTE

Der Laubfrosch (Abb. 1) mit seinem grossen Schau- und Sympathiewert ist eine Leitart der Auen. Seine Bestände sind in den 1980er Jahren im Schweizer Mittelland gera-

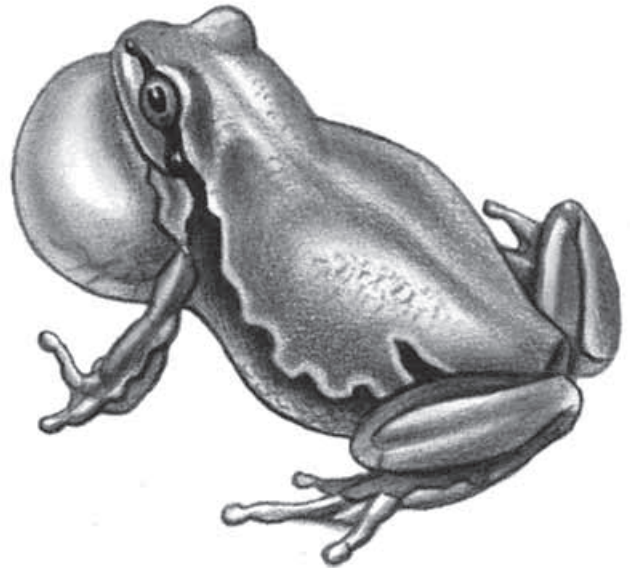


Abb. 1. Rufendes Laubfroschmännchen. Gut sichtbar ist die für jedes Individuum charakteristische Seitenlinie (Zeichnung: Harald Cigler).

Fig. 1. Calling tree frog male. Clearly visible is the sideline characterising each individual (Artwork: Harald Cigler).

dezu zusammengebrochen, was zum Aussterben des Laubfrosches in zehn Kantonen führte (ZUMBACH 2004). Um den Rückgang im unteren Reusstal zu stoppen, wurde ab 1992 das Projekt Laubfrosch in einer Zusammenarbeit zwischen Pro Natura und dem Kanton Aargau umgesetzt (WEIDMANN & FLORY 1991). In den ersten Jahren wurden dabei 90% der noch vorhandenen Laichplätze des Laubfrosches vertraglich gesichert oder unter Schutz gestellt. Seit 1993 sind diese Laichplätze fortlaufend aufgewertet worden, um sie möglichst in einem Pionierzustand zu erhalten. Um die Ausbreitung des Laubfrosches im Lebensraumnetzwerk zu fördern, wurden seit 1993 zusätzliche Laichgewässer als Trittsteine geschaffen (Abb. 2).

In ähnlicher Weise wurden auch im oberen Reusstal im angrenzenden Kanton Zürich die Laubfroschvorkommen erfasst, deren Laichplätze gepflegt, aufgewertet und teilweise neu geschaffen (CIGLER et al. 2002). Zur Überwachung werden seit 1994 jährlich in beiden Kantonen die Laubfroschbestände entlang der Reuss ermittelt, indem die Anzahl rufender Männchen in allen bekannten Standorten gezählt wird (TESTER & FLORY 2004). Dank dieser Massnahmen zeigt sich im Reusstal die Situation für den Laubfrosch heute wieder erfreulicher: Der Rückgang wurde gestoppt, und die Anzahl der Bestände ist seit Beginn der Massnahmen konstant geblieben. Insbesondere hat sich seit



Abb. 2. Frischgeschaffene Trittsteingewässer im Reusstal (Foto: Christoph Flory).

Fig. 2. Newly created stepping stone ponds in the Reuss river valley (Photo: Christoph Flory).

1994 bis zum Jahr 2006 die Anzahl der erfassten Männchen im gesamten Reusstal mit rund 1100 rufenden Männchen mehr als verdoppelt (ANGELONE & HOLDEREGGER 2009).

Die grössten zusammenhängenden Laubfroschgebiete in der Schweiz befinden sich heute in den Kantonen Schaffhausen, Zürich und Thurgau, insbesondere entlang der Thur, wo bereits in den 1980er Jahren viele Laichplätze unter Schutz gestellt wurden (KADEN et al. 1995). Diese Gebiete wurden seither gepflegt, und die Massnahmen führten zu einer Stabilisierung der Laubfroschbestände. Seit 1999 sind einzelne Gebiete wie das Seebachtal und die Frauenfelder Allmend aufgewertet worden, und der Laubfrosch hat dabei die neu angelegten Trittsteingewässer spontan besiedelt (RIEDER-SCHMID 2002). Im Gegensatz zum Reusstal existiert entlang der Thur aber kein Monitoring-Programm zur Überwachung der Grösse der Rufchöre. Zudem wurden konkrete Vernetzungsmassnahmen später ergriffen. Im Vergleich mit dem Thurtal lässt sich daher die Wirksamkeit von Vernetzungsmassnahmen im Reusstal testen.

### 3 ERFOLGSKONTROLLEN UND GENETIK

Für den praktischen Naturschutz ist es von grosser Bedeutung, dass der Erfolg umgesetzter Massnahmen überprüft wird. Erfolgs- oder Wirkungskontrollen für Vernetzungs-

projekte verlaufen meist im Rahmen von Bestandserfassungen, d. h. der Überprüfung der Zu- oder Abnahmen von Beständen (MARTI 2005). Bei solchen Erfolgskontrollen liegt der Nachteil darin, dass das eigentliche Ziel der Vernetzung, nämlich das Fördern des Austausches von Individuen und deren Erbgut zwischen Beständen, nicht evaluiert werden kann (PELLET & SCHMIDT 2005). Die Erfassung dieser so genannten funktionalen Vernetzung ist allerdings schwierig durchzuführen, weil umfangreiche Beobachtungen von wandernden Tieren, beispielsweise mittels Fang-Wiederfang-Studien, mit grossem Arbeitsaufwand und finanziellen Umtrieben verbunden sind (BERRY et al. 2004). Im Falle des Laubfrosches haben sich die Bestände im Reusstal stabilisiert oder vergrössert, und neu angelegte Weiher wurden besiedelt. Aber heisst das auch, dass sich der Austausch von Laubfröschen zwischen den einzelnen Beständen verstärkt oder gar landschaftsweit etabliert hat? Mit der bisher verwendeten Monitoring-Methode lässt sich dies nicht mit Gewissheit bejahen.

Um diese Wissenslücke zu schliessen, wurde in den letzten drei Jahren an der Eidg. Forschungsanstalt WSL eine Erfolgskontrolle der funktionalen Vernetzung unter Anwendung genetischer Methoden durchgeführt. In den ersten zwei Jahren wurde die genetische Zusammensetzung fast aller bekannten Bestände des Laubfrosches im Reusstal und eines Grossteils der Bestände im Thurtal untersucht (Abb. 3). Die Rufchörgrössen der Laubfroschbestände betragen 1 bis über 100 Individuen. Pro Bestand wurden möglichst alle Individuen gefangen, wobei die maximale Anzahl bei 30 Individuen lag. Insgesamt wurden rund 1200 adulte Laubfrösche gefangen, um ihnen mit einem harmlosen Mundabstrich vor Ort Speichelproben für genetische Untersuchungen zu entnehmen. Da sich die linienartige Zeichnung entlang ihrer Seiten als individuelles Erkennungsmerkmal eignet (Abb. 1), wurde jeder Laubfrosch vor der Freilassung fotografiert. Aus den Speichelproben wurde das Erbgut isoliert und anschliessend genetische Fingerabdrücke aus 11 Mikrosatelliten erstellt.

Mikrosatelliten sind kurze Abschnitte im Erbgut, die an bestimmten Stellen in identischer Abfolge mehrmals hintereinander wiederholt werden. Die gesamte Länge dieser Wiederholungen kann mit einer speziellen Methode im Labor bestimmt werden (ALLENDORF & LUIKART 2007). Ein genetischer Fingerabdruck versteht sich somit als eine Kombination der Längeninformationen aus 11 verschiedenen Stellen im Erbgut. Obwohl sich diese Fingerabdrücke von Individuum zu Individuum unterscheiden, lassen sich genetische Beziehungen zwischen den Laubfröschen

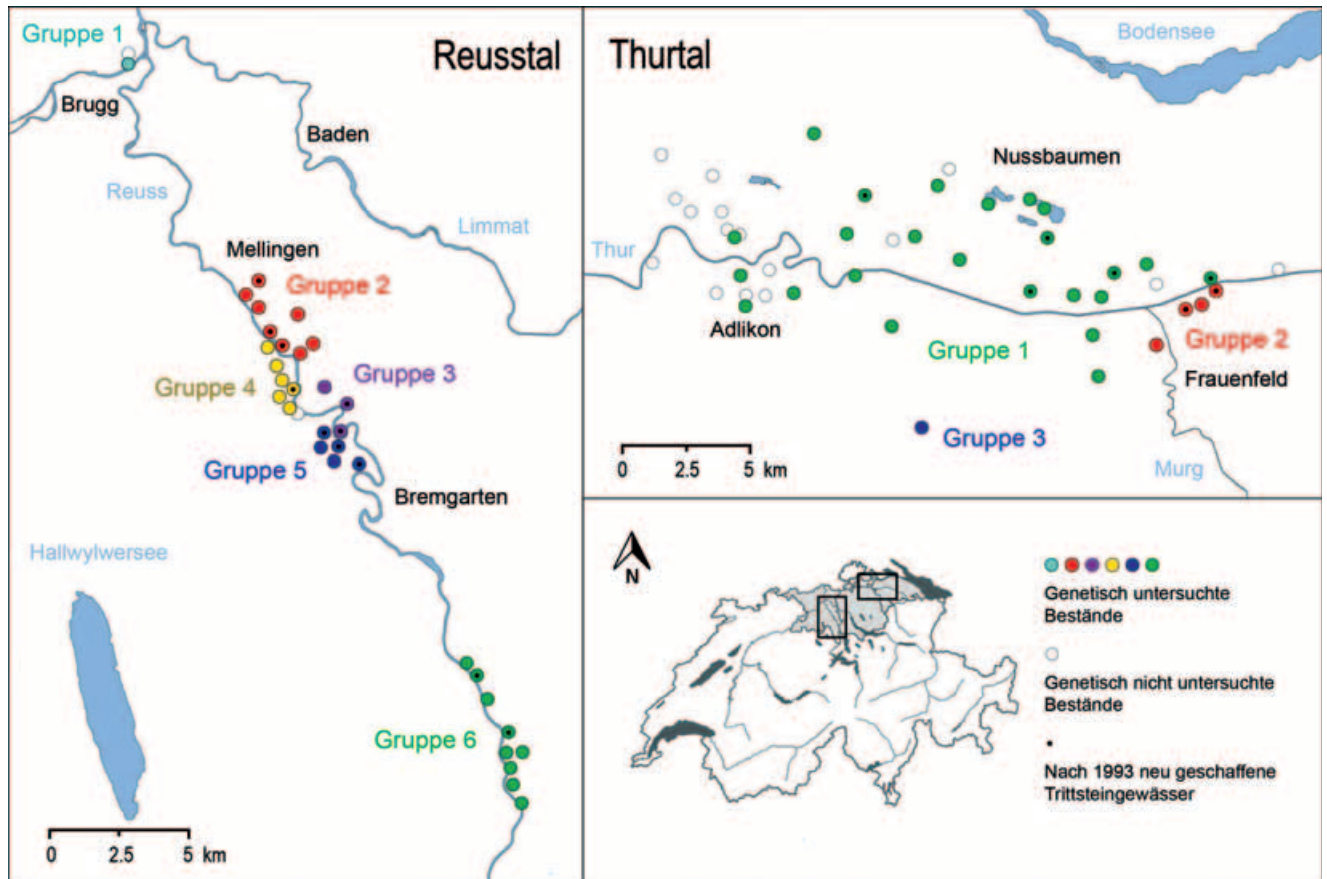


Abb. 3. Einordnung der untersuchten Laubfroschbestände in genetische Gruppen im Reuss- und Thurtal.

Fig. 3. Classification into genetic groups of the studied tree frog breeding sites in the Reuss and Thur river valleys.

berechnen, denn je nach Vererbung ähneln sich gewisse Fingerabdrücke mehr als andere. So wurden in zwei Fällen sogar Laubfrösche gefangen, die jeweils identische genetische Fingerabdrücke aufwiesen. Die Vergleiche der Fotos der Seitenlinien bestätigten, dass es sich dabei tatsächlich um Wiederfänge von zwei Individuen handelte (Abb. 4). Diese zwei Tiere bewegten sich jeweils in weniger als einem Monat über Distanzen von rund 1 km zu einem benachbarten Laichplatz.

Im vorliegenden Kontrollprojekt wurden hauptsächlich folgende drei Fragestellungen untersucht: Wie hoch ist der heutige Individuenaustausch (genetisch gesprochen, der aktuelle Genfluss) zwischen Laubfroschbeständen? Welche Landschaftsstrukturen beeinflussen den Austausch zwischen Beständen des Laubfrosches am stärksten? Weisen genetisch verschiedene Laubfroschbestände auch Unterschiede in ihrer Lebensfähigkeit auf? In diesem Artikel werden die Hauptergebnisse vorgestellt. Weiterführende

Informationen sind in ANGELONE (2009, 2010) und ANGELONE & HOLDEREGGER (2009) beschrieben.

#### 4 AKTUELLER GENFLUSS

Aufgrund der genetischen Fingerabdrücke liessen sich die Laubfroschbestände im Reusstal sechs regionalen Gruppen zuordnen (Abb. 3). Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass nach dem dramatischen Rückgang in den 1980er Jahren die in ihrer räumlichen Verteilung geschrumpften Laubfroschbestände eine Zeit lang voneinander isoliert waren. Später breiteten sich die Laubfrösche dann wieder aus, vorläufig jedoch ohne Durchmischung der Gruppen. Heute findet reger Individuenaustausch zwischen Beständen innerhalb der genetischen Gruppen im Umkreis von 2 km statt. Der Austausch zwischen Beständen unterschiedlicher Gruppen ist aber noch immer gering oder nicht vorhanden und begrenzt sich auf 4 km. Insbesondere fehlt wegen den räumlichen Verbreitungslücken von über 8 km jeglicher



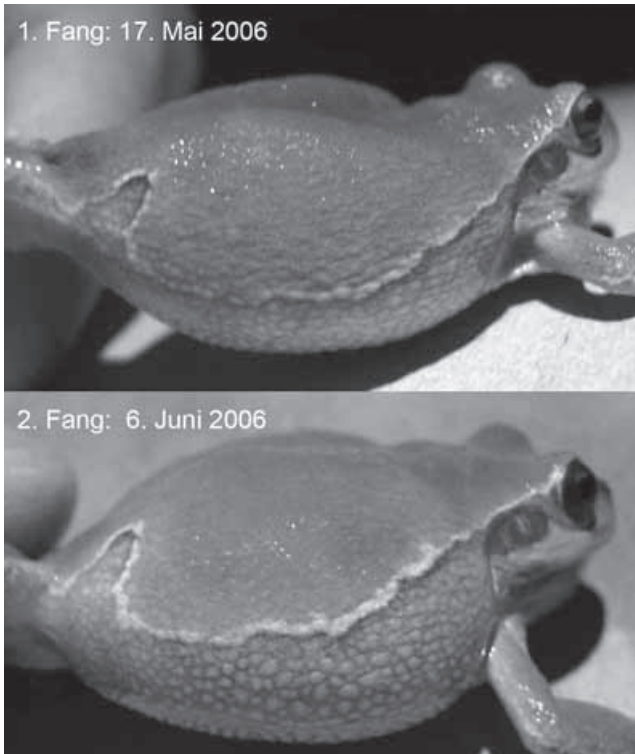


Abb. 4. Einer von zwei wieder gefangenen Laubfröschen im Reusstal, identifiziert durch deckungsgleiche Zeichnung der Seitenlinie und Genotyp (Fotos: Sonia Angelone).

Fig. 4. One of the two recaptured tree frogs in the Reuss river valley, identified by the congruent pattern of the sideline and genotype (Photos: Sonia Angelone).

Austausch zwischen den Beständen im oberen und unteren Reusstal, sowie dem Bestand bei Brugg und dem restlichen Reusstal. Mit zunehmender Grösse der Laubfroschbestände ist zu hoffen, dass sich die genetischen Gruppen zwischen Mellingen und Bremgarten im unteren Reusstal in Zukunft stärker durchmischen werden.

Die Analyse der genetischen Fingerabdrücke im Thurtal zeigt hingegen ein ganz anderes Bild: Hier gehört die Mehrzahl der untersuchten Laubfroschvorkommen einer genetisch einheitlichen Gruppe an, die praktisch das ganze Thurtal umfasst. Nur zwei kleine Gruppen heben sich geographisch vom Hauptteil ab: die Frauenfelder Allmend und der etwas isolierte Bestand bei Rickenbach (Abb. 3). Diese hohe Ähnlichkeit der genetischen Fingerabdrücke erschwerte aber eine verlässliche Ermittlung des Individuenaustausches, denn dieser erstreckt sich anscheinend über grosse Distanzen von bis zu 16 km. Wir führen dieses Ausbreitungsbild darauf zurück, dass im Thurtal viele Laubfroschbestände dank der frühen Schutzmassnahmen erhalten geblieben sind und so ihre genetische Vielfalt bewahren

konnten. Das Bild, das wir heute sehen, stellt aber nicht unbedingt die heutigen Ausbreitungsverhältnisse dar, sondern veranschaulicht vielmehr den beträchtlichen historischen Individuenaustausch zwischen den Beständen im Thurtal. Deshalb beschränkten sich alle weiteren Untersuchungen auf das Reusstal.

## 5 RELEVANTE LANDSCHAFTSSTRUKTUREN

Der Individuenaustausch zwischen den einzelnen Laubfroschvorkommen wird einerseits durch die Eigenschaften der Landschaft und andererseits durch die Distanz zwischen den einzelnen Standorten beeinflusst. Der Umfang dieses Austausches wurde anhand einer landschaftsgenetischen Analyse im Reusstal abgeschätzt. Dabei wurden 33 Landschaftselemente innerhalb von 1 km breiten Korridoren, die paarweise zwischen allen Beständen gelegt wurden, räumlich explizit erfasst (Details in ANGELONE 2009). Die aus der Analyse der genetischen Fingerabdrücke ermittelten Wanderdistanzen der Laubfrösche wurden in vier Klassen eingeteilt: häufiger (0–2 km), weniger häufiger (2–4 km), seltener (4–8 km) und unwahrscheinlicher Austausch (über 8 km). In jeder Distanzklasse wurde die genetische Differenzierung zwischen den Beständen (ein Mass für Genfluss) mit den dazwischen liegenden Landschaftselementen und der geographischen Distanz einem multivariaten Analyseverfahren unterzogen. Diese Verfahren zeigten, welche Landschaftselemente hemmend oder fördernd auf den Gen- und somit Individuenaustausch des Laubfrosches einwirken.

Die Analysen zeigten, dass für Bestände, die maximal 2 km auseinander lagen, Fliessgewässer einen hemmenden und Trittsteinelemente (andere Laubfroschgewässer) und Trockenwiesen hingegen einen fördernden Einfluss auf den Laubfroschaustausch ausübten. Im Bereich von 2–4 km hemmten die geographische Distanz, die Flächenanteile für den Laubfrosch ungeeigneter Feuchtgebiete sowie die Strassendichte den Austausch beim Laubfrosch. Im Bereich von 4–8 km erschienen die Distanz sowie die Flächenanteile von Feuchtgebieten und die Wälderdichte als hemmende Elemente, während sich Hecken und Naturschutzareale als fördernde Elemente erwiesen. Im Bereich über 8 km waren die Ergebnisse nicht aussagekräftig.

## 6 UNTERSCHIEDLICHE LEBENSFÄHIGKEIT

Kleine und/oder räumlich isolierte Bestände sind anfälliger für den Verlust genetischer Vielfalt (beispielsweise durch

Inzucht), was zu einer geringeren Lebensfähigkeit der Individuen führen kann (ALLENDORF & LUIKART 2007). Bei Amphibien wird die Lebensfähigkeit mit Hilfe von Überlebens- und Wachstumsraten von Kaulquappen im Zeitraum vom Schlüpfen aus dem Laich bis zur Umwandlung zum terrestrischen Frosch (Metamorphose) sichtbar gemacht. Unter einheitlichen Aufzuchtbedingungen werden dabei angeborene (genetische) Unterschiede von Individuen aus unterschiedlichen Beständen messbar. Da die Bestände der räumlich isolierten Gruppe im oberen Reusstal eine deutlich reduzierte genetische Vielfalt aufweisen (Gruppe 6; Abb. 3), könnten diese Laubfrösche also über eine geringere Lebensfähigkeit verfügen als solche aus dem genetisch vielfältigeren Kerngebiet im unteren Reusstal (Gruppen 2–5; Abb. 3). Wir haben deshalb die Lebensfähigkeit von Kaulquappen aus sechs Laichplätzen im oberen und unteren Reusstal getestet. An jedem Laichplatz wurden 5–6 Laichballen von verschiedenen Müttern gesammelt und jeweils acht der daraus geschlüpfen Kaulquappen in 70 Einzelbecken im Freiland eingesetzt. Während der Aufzucht wurden die Kaulquappen regelmässig gewogen, um durchschnittliche Körpergewichte, Wachstums- und Entwicklungsraten sowie Überlebenswahrscheinlichkeiten zu berechnen.

Wir fanden statistisch signifikante Unterschiede in den anfänglichen Wachstumsraten zwischen den genetischen Gruppen. Die Kaulquappen aus der isolierten Gruppe 6 wiesen durchschnittlich um 17% geringere Wachstumsraten über die ersten 14 Tage und 6% geringere Raten über die ersten 28 Tage auf als Kaulquappen von den weit besser vernetzten und genetisch vielfältigeren Laichplätzen aus dem unteren Reusstal. Kaulquappen aus Gruppe 6 neigten ausserdem zu längeren Entwicklungszeiten bis zur Metamorphose und zu geringeren Körpergewichten vor allem am Ende der Metamorphose. Die Überlebenswahrscheinlichkeit unterschied sich jedoch nicht zwischen den Laichplätzen und betrug durchschnittlich 90%.

## 7 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Da die Laubfroschbestände im Reusstal noch immer eine klare räumlich-genetische Strukturierung aufweisen, ist eine landschaftsweite Vernetzung noch nicht erreicht worden. Trotzdem waren die verschiedenen getroffenen Vernetzungsmassnahmen für den Laubfrosch sehr erfolgreich, denn im Reusstal herrscht innerhalb der genetischen Gruppen reger Individuenaustausch, insbesondere im Umkreis von 2 km (Abb. 3). Im Thurtal hingegen waren vorrangig

die frühen Schutzmassnahmen für den Laubfrosch erfolgreich, dank denen ein Grossteil der heutigen Bestände eine vermutlich noch immer verbundene Einheit darstellt. Da die Bestände im Thurtal mit durchschnittlich 2,8 km weiter auseinander liegen als jene im Reusstal, sollte hier allerdings der Austausch von Laubfroschindividuen durch Erhalt der bestehenden Vernetzung sowie zusätzliche Vernetzungsmassnahmen längerfristig sichergestellt werden. Die Naturschutzstrategie, durch strukturelle Vernetzung eine funktionale Vernetzung herbeizuführen, scheint in beiden Flusstälern aufzugehen: Passende, neu geschaffene Trittsteingewässer werden von den Laubfröschen gut angenommen, rasch besiedelt und durch Individuenaustausch ins Lebensraumnetzwerk eingebunden.

Die detaillierte Landschaftsanalyse im Reusstal zeigte zusätzlich, dass Distanzen unterhalb 2 km zwischen Laichgewässern von Laubfröschen regelmässig überwunden werden, solange sie nicht auf grosse, natürliche Barrieren wie die Reuss treffen. Elemente des Siedlungsraumes scheinen dabei eher eine untergeordnete Rolle zu spielen. Dies galt in unserer Studie auch für stark befahrene Strassen. Das entscheidende fördernde Element für die Vernetzung beim Laubfrosch ist das ausreichende Angebot von qualitativ hochwertigen Laichgewässern im Umkreis von 2–4 km, denn bei längeren Wanderdistanzen reagieren Laubfrösche empfindlicher auf Strassen und Wälder sowie weitere Landschaftselemente, auf die hier nicht weiter eingegangen wird. Da Hecken und Naturschutzgebiete einen positiven Einfluss auf den Genfluss zwischen Laubfroschgewässern im Abstand von 4–8 km ausübten, bilden Struktur gebende Landschaftselemente Ausbreitungshilfen für Laubfrösche über längere Distanzen. Räumliche Distanzen von über 8 km werden von den Laubfröschen nicht mehr überwunden.

Es ist bemerkenswert, dass mit einem einfachen Aufzuchtsexperiment relevante Merkmalsunterschiede wie kleinere Wachstumsraten zwischen genetischen Gruppen von Laubfroschbeständen gefunden wurden. Bei Fröschen hat eine kleinere Körpergrösse bei der Metamorphose negative Einflüsse auf die Lebensfähigkeit der Jung- und Erwachsenenentiere (ALTWEGG & REYER 2003). Unser Resultat aus dem Reusstal zeigt, dass sich geringe genetische Diversität in Laubfroschbeständen tatsächlich negativ auf deren Entwicklungsfähigkeit auswirken kann. Dieses Resultat unterstreicht zusätzlich die Bedeutsamkeit von Vernetzungsmassnahmen. Unsere genetischen Analysen zeigten, dass der isolierte Bestand bei Brugg keinerlei Individuenaustausch mit anderen Beständen aufweist. Die Rufchöre in diesem Bestand sind bei gleichbleibender

Habitatfläche über die letzten Jahre zudem kleiner geworden, was auf eine verminderte Lebensfähigkeit der Laubfrösche in diesem Bestand hindeuten kann. Da die grosse räumliche Distanz zu den nächsten Beständen innerhalb nützlicher Frist kaum wirksame Vernetzungsmassnahmen zulässt, wäre es hier sinnvoll, künstlich Individuen auszutauschen. Als Herkunftsort können Laubfrösche aus der Umgebung von Mellingen und Bremgarten dienen, die aber zuvor auf Chytridiomykose-Befall untersucht werden müssen. Chytridiomykose ist eine ansteckende Pilzerkrankung bei Amphibien, die im Zusammenhang mit dem weltweiten Amphibiensterben diskutiert wird (OHST et al. 2006). Deshalb haben wir die Kaulquappen des Aufzuchtversuches vorsorglich auf einen solchen Befall getestet, bevor sie wieder an ihrem Herkunftsort freigelassen wurden.

Basierend auf unseren Resultaten ist die Qualität der Landschaft zwischen Laichgewässern für die Laubfrösche eher sekundär, solange sich qualitativ hochwertige Trittsteingewässer im Umkreis von 2 km befinden. Ein funktionierendes Lebensraumnetzwerk für Laubfrösche muss also engmaschig sein, wobei räumliche Distanzen von über 4 km zwischen Teichen nicht überschritten werden dürfen. Die von der Praxis erfolgreich durchgeführten Massnahmen von Habitatschutz, -aufwertung und -vernetzung sollten in Zukunft als Gesamtpaket weiterverfolgt werden, denn damit kann in Etappen eine funktionale landschaftsweite Vernetzung für den Laubfrosch erreicht werden.

## 8 DANK

Die Bewilligungen für die Untersuchungen an den Laubfröschen wurden von den zuständigen Behörden der Kantone Aargau, Thurgau und Zürich erteilt. Die Abteilung Ökologie des Zoologischen Institutes der Universität Zürich erlaubte die Nutzung wichtiger Infrastruktur. Das Manuskript profitierte von den Anmerkungen von Daniela Csencsics und Gilberto Pasinelli. Das Projekt wurde von den Kantonen Aargau, Thurgau und Zürich sowie der MAVA-Stiftung für Naturschutz, der U.W.-Linsi-Stiftung, der Wolfermann-Nägeli-Stiftung und der Stiftung Seebachtal finanziert.

## 9 LITERATUR

ALLENDORF, F.W. & G. LUIKART. 2007. Conservation and the Genetics of Populations. Blackwell, Oxford, 664 pp.

ALTWEGG, R. & H.U. REYER. 2003. Patterns of natural selection on size at metamorphosis in water frogs. *Evolution* 57, 872–882.

ANGELONE, S. 2010. Are differences in fitness traits related to the provenance of genetic clusters? An empirical test on the European tree frog. *Biological Conservation* 143, 471–478.

ANGELONE, S. 2009. Dispersal Success of European Tree Frogs thanks to Habitat Connectivity Measures: a Genetic Evaluation. PhD thesis, University of Zurich, Zurich, 106 pp.

ANGELONE, S. & HOLDEREGGER, R. 2009. Population genetics suggests effectiveness of habitat connectivity measures for the European tree frog in Switzerland. *Journal of Applied Ecology* 46, 879–887.

BAFU. 2001. Verordnung vom 4. April 2001 über die Regionale Förderung der Qualität und der Vernetzung von ökologischen Ausgleichsflächen in der Landwirtschaft. Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 16 pp.

BAUR, B., DUELLI, P., EDWARDS, P. J., JENNY, M., KLAUS, G., KÜNZLE, I., MARTÍNEZ, S., PAULI, D., PETER, K., SCHMID, B., SEIDL, I. & SUTER, W. 2004. Biodiversität in der Schweiz: Zustand, Erhaltung, Perspektiven. Wissenschaftliche Grundlagen für eine nationale Strategie. Haupt Verlag, Bern, 237 pp.

BOLLIGER, P., CHAROLLAIS, M. & CONDRAU, V. 2002. Werkzeugkasten LEK – Arbeitshilfe zur Erarbeitung von Landschaftsentwicklungskonzepten. HSR Hochschule und SRVA, Rapperswil und Lausanne, 208 pp.

BOSSHARD, A. 2001. Vernetzungsprojekte und Landschaftsentwicklungskonzepte (LEK) in der Praxis. *Raum und Umwelt* 12, 52–63.

CROOKS, K.R. & SANJAYAN, M. 2006. Connectivity Conservation. Cambridge University Press, Cambridge, 726 pp.

CIGLER, H., LIPPUNER, M. & MEIER, C. 2002. Verbreitung und Bestandesentwicklung von Laubfrosch (*Hyla arborea*) und Kreuzkröte (*Bufo calamita*) im Kanton Zürich. Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich, Zürich.

JAEGER, J., BERTILLER, R., SCHWICK, C. & KIENAST, F. 2007. Weiterhin steigende Zersiedelung der Schweiz: Wie lässt sich eine Trendwende erreichen? *Geomatik Schweiz* 105, 114–117.

KADEN, D., BEERLI, P. & C. MEYENBERGER. 1995. Die Bestandesentwicklung des Laubfrosches (*Hyla arborea*) im Naturvorangebiet Thurtal, Rein und Niderholz. Fachstelle Naturschutz Zürich, Zürich.

LINDENMEYER, D.B. & FISHER, J. 2006. Habitat Fragmentation and Landscape Change: An Ecological and Conservation Synthesis. Island Press, Washington D.C., 352 pp.

OHST, T., PLÖTNER, J., MUTSCHMANN, F. & GRÄSER, Y. 2006. Chytridiomykose – eine Infektionskrankheit als Ursache des globalen Amphibiensterbens? *Zeitschrift für Feldherpetologie*, 13, 149–163.

RIEDER-SCHMID, J. 2002. Amphibieninventar des Kantons Thurgau (Revision 1998–2000). Mitteilungen der Thurgauerischen Naturforschenden Gesellschaft 57, 177–181.

TESTER, U. & FLORY, C. 2004. Ergebnisse des Pro Natura-Programms «Laubfrosch» im Aargauer Reusstal (Schweiz). Supplement Zeitschrift für Feldherpetologie 5, 165–173.

WEIDMANN, P. & FLORY, C. 1991. Gebt dem Laubfrosch eine Chance. Wildtiere 2, 4–7.

ZUMBACH, S. 2004. Die Laubfrösche (*Hyla arborea* und *Hyla intermedia*) in der Schweiz – Verbreitung, Gefährdung und Schutz. Supplement Zeitschrift für Feldherpetologie 5, 183–192.

Dr. Sonia Angelone, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, und Zoologisches Institut, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich  
Aktuelle Adresse: Eawag Zentrum für Ökologie, Evolution und Biogeochemie, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum