

**Zeitschrift:** Schweizer Archiv für Tierheilkunde SAT : die Fachzeitschrift für Tierärztinnen und Tierärzte = Archives Suisses de Médecine Vétérinaire  
ASMV : la revue professionnelle des vétérinaires

**Herausgeber:** Gesellschaft Schweizer Tierärztinnen und Tierärzte

**Band:** 142 (2000)

**Heft:** 8

**Artikel:** Entwicklung von Strategien zur Feldanwendung der oralen Immunisierung von Füchsen gegen Tollwut

**Autor:** Kappeler, A. / Wandeler, A.I.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-593281>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Entwicklung von Strategien zur Feldanwendung der oralen Immunisierung von Füchsen gegen Tollwut

A. Kappeler, A.I. Wandeler<sup>1</sup>

Pathologisches Institut der Universität Bern, <sup>1</sup>Centre of Expertise for Rabies, Canadian Food Inspection Agency, Nepean, Ontario, Canada

## Zusammenfassung

Voraussetzung für eine erfolgreiche Feldanwendung der oralen Immunisierung von Füchsen gegen Tollwut waren einerseits die Entwicklung eines wirksamen und möglichst sicheren Impfstoffes und eines geeigneten Köders, andererseits aber auch einer geeigneten Strategie, um mit den Impfködern einen möglichst hohen Anteil der Vektorpopulation zu erreichen. Ein geographisch-epidemiologisches Konzept für die Umsetzung der Impfstrategie und die Durchsetzung der Anforderungen an die Überwachung bildeten weitere Grundsteine für den Erfolg der Methode. Schliesslich bedurfte es aber auch politischer Entscheide und entsprechender gesetzlicher Grundlagen, um mittels oraler Immunisierung die Fuchstollwut in der Schweiz auszurotten.

**Schlüsselwörter:** Tollwut – orale Immunisierung – Rotfuchs – Köder – Bekämpfungsstrategie

## Development of strategies to orally immunize red foxes against rabies under field conditions

Preconditions for successful field application of the idea to orally immunize foxes against rabies were a) the development of an efficacious and safe vaccine and an attractive bait and b) a suitable strategy to reach a high proportion of the vector population with vaccine-laden baits. A geographical and epidemiological concept on how to implement the vaccination strategy and how to achieve a sufficiently high level of surveillance were further cornerstones contributing to the success of the method. Finally, political decisions and a legal basis for the application of the method of oral immunization were required to eradicate fox rabies in Switzerland.

**Keywords:** Rabies – oral immunization – red fox – bait – control strategy

## Einleitung

Die Geschichte der oralen Immunisierung von Füchsen gegen Tollwut wie auch die Auswirkungen der Impfkationen in der Schweiz sind bereits verschiedentlich beschrieben worden (Wandeler, 2000; Kappeler, 1991; Müller et al., 2000; Breitenmoser et al., 2000). Der vorliegende Artikel will daher vor allem die Vorgänge und Entscheidungen beleuchten, die in ihrer Gesamtheit erst die Feldanwendung der Methode und schliesslich den Erfolg der Tollwut-Impfkampagnen in der Schweiz ermöglichten – und die oftmals auch in anderen Ländern Nachahmung fanden. Viele dieser Aspekte haben anekdotischen Charakter, was aber der allmählichen Entwicklung dieser an der Praxis orientierten Seuchenbekämpfungsmassnahme weit mehr gerecht wird, als eine streng wissenschaftliche Betrachtungsweise dies könnte.

## Versagen klassischer Bekämpfungsstrategien

Im Hinblick auf die zu erwartende Ankunft der Tollwutseuchenwelle in der Schweiz waren in verschiedenen Kantonen bereits Mitte der 60er Jahre Anstrengungen unternommen worden, die Fuchspopulation unter die kritische Dichte zu reduzieren, die für die Aufrechterhaltung der Seuche notwendig ist. Wie in anderen Ländern Europas versuchte man dieses Ziel durch intensive Bejagung und Vergasung von Fuchsbauten während der Jungenaufzucht zu erreichen (Wandeler et al., 1974a). Vereinzelt führten diese Bemühungen zu lokalen Erfolgen; wie etwa dem Ausbleiben einer Überquerung der Aare im Kanton Aargau durch die Tollwutwelle im Winter 1968/69, was auf eine konsequent durchgeführte Begasung beidseits des Flusses zurückgeführt wird (Wandeler et al., 1974b). Dennoch vermochten die getroffenen Massnahmen den Ausbruch der Tollwut in der Regel nicht zu verhindern, führten aber – zusammen mit der Tollwut – zu einem rascheren Zusammenbruch der Wirtspopulation und damit zu einer Verkürzung der Tollwut-Episoden. Allerdings



erholten sich die dezimierten Bestände dank ihres hohen Reproduktionspotentials nach Absetzen der Massnahmen und Verschwinden der Tollwut rasch, so dass 3–5 Jahre später meist die nächste Seuchenwelle einsetzte (Wandeler, 1988).

### Idee der oralen Immunisierung

Die mit der parenteralen Massenimpfung erzielten Erfolge bei der Bekämpfung der Hundetollwut inspirierten die Suche nach praktikablen Impfsystemen für Wildcarnivoren. Hoffnung auf Erfolg keimte allerdings erst auf, als es in den 60er Jahren gelang, Füchse enteral und oral gegen Tollwut zu immunisieren (Baer et al., 1971; Black und Lawson, 1970). Den grössten Erfolg schien die orale Applikation der modifizierten Tollwut-Lebendvakzine SAD (Street Alabama Dufferin) zu versprechen. Vor der Feldanwendung eines oralen Immunisierungssystems war eine Reihe von Problemen zu lösen, insbesondere galt es Folgendes zu entwickeln: 1. einen Impfstoff, der die Zielspezies unter Feldbedingungen immunisiert und dessen Anwendung risikoarm ist; 2. ein System, das die Vakzine in Kontakt mit Mund- und Rachenschleimhäuten bringt; 3. einen attraktiven und spezifischen Köder, der als Vehikel für die Vakzine dienen kann; 4. eine zeitliche und räumliche Köderauslegestrategie, mit der ein ausreichend hoher Anteil der Zielpopulation erreicht werden kann (Wandeler, 1988; Wandeler, 1991). In Europa arbeiteten damals drei Gruppen an entsprechenden Fragestellungen: das staatliche Veterinäruntersuchungsamt in Frankfurt (Deutschland), das Centre National des Etudes sur la Rage in Nancy (Frankreich) und die Schweizerische Tollwutzentrale an der Universität Bern. Die Arbeiten wurden durch die Weltgesundheitsorganisation WHO koordiniert und erhielten auch Unterstützung von den Centers of Disease Control CDC, Atlanta (USA).

### Voraussetzungen für die Feldanwendung des Impfvirus

Für eine erfolgreiche orale Immunisierung von Füchsen mit SAD erwies sich eine Dosis von minimal  $10^{4.5}$  TCID<sub>50</sub> (50% tissue culture infectious dose) als erforderlich, wenn der Impfstoff direkt auf die Zunge des Tieres appliziert wurde. Wenn die Vakzine in einem Köder verabreicht wurde, musste die Virusmenge über  $10^6$  TCID<sub>50</sub> liegen, um eine belastbare Immunität zu induzieren. Für den Feldeinsatz wurde schliesslich Impfstoff mit einem Titer von  $1-3 \times 10^7$ /ml verwendet. Die Stabilität der Vakzine konnte durch Zusatz von Eigelb wesentlich verbessert werden (Häfliger et al., 1982). Allerdings erwies es sich als unmöglich, Vakzine direkt in Köder einzubringen, da alle damals zur Diskussion stehenden Ködersysteme den Impfstoff innert kürzester Zeit inaktivierten. So musste ein geeigneter Behälter entwickelt werden, der einerseits den Impfstoff schützte, andererseits ein Freisetzen desselben in der Mundhöhle des Köderkonsumenten garantierte – und der problemlos in einem Köder versteckt werden konnte. Die Lösung bestand schliesslich in einem aus PVC und Aluminiumfolie hergestellten Impfstoffsachet, ähnlich einer Medikamenten-Durchdrückpackung (Häfliger et al., 1982) (Abb. 1a), das später den meisten anderen Impfstoff- und Köderherstellern in Europa und Nordamerika als Vorbild für ihre Impfstoffbehälter diente.

### Köderentwicklung

Als sich Anfang der 70er Jahre abzeichnen begann, dass die virologischen und immunologischen Voraussetzungen für eine orale Immunisierung von Füchsen erfüllt werden könnten, fanden in der Region Bern die ersten Versuche mit Ködern statt, die als Vehikel dienen sollten, um dereinst den Impf-

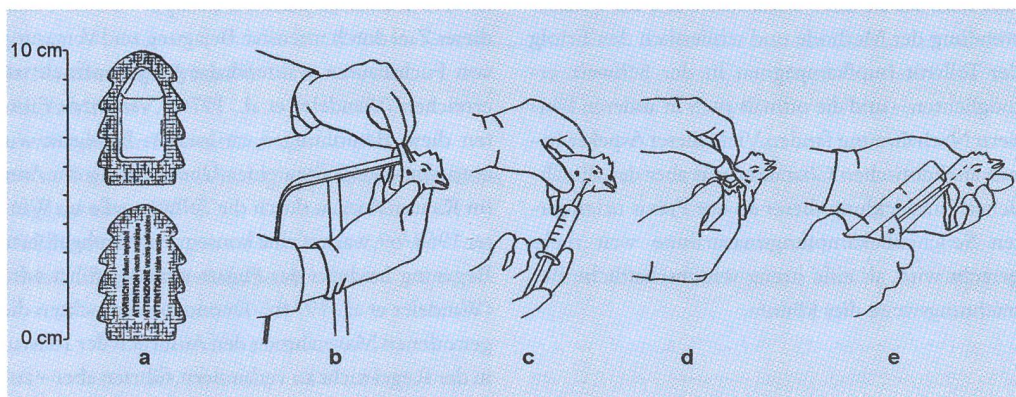


Abbildung 1: Der Tollwut-Impfstoff wurde in Impfstoffsachets (a) mit einem Inhalt von 1,8 ml abgefüllt. Anlässlich der Präparation der Hühnerkopfköder wurde die Kopfhaut mit einer stumpfen Klinge abgelöst (b), 150 mg Tetracyclin injiziert (c) und anschliessend das Sachet eingelegt (d) und mit Hilfe einer Heftklammer befestigt (e) (aus Kappeler, 1991).



stoff zur Zielspezies zu bringen (Wandeler et al., 1975). Einerseits kamen Hackfleischköder, andererseits Hühnerköpfe zum Einsatz, die mittels Plastikmarken individuell markiert waren, so dass das Schicksal einzelner Köder anhand von in Fuchskot wiedergefundenen Marken verfolgt werden konnte. Auch Tetracyclin (TC), das sich andernorts bereits zur Markierung von Köderkonsumenten bewährt hatte (Linhart und Kennelly, 1967) und das später systematisch als Markierungssubstanz Verwendung fand, wurde bereits eingesetzt. Es kristallisierte sich heraus, dass die verwendeten Köder von Füchsen – aber auch anderen karnivoren Arten – gut angenommen werden, dass die Köder relativ rasch verschwinden und dass bei hoher Köderdichte einzelne Individuen mehrere Köder aufnehmen. Weil es sich gezeigt hatte, dass Füchse in der Lage waren, Fremdkörper – selbst feine Glasampullen – vor dem Konsum unversehrt aus Hackfleischködern zu entfernen, wurde schliesslich Hühnerköpfen als Ködern der Vorzug gegeben. Bei der gewählten Präparationsart – Einschieben und Fixieren des Impfstoffsachets unter die Kopfhaut (Abb. 1.b–e) – war ein Zerbeißen des Impfstoffbehälters durch den Köderkonsumenten und damit der Kontakt zwischen Impfvirus und Mundschleimhaut fast unvermeidlich. Unter Laborbedingungen induzierte dieses System bei 80% der Füchse die Bildung spezifischer Antikörper und eine belastbare Immunität (Häfliger et al., 1982). Für die Feldanwendung wurden die Köder in Handarbeit unmittelbar vor den jeweiligen Impfkampagnen durch Jäger, Wildhüter, Polizisten und weiteres Personal unter Leitung der Tollwutzentrale lokal in den impfenden Kantonen produziert. Bei einer durchschnittlichen Präparationsleistung von 60 bis 70 Ködern pro Person und Stunde und bis zu 13 000 Ködern pro Kampagne waren diese Anlässe sowohl vom personellen wie auch vom zeitlichen Aufwand her beachtlich. Die Notwendigkeit einer genauen Terminierung der Köderpräparation jeweils am Vortag des Auslegens und die Schwierigkeit, eine ausreichende Zahl gegen Tollwut geimpfter Freiwilliger – immerhin arbeitete man mit einem attenuierten Lebendimpfstoff – für diese Arbeit zu rekrutieren, waren mit ein Grund, weshalb ab 1991 maschinell produzierte Kunstköder eingesetzt wurden.

### Restpathogenität von SAD

Bei Verwendung eines Lebendimpfstoffes konnte ein Impfdurchbruch bei immunkompromittierten Individuen der Zielspezies oder anderen Köderkonsumenten nicht ausgeschlossen werden. In der Schweiz wurde im Laufe der Impfkampagnen denn

auch in 3 Fällen, in denen ein Tier wegen Tollwutverdacht getötet worden war (Katze, 1982; juveniler Steinmarder, 1985; Jungfuchs, 1986), ein Virus isoliert, das sich bei der Untersuchung mittels monoklonaler Antikörper nicht von SAD unterscheiden liess. Die drei Tiere waren 24, 23 und 61 Tage nach einer Tollwut-Impfkampagne in einem Impfgebiet getötet worden (Wandeler, 1988). Das Auftauchen eines Impftollwutfalles in einer Tierart, die normalerweise ebenfalls Opfer der Tollwut werden kann, ist aus epidemiologischer Sicht irrelevant, wenngleich solche Fälle die mit dem Impfstoff assoziierten Risiken dokumentieren. Weit bedenklicher wäre hingegen gewesen, wenn sich das Impfvirus in einer bisher nicht von Tollwut betroffenen Wirtspopulation hätte etablieren und ausbreiten können. Für SAD und verwandte Impfvirusstämme war bekannt, dass sie für eine Reihe von Kleinsäufern eine Restpathogenität aufweisen (Steck et al., 1982a; Wachendörfer et al., 1978). Kleinsäuger entwickeln nach oraler Verabreichung von SAD in der Regel keine Antikörper gegen Tollwut, ein geringer Prozentsatz stirbt hingegen an der Krankheit. Eine Reihe von Laboruntersuchungen liessen das Risiko einer spontanen Übertragung von SAD in Nagerpopulationen als gering erscheinen. Diese Hypothese wurde 1976/77 durch Auslegen von SAD-haltigen, Nager-spezifischen Ködern in hoher Dichte auf einer Insel in der Aare oberhalb von Solothurn getestet. Die nachfolgende Untersuchung von über 270 Kleinsäufern ergab keinen Hinweis darauf, dass sich das Virus in den verschiedenen Populationen etabliert hätte (Wandeler et al., 1982). Auch spätere, in den Jahren 1982/83 von der Schweizerischen Tollwutzentrale in Zusammenarbeit mit den Kantonen in den Impfbzonen durchgeführte Untersuchungen an über 1 300 Kleinsäufern aus 14 verschiedenen Spezies ergaben nie einen Hinweis auf eine Präsenz von SAD-Virus in diesen Populationen (Schweiz. Tollwutzentrale, nicht publiziert). Selbstverständlich waren die Stichproben zu klein, um einzelne Fälle von an Impftollwut erkrankten Kleinsäufern zu erfassen, hätte sich das Virus aber in den Populationen ausgebreitet, wäre es auf diesem Weg mit hoher Wahrscheinlichkeit entdeckt worden.

### Köderauslegestrategien

In der zweiten Hälfte der 70er Jahre waren die Voraussetzungen für eine erste Feldanwendung der oralen Immunisierung von Füchsen gegen die Tollwut zu einem guten Teil erfüllt. Am Eingang zum Rhonetal baute sich 1978 zudem eine Seuchengrenze auf, die das ganze Tal bedrohte – eine ideale Situation, um die Wirksamkeit des Impfsystems un-



ter Feldbedingungen zu testen. Nicht nur der Kanton Wallis, sondern auch die nationalen Behörden hatten den Mut, diese ersten Feldversuche unbürokratisch zu bewilligen – auf eine Art, wie sie heute nicht mehr vorstellbar ist.

Neben dem politischen Willen, ein neues Konzept der Tollwutbekämpfung in die Tat umzusetzen, brauchte es aber vor allem ein Konzept, wie mit den Impfstoffködern ein ausreichend hoher Anteil der Fuchspopulation zu erreichen sei. Die Antworten auf die Fragen nach der geographischen Lage einer Impfzone, dem Zeitpunkt der Köderausrage, der Köderdichte, dem räumlichen Verteilungsmuster sowie der Köderplatzierung und -tarnung erwiesen sich als komplex, da sie von zahlreichen Faktoren abhängen (Abb. 2). Lage und Ausdehnung einer Impfzone orientierten sich primär an der epidemiologischen und der geographischen Situation. Damit die Aktivität des Impfstoffes auch unter Feldbedingungen ausreichend lange anhielt, wurden Impfkampagnen auf Frühjahr und Herbst beschränkt, wobei eine zweimalige Impfung pro Jahr aus populationsbiologischen Gründen erforderlich schien. Die Köderdichte wurde auf der Basis von Jagdstatistiken und weiteren Daten auf 12–15/ km<sup>2</sup> festgelegt (Steck et al., 1982b; Wandeler et al., 1974b), in der Annahme, dass damit ein 3- bis 6-facher Überschuss an Ködern vorlag. Die Verteilung der Köder im Gelände erfolgte durch ortskundige Wildhüter und Jäger, anhand von Karten im Massstab 1:25 000, auf denen alle Köderpunkte entlang von meist fahrbaren Wegen und Strässchen vorgegeben waren. Das bei Füchsen bekannte Verhalten des «food caching», des Versteckens von Futter bei reichlichem Angebot, hatte zu einer Strategie geführt, die nach einer möglichst gleichmässigen Verteilung der Köder im Gelände verlangte. Der vor allem von Jägern wiederholt geäusserte Vorschlag, mehrere Köder zusammen an «Luderplätzen» auszubringen, wie sie für die Fuchsjagd benutzt werden, wurde 1983 im Bergell getestet. Es zeigte sich

dabei, dass bei einem derartigen Auslegemuster einzelne Füchse zahlreiche Köder aufnehmen können – und andere vermutlich leer ausgehen (Hässig, 1984). Um die Köder vor Wärmeeinwirkung und vor der Aufnahme durch Konkurrenten zu schützen, wurden sie bei der Auslage mit Blättern oder Gras leicht getarnt.

Zur Umsetzung dieser Strategie teilten sich die Tollwutzentrale und die Kantone in die Aufgaben. Je nach geltendem Jagdsystem erfolgte auch die Organisation der Köderausrage in verschiedenen Kantonen etwas unterschiedlich (Kappeler, 1991). Viele der in diesen ersten Impffahren gemachten Erfahrungen – Impffrequenz, Köderdichte – wurden später von anderen europäischen Ländern weitgehend übernommen. Auch das sogenannte «Bayerische Modell» der Köderausrage-Organisation (Wilhelm und Schneider, 1990) ist im wesentlichen dem Vorgehen nachempfunden, wie es ab 1982 in Kantonen mit Revierjagd zum Zuge kam.

### Geographische Strategie zur Elimination der Tollwut

Die ersten Impfkampagnen im unteren Wallis in den Jahren 1978/79 waren von Erfolg gekrönt (Steck et al., 1982b). Skeptische Stimmen äusserten allerdings die Vermutung, dass im oberen Rhonetal die Fuchsdichte zu gering sei, um eine Epizootie aufrechtzuerhalten. Daher entpuppte sich das zuerst als Zeichen eines Fehlschlages empfundene Auftauchen tollwütiger Füchse im Februar 1980 in der Gegend von Montana und Leukerbad nachträglich als willkommener Testfall: die Tollwutfälle belegten, dass die Fuchsdichte in diesem nicht mehr bzw. nie geimpften Gebiet durchaus hoch genug war. Die epidemiologische Situation liess zudem vermuten, dass die Infektion des Gebietes über Rawilpass und/oder Gemmi aus dem Berner Oberland erfolgte und nicht über unentdeckt gebliebene Fälle im zu dieser Zeit fast tollwutfreien Rhonetal. Die kurzfristig organisierte, mehrmalige Impfung der Region eliminierte den Herd innert kurzer Zeit – ein Vorgehen, für das später der Begriff «Spot-Impfung» aufkam.

Mit den Erfolgen im Rhonetal entstand sowohl seitens der Tollwutzentrale wie auch der Kantone der Wunsch, die Kampagnen auszudehnen. Da dies zwangsläufig mit einer Ausweitung auf geographisch weniger günstige Geländesituationen verbunden war, bedurfte es eines geographischen Konzeptes. Seen, grössere Flüsse, Bergketten über 2000 m Höhe, aber auch von Wildzäunen flankierte Autobahnen hatten in der Vergangenheit wiederholt das Fortschreiten der Seuche wenn nicht aufhalten, so doch massgeblich verzögern

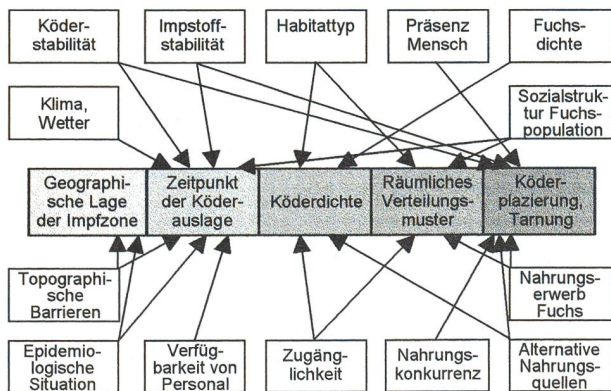


Abbildung 2: Zahlreiche Faktoren (weisse Kästchen) beeinflussen die Köderausrage-Strategie, die sich in 5 hierarchische Fragen unterteilen lässt (graue Kästchen).



können (Wandeler et al., 1988). Es war naheliegend, sich derartige Landschaftsstrukturen für die Tollwutbekämpfung zu Nutze zu machen. Durch die Kartierung dieser geographischen Barrieren wurde die Schweiz in 31 «epidemiologische Kompartimente» unterteilt (Abb. 3). Kompartimente, deren Grenzen auf einer Länge von mehr als 20% nicht durch Barrieren geschützt waren, wurden als offene Kompartimente, alle anderen als geschlossene Kompartimente bezeichnet (Kappeler, 1991). Die Impfstrategie bestand nun darin, tollwutfreie, bedrohte Kompartimente durch Impfen der Eingänge zu schützen, ähnlich wie dies im Rhonetal geschehen war. Verseuchte Kompartimente waren durch flächendeckende Impfung von der Tollwut zu befreien. Es war klar, dass die zweite Aufgabe wesentlich schwieriger zu realisieren sein würde, aber letztlich zeigte sich mit den Impfkampagnen in der Ostschweiz, dass dieses Ziel durchaus zu erreichen war: Nach partiellen Impfungen ab Herbst 1983 und 2 flächendeckenden Kampagnen 1984/85 wurde im August 1985 der letzte Tollwutfall in diesem Gebiet registriert. Das grosszügige Vorgehen hatte sich hier auszahlt, wie ein Vergleich zwischen Impfstrategien in verschiedenen geschlossenen Kompartimenten zeigte: In von Anbeginn flächendeckend geimpften Kompartimenten dauerte es im Mittel 7 Monate bis zur Elimination der Tollwut. Dort, wo die Impfzonen erst allmählich erweitert wurden, persistierte die Seuche und der Erfolg stellte sich erst 9 Monate nach Erreichen der Maximalausdehnung ein (Kappeler, 1991). Das Kompartiment-Konzept sah vor, nach Befreiung des Landesinneren von der Tollwut die Impfzonen zu den Landesgrenzen hin zu verschieben. Es war klar, dass Impfungen in diesen Bereichen so lange aufrecht zu erhalten sein würden, bis die Tollwut beidseits der Grenze eliminiert war. Besonders dort, wo offene Kompar-

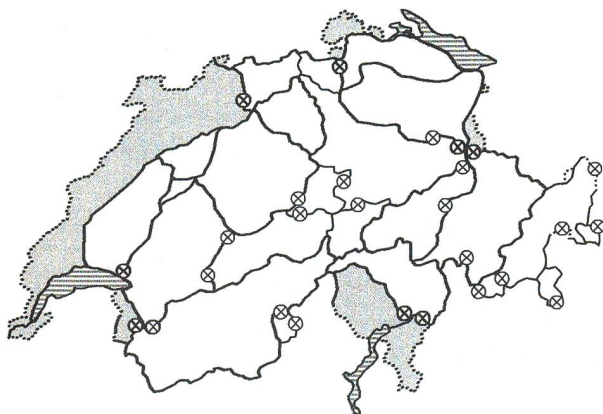


Abbildung 3: Durch Kartierung natürlicher und künstlicher Hindernisse wurde die Schweiz in 23 geschlossene (weiss) und 8 offene (grau) «epidemiologische Kompartimente» unterteilt. Die Bekämpfungsstrategie orientierte sich an diesen Einheiten, nicht an den politischen Grenzen zwischen den Kantonen. Die Kreise bezeichnen ungeprüfte Eingänge zu geschlossenen Kompartimenten.

timente betroffen waren, wie z.B. im Jura, war die Abhängigkeit von der Seuchenentwicklung im angrenzenden Ausland offensichtlich.

### Strategien zur Überprüfung des Impferfolges

Die Auswirkungen der Impfkampagnen wurden auf verschiedenen Ebenen beurteilt. Als unmittelbare Kontrolle wurden periodisch die Verschwindraten von im Feld ausgelegten, individuell markierten Ködern ermittelt. Es bestätigte sich dabei nicht nur, dass die Mehrzahl der Köder innerhalb weniger Tage verschwand, sondern auch, dass die Wahl eines geeigneten Auslegeortes die Wahrscheinlichkeit einer Köderaufnahme beeinflusste. Die Identifikation von Köderkonsumenten erwies sich als schwierig, allerdings liessen Zahnabdrücke in wiedergefundenen Impfstoffsachets den Schluss zu, dass zumindest ein Teil der Köder von Füchsen konsumiert wurden. Dies liess sich mittelfristig auf anderem Weg bestätigen: Tetracyclin, das jedem Köder beigemischt wurde, lässt sich in Dünnschliffen von Knochen und Zähnen von Köderkonsumenten fluoreszenzmikroskopisch gut nachweisen. Dies erlaubte nicht nur Aussagen über die Anzahl Füchse in einem Impfgebiet, die Köder aufgenommen hatten, sondern auch eine Analyse weiterer Parameter. So liess sich anhand TC-markierter Zuwachslinien im Dentin von Zähnen subadulter Füchse zeigen, dass 70–80% der Füchse Köder innerhalb von 10 Tagen nach deren Auslage aufgenommen hatten (Capt, 1981; Hässig, 1984). Die statistische Analyse der Daten von über 8 000 Füchsen aus verschiedenen Impfzonen der Schweiz zeigte auch, dass mit zunehmender Köderdichte sowie nach Impfkampagnen im Herbst der Anteil TC-positiver Füchse anstieg. Der Anteil markierter Jungfüchse war umso höher, je später die Frühjahrsimpfung stattgefunden hatte, bei adulten Füchsen erhöhte sich der Anteil TC-positiver Tiere in Gebieten, die schon mehrfach geimpft worden waren. Weiter nahmen im besser zugänglichen Mittelland mehr Tiere Köder auf als im Alpenraum. Die Untersuchung auf TC erlaubte aber auch die Identifikation von Problemgebieten. Als im Frühjahr 1985 im unteren Rhonetal nach 5 Jahren erstmals wieder Tollwutfälle auftraten, waren nur gerade 50% der Füchse aus der im Winter davor erhobenen Stichprobe TC-positiv. Dieser Wert sank in den folgenden Jahren noch weiter ab, während die Zahl der Tollwutfälle gleichzeitig zunahm, wenn auch der Herd eng begrenzt blieb. Erst im Winter 1988/89 wurden wieder über 50% der Füchse als Köderkonsumenten identifiziert und im Mai 1989 erlosch der Seuchenherd. Die Gründe für



die schlechte Köderaufnahme blieben unklar. Es bestanden allerdings Hinweise, dass Köder nicht mehr mit der gleichen Sorgfalt ausgelegt worden waren wie zu Beginn der Impfkampagnen. Möglicherweise war dies Ausdruck einer «Ermüdung» in einem Gebiet, das wegen der Tollwutsituation in Nachbargebieten zu weiterer Teilnahme an Impfkampagnen verpflichtet war, obwohl im Gebiet selber während langer Zeit keine Tollwutfälle verzeichnet wurden (Kappeler, 1991).

Alle diese Analysen durften aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass eine Köderaufnahme nicht gleichbedeutend ist mit einer erfolgreichen Immunisierung. Die Überprüfung des Impferfolges durch den Nachweis spezifischer Antikörper in Serumproben aus Kadavern potentieller Köderkonsumenten erwies sich allerdings als problematisch. Wohl zeigte sich ein Parallelverlauf für Serologie- und Tetracyclin-Daten, der Anteil seropositiver Tiere war aber stets tiefer als der von TC-positiven. Gründe hierfür dürften neben der schlechten Qualität der Proben auch die absichtlich gering gehaltene Sensitivität des verwendeten ELISA-Systems sein (Kappeler, 1991).

Auch wenn die oben erwähnten Methoden eine kurz- bis mittelfristige Überprüfung des Erfolgs von Impfaktivitäten erlauben, so sind letztlich die epidemiologischen Auswirkungen der Prüfstein aller Bekämpfungsmassnahmen. Dass diese trotz

Rückschlägen nicht ausblieben, lässt sich nicht zuletzt daraus schliessen, dass die Schweiz im Frühjahr 1999 offiziell tollwutfrei erklärt worden ist (Müller et al., 2000; Breitenmoser et al., 2000).

### «Zonenkonzept»: Überwachung als Basis für Impfentscheid

Die Seuchenentwicklung in den Jahren 1989 und 1990 gab zur berechtigten Hoffnung Anlass, die Tollwut könne in der Schweiz in Kürze getilgt werden. Gleichzeitig mehrten sich aber die Befürchtungen, die Erfolge der vergangenen Jahre könnten zu einem Nachlassen der Überwachung und damit womöglich zu einem zu spät entdeckten Wiederaufflackern der Tollwut führen. Die Schweizerische Tollwutzentrale präsentierte daher im Frühjahr 1990 in Steckborn an der «Informationstagung über zukünftige Strategien in der Tierseuchenbekämpfung» ihr «Zonenkonzept» mit vier verschiedenen Zonen, in denen in Abhängigkeit von Tollwut- und Impfstatus unterschiedliche Massnahmen zu treffen waren (Tab. 1, Abb. 4, Anonymus, 1990). Dass das Konzept der Überwachung eine besondere Bedeutung zumass, war nichts Besonderes. Hingegen hatte mit der vierten Zone – einem 50 km Streifen rund um die Schweiz – erstmals die Seuchensituation im angrenzenden Ausland zwin-

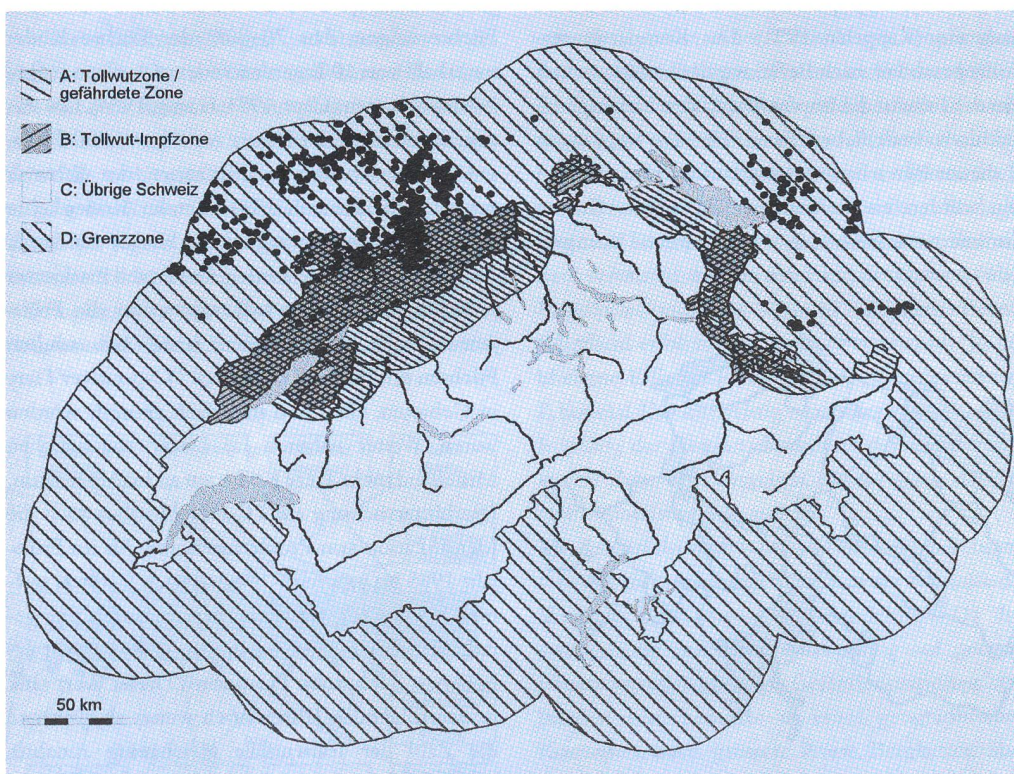


Abbildung 4: Für die Bekämpfung und Überwachung der Tollwut wurden die Schweiz und die Grenzregion in vier unterschiedliche Zonen unterteilt, abhängig von Tollwut- und Impfstatus. Je nach Zone gelten unterschiedliche Minimalanforderungen für die Seuchenüberwachung. Die Abbildung zeigt alle Tollwutfälle in der Schweiz und in einer Tiefe von 50 km auch im angrenzenden Ausland im Jahre 1992 (Punkte), auf deren Basis die Impfzone für das Frühjahr 1993 festgelegt wurde. Karte: Uli Müller, Schweizerische Tollwutzentrale.



Tabelle 1: Bekämpfungsstrategie und minimale Anforderungen an die Überwachung der Tollwut gemäss dem «Zonenkonzept».

Zone	A: Tollwut-Zone Zone im Radius von 30 km um Tollwut-Fall	B: Tollwut-Impfzone Zone mit Impfaktion im letzten Halbjahr	C: Übrige Schweiz Nie/nicht mehr geimpftes Gebiet	D: Grenzzone Benachbartes Ausland in einer Tiefe von 50 km
Untersuchen	Alle verdächtigen Tiere <sup>1</sup> Zusätzlich: Kontrollgruppe (Jagd/Unfall) aus der Vektorpopulation (Fuchs)		Verdächtige Tiere, insbesondere Wildcarnivoren und verstellte Haustiere	Permanentes Verfolgen der Seuchenentwicklung. Sobald Tollwutfälle auftauchen: Überwachung auf Schweiz. Seite wie in Zone A
Menge	Verdächtige: alle Kontrolltiere: minimal 10/100 km <sup>2</sup> und Jahr		alle	Evtl. Impfung auf Schweizer Seite. Tollwut- und Impfsituation sowie topographische Verhältnisse beidseits der Grenze berücksichtigen.
Periode	Verdächtige: immer Kontrolltiere: bis mind. 1 Jahr nach letztem Tollwut-Fall im Radius von 30 km	Verdächtige: immer Kontrolltiere: bis mind. 1 Jahr nach letzter Impfaktion	permanent	
Zweck	Erfassung von Inzidenz, Verbreitung, Ausbreitung	Überprüfung des Impferfolges, Identifikation des Virusstammes bei Tollwut-Fall (Ausschluss Impftollwut)	Früherfassung eines Neuausbruchs, Erfassung importierter Tollwutfälle	Sistieren der Impfung, wenn Grenzgebiet in ausreichender Tiefe während mehr als 1 Jahr tollwutfrei und Weiterführung adäquater Kontrollmassnahmen im Ausland sichergestellt ist.

<sup>1</sup> Als verdächtig sind einzustufen: Haus- und Wildtiere mit ZNS-Symptomen; unprovokiert beissende / aggressive Tiere; Wildtiere mit anormalem Verhalten (kein Fluchtverhalten, tagüber in Siedlung, Zutraulichkeit usw.); tot aufgefundene Wildcarnivoren; tot aufgefundene andere Wildtiere in Endemiegebieten.

gende Auswirkungen nicht nur auf die Bekämpfungsmassnahmen, sondern vor allem auch auf die Anforderungen an die Überwachung in der Schweiz. Genügte die Qualität der Überwachung in einem bestimmten Gebiet den Ansprüchen und lag überdies eine effiziente Barriere zwischen dem eigentlichen Gefahrenherd und dem bedrohten Gebiet, wurde die Impfung auf das effektiv versuchte Kompartiment beschränkt (Abb. 4; Mittelland). Der Grundgedanke des «Zonenkonzepts» blieb für die Bekämpfung und Überwachung der Tollwut wegweisend bis zum Erreichen des Status der Tollwutfreiheit.

## Politische Strategien und seuchengesetzliche Grundlagen

Als 1978 die ersten Impfkampagnen stattfanden, gab es hierfür keine rechtliche Basis. Die Tierseuchenverordnung vom 15. Dezember 1967 (TSV: SR 916.401) sah eine Impfung von Wildtieren gegen Tollwut nicht vor. Am 9. September 1982 erliess das Bundesamt für Veterinärwesen die «Weisung Nr. 4 zur Tierseuchenbekämpfung: Durchführung von Feldversuchen zur Schutzimpfung von Füchsen gegen Tollwut mit Ködern, die attenuiertes Impfvirus enthalten», und hielt darin fest: «...Die Kantone können jedoch, im Einvernehmen mit dem Bundesamt für Veterinärwesen, entsprechende Feldversuche durchführen.» Die Weisung verpflichtete unter anderem die Kantone – nicht den Bund – zur Übernahme der Kosten. Da die Weisung auch festhielt, dass Impfkampagnen zwei-

mal jährlich während dreier Jahre durchzuführen seien, war für viele Kantone klar, dass die mit den Kampagnen verbundenen Kosten bei 15 Ködern pro km<sup>2</sup> und einem Impfstoffpreis von Fr. 2.– pro Dosis (der allerdings eine Reihe von Dienstleistungen der Tollwutzentrale mit einschloss) nicht unerheblich sein würden. Um den Erfolg ihrer Bemühungen abzusichern, schlossen die Ostschweizer Kantone und das Fürstentum Liechtenstein 1983 ein Konkordat, in dem sie sich gegenseitig zur Teilnahme an den Impfkampagnen ab 1984 verpflichteten. Das Vertragswerk sollte sicherstellen, dass die Anstrengungen der Mehrheit nicht durch das vorzeitige Ausscheiden eines einzelnen Kantons gefährdet werden könnten. Die Initiative einiger Ostschweizer Kantone verhalf der Region zu einer juristischen Basis für den Impferfolg und gab dem Bund gleichzeitig einen Fingerzeig, dass effiziente Seuchenbekämpfung ohne einheitliche Führung nicht möglich ist. Der Bund revanchierte sich, indem er auf den 1. Januar 1988 die Tierseuchenverordnung abänderte, die orale Immunisierung zur offiziellen Bekämpfungsstrategie machte und die Kantone verpflichtete, Impfaktionen durchzuführen, bis die Fuchstollwut getilgt sei. Diese Anpassung der Tierseuchenverordnung war insofern bemerkenswert, als zum Zeitpunkt ihrer Inkraftsetzung ausserhalb der Schweiz erst Deutschland (seit 1983), dann Italien (1984), Kanada (1985), Frankreich, Österreich, Belgien, die Niederlande und Luxemburg (1986) mit ähnlichen Versuchen begonnen hatten. Der Bund übernahm allerdings nicht nur die Führungsrolle, sondern ging auch finanzielle Verpflichtungen ein, indem er in der Tier-



seuchenverordnung festhielt, dass er den Kantonen, die wegen ihrer Grenzlage zu fortdauernden Impfkampagnen verpflichtet waren, den Impfstoff und später die Kunstköder zur Verfügung stelle.

## Warum hat die orale Immunisierung in der Schweiz Erfolg gehabt?

Angesichts der Komplexität des Systems lässt sich diese Frage kaum schlüssig beantworten. Immerhin darf man aber davon ausgehen, dass die grösstenteils schon vor Beginn der ersten Kampagnen festgelegten Werte für die verschiedenen Variablen des Systems – wie etwa Köder, Auslegestrategie, Impfstoff und Impfstofftiter – gut gewählt waren, sonst wären bis Ende der 80er Jahre kaum so gute Resultate erzielt worden. Retrospektiv mag erstaunen, wie wenig experimentelle Variation die verschiedenen Parameter der Impfstrategie erfahren haben. Es gilt dabei aber zu bedenken, dass das ganze «Experiment» eben nicht unter experimentellen Bedingungen angelegt war, sondern in einer realen Seuchensituation sehr schnell Teil der Bekämpfungsstrategie wurde. Als sich die Zeichen mehrten, dass die Impfkampagnen tatsächlich einen Einfluss auf den Tollwutverlauf hatten, wollten die beteiligten Kantone verständlicherweise das Risiko eines

Fehlschlages nicht eingehen, weshalb die bewährten Impfstrategien beibehalten wurden. Auch im Ausland, wo seit 1983 mit Impfkampagnen begonnen wurde, stützte man sich weitgehend auf die in der Schweiz gemachten Erfahrungen, angefangen beim Design der Impfstoffsachets bis hin zur Auslegestrategie – auch wenn später Weiterentwicklungen von Ködern, Impfstoffstämmen und Auslegestrategie folgten. Der markante Wiederanstieg der Tollwut in der Schweiz Anfang der 90er Jahre erforderte schliesslich eine Anpassung der Impfstrategie. Bezeichnenderweise war auch hier der Spielraum für streng wissenschaftliche Experimente gering und das Vorgehen pragmatisch (Breitenmoser et al., 2000). Schliesslich ging mit dem letzten Tollwutfall in der Schweiz Ende 1996 aber dennoch ein Ziel in Erfüllung, über dessen Erreichbarkeit sich am 17. Oktober 1978 wohl keine der an der ersten Impfkampagne beteiligten Personen konkrete Gedanken gemacht hatte. Die Schweiz gelangte etwas später als erhofft ans Ziel – aber als erstes Land auf diesem Weg.

## Literatur

Ein Gesamtverzeichnis der Literatur befindet sich am Ende dieses Hefts.

### Développement de stratégies pour effectuer sur le terrain l'immunisation des renards par voie orale contre la rage

Pour que l'immunisation des renards par voie orale contre la rage sur le terrain soit un succès, un vaccin efficace et sûr ainsi qu'un appât convenable devaient être développés. En même temps, une stratégie appropriée était à employer pour atteindre, avec les appâts vaccinaux, une proportion élevée de la population du vecteur. Un concept géographique et épidémiologique pour la réalisation de la stratégie de vaccination et de l'imposition des exigences de surveillance constituèrent des bases importantes pour le succès de la méthode. Finalement, il a fallu des décisions politiques et une base légale correspondante pour éradiquer de la Suisse, grâce à l'aide de l'immunisation orale, la rage du renard.

### Elaborazione di strategie per l'applicazione sul campo dell'immunizzazione per via orale delle volpi contro la rabbia

Le condizioni per un'applicazione di successo sul campo dell'immunizzazione orale delle volpi contro la rabbia furono rappresentate da un lato dallo sviluppo di un vaccino efficace e il più sicuro possibile e da esche adatte, dall'altro lato anche dalla ricerca di una strategia idonea allo scopo di raggiungere, tramite le esche contenenti il vaccino, la maggior parte possibile della popolazione vettore. Ulteriori passi che portarono al successo del metodo furono costituiti dallo sviluppo di un concetto geografico-epidemiologico per la messa in pratica della strategia di vaccinazione e per il raggiungimento dei requisiti nel sistema di sorveglianza. Alla fine, inoltre, furono necessarie decisioni politiche e basi legali adeguate allo scopo di eradicare in Svizzera la rabbia nelle volpi mediante l'immunizzazione orale.

## Korrespondenzadresse

Dr. Andreas Kappeler, Pathologisches Institut der Universität Bern  
Murtenstrasse 31, CH-3010 Bern, Schweiz  
E-Mail: kappeler@patho.unibe.ch