Zeitschrift: Jahrbuch Oberaargau : Menschen, Orte, Geschichten im Berner Mitteland

Herausgeber: Jahrbuch Oberaargau

Band: 51 (2008)

Artikel: Echinococcus multilocularis ante portas : der gefährliche Fuchsbandwurm vor den Toren Langenthals

Autor: Heldner, Sarah

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1071337

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

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

Echinococcus multilocularis ante portas

Der gefährliche Fuchsbandwurm vor den Toren Langenthals

Sarah Heldner

Sarah Heldner hat den vorliegenden Beitrag 2006 als Maturaarbeit am Gymnasium Oberaargau und zugleich als Wettbewerbsarbeit am 40. nationalen Wettbewerb «Schweizer Jugend forscht» geschrieben. Sie wird hier leicht gekürzt wiedergegeben.
In einer neuen gesamtschweizerischen Untersuchung der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich (Medienmitteilung der Universität Zürich vom 9. 5. 2007) ist eine bedeutende Zunahme der Krankheitsfälle durch den Fuchsbandwurm beim Menschen festgestellt worden: Während in den 90er Jahren rund 1,0 Personen pro Million Einwohner und Jahr erkrankten, sind es zwischen 2001 und 2005 schon 2,6 Neuerkrankungen pro Jahr. Das Risiko ist also nach wie vor klein, aber zunehmend. Es kann durch die im Beitrag beschriebenen Verhaltensregeln deutlich in Schach gehalten werden.

1. Einleitung und Zielsetzungen

Der Fuchs kann Träger von Krankheitserregern sein, die auf andere Tiere oder den Menschen übertragbar sind. Das bekannteste Beispiel hierfür ist sicher das Tollwutvirus. Zu diesen Krankheitserregern gehört aber auch der sogenannte «gefährliche Fuchsbandwurm» *(Echinococcus multilocularis)*. *E. multilocularis* ist eine der 15 Bandwurmarten, die den Fuchs befallen können. Für den Menschen ist von diesen aber nur der Fuchsbandwurm gefährlich: Er kann eine schwere, krebsähnliche Lebererkrankung, die sogenannte Alveoläre Echinococcose, auslösen.
Für meine Maturaarbeit stellte ich mir daher die folgenden Fragen:
Sind Füchse im Raum Langenthal Träger des Fuchsbandwurmes?
Sind auch Schweine und Schafe der Region Langenthal, die wie wir Menschen sogenannte Fehlzwischenwirte des Fuchsbandwurmes sein können, befallen?
Um die erste Frage zu beantworten, habe ich vier Gebiete im Raum Langenthal ausgewählt: In diesen Gebieten sammelte ich während eines Monates (9. Juli bis 9. August 2005) Fuchslosungen (Fuchskot). Die gefundenen Fuchslosungen habe ich am Institut für Parasitologie der Universität Zürich zuerst mittels des Koproantigen-ELISA-Tests auf Antigene von *E. multilocularis* untersucht. Taeniiden-Eier, die aus den Koproantigen-ELISA-positiven Fuchslosungen isoliert wurden, habe ich danach mittels Polymerase-Kettenreaktion (PCR) als *E.-multilocularis*-Eier identifiziert (Taeniiden oder Taeniidae sind eine Familie der Bandwürmer).
Um meine zweite Frage zu beantworten, habe ich im Schlachthaus Langenthal Schweine- und auch Schafslebern mit krankhaften Veränderungen abgeholt. Verdächtige Zysten habe ich mittels PCR auf Fuchsbandwurm-DNA untersucht.

Das Ziel meiner Arbeit war also einerseits herauszufinden, ob und auch wie oft Füchse im Raum Langenthal in ihrem Kot Antigene und infektiöse Eier von *E. multilocularis* ausscheiden. Andererseits sollte auch untersucht werden, ob Schweine und Schafe der Region Langenthal von *E. multilocularis* befallen sind.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Biologie des Fuchsbandwurmes (Echinococcus multilocularis)

Fuchsbandwürmer sind Plattwürmer (Stamm: *Plathelminthes*). Sie gehören zur Klasse der Bandwürmer *(Cestodes)*, zur Ordnung der höheren Bandwürmer *(Cyclophillidae)* und als Echinococcus-Gattung *(Echinococcus)* zur Familie der Taeniiden *(Taeniidae)*.

Die erwachsenen, zwei bis vier Millimeter grossen Bandwürmer von *E. multilocularis* sind Dünndarmparasiten des Fuchses (Abb. 1,1), selten des Hundes (1a) und der Katze (1b). Fuchsbandwürmer bestehen typischerweise aus fünf Gliedern (Proglottiden) und besitzen einen Kopf mit Hakenkranz und Saugnäpfen (Scolex). In den reifen Endproglottiden enthält der sackförmige Uterus bis zu 200 Eier. Im Kot von Endwirten werden Bandwurmglieder mit Eiern (2) oder freie Bandwurmeier, die bereits im Darm aus den reifen Endproglottiden freigesetzt wurden (3), ausgeschieden. Die Eier, welche einen Durchmesser von ca. 25–40 Mikrometer aufweisen, sind fast kugelig und haben eine radiär gestreifte Hülle. Sie enthalten eine Hakenlarve, eine sogenannte Onkosphäre.

Die Eier von *E. multilocularis* sind gegenüber Umwelteinflüssen sehr resistent und können unter günstigen Bedingungen (feuchte Umgebung und niedrige Temperaturen) bis zu ca. einem Jahr infektiös bleiben.[1] Die Infektion von natürlichen Zwischenwirten (Nagetiere wie Feldmaus, Schermaus und Bisamratte u.a., (4), oder Fehlwirten, Mensch, (4a), verschiedene Affenarten, Haus- und Wildschwein, Hunde) erfolgt durch die Aufnahme von *Echinococcus*-Eiern mit der Nahrung. Im Magen des Zwischen- oder Fehlwirtes wird die dicke, aus Keratin bestehende Eischale durch den Magensaft aufgelöst. Dadurch wird die von einer schützenden Lipidmembran umgebene Onkosphäre freigesetzt. Die Lipidmembran wird im Dünndarm durch Gallensalze aufgelöst. Durch diese Vorgänge

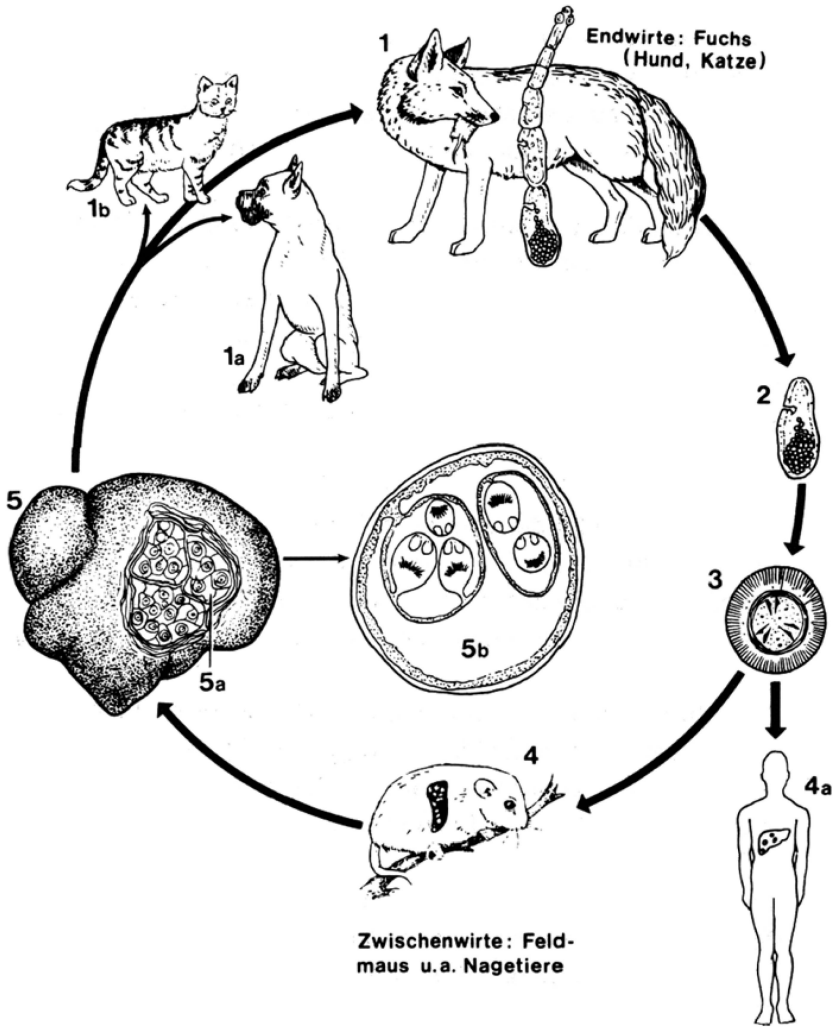


Abb. 1: Schematische Darstellung des Fuchsbandwurm-Zyklus (Institut für Parasitologie der Universität Zürich)

stimuliert, dringt die Onkosphäre mittels amöbenartigen Bewegungen und unter Zuhilfenahme von Embryonalhäkchen sowie proteinverdauenden Enzymen in das Darmgewebe ein. Anschliessend gelangt die Hakenlarve auf dem Blutweg passiv in die Leber. Aus der Onkosphäre entsteht am Ort der endgültigen Lokalisation zunächst ein Bläschen, das von Binde- und Granulationsgewebe umschlossen wird. Die Wand dieses Einzelbläschens besteht aus einer inneren zellulären Keimschicht und

einer äusseren azellulären Kutikularschicht. Im Verlauf von 40 bis 60 Tagen nach der Infektion entwickeln sich in den Brutkapseln, die an der Keimschicht entstanden sind, Protoskolizes (Kopfanlagen, Vorläufer der erwachsenen Bandwürmer, 5a/5b). Durch exogene Sprossung wachsen solche Einzelbläschen infiltrativ in das umgebende Wirtsgewebe ein und verbinden sich miteinander zu einem Konglomerat von alveolären, d.h. mit Hohlräumen versehenen, Strukturen. Dieses Konglomerat wird in seiner Gesamtheit als Finne (= Metazestode) bezeichnet. Werden Zwischenwirte, die Finnen mit Protoskolizes enthalten, von einem Endwirt verzehrt, so entwickelt sich in dessen Dünndarm eine neue Bandwurmgeneration. Diese kann bereits nach 26 bis 28 Tagen infektionstüchtige Eier produzieren und lebt durchschnittlich zwei bis fünf Monate im Dünndarm ihres Wirtes.
Eine Infektion mit *E. multilocularis* verläuft bei Endwirten typischerweise ohne Beschwerden. Die meisten natürlichen Zwischenwirte und Fehlwirte hingegen sterben an der Infektion, wenn sie nicht vorgängig gefressen werden.[2] Eine Infektion des Menschen mit *E. multilocularis* kann zu einer schweren Erkrankung, der Alveolären Echinococcose, führen.

2.2 Alveoläre Echinococcose beim Menschen

Pathogenese und Krankheitsbild: Der Mensch infiziert sich durch unbeabsichtigte Aufnahme von Fuchsbandwurmeiern mit der Nahrung. Für die Übertragung auf den Menschen kommen verschiedene Wege in Betracht. Es ist jedoch noch nicht bekannt, welche die wichtigsten sind:[3]

– «… die Kontamination der Hände mit Eiern von *E. multilocularis* beim Berühren von Endwirten (Fuchs, Hund, Katze), an denen solche Eier haften, oder bei Arbeiten mit Erde oder Pflanzen, die durch Kot von Endwirten kontaminiert sind;
– die Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel (Wildbeeren, Gemüse, Fallobst usw.) oder kontaminierten Trinkwassers.»[4]

Nach der Aufnahme treten unmittelbar keine Krankheitssymptome auf. Die Infektion kann unter Umständen spontan abheilen oder aber nach einer langen Inkubationszeit von 5 bis 15 Jahren zu einer progressiven Phase führen. In dieser treten Symptome auf, sobald die invasiv und tumorähnlich wachsende Finne grössere Teile der Leber infiltriert hat oder wichtige Funktionen beeinträchtigt. Die Symptome der progressiven Phase umfassen Unterleibsschmerzen, Gelbsucht, Lebervergrösse-

Abb. 2: Fuchs.
Foto Daniel Hegglin, swild.ch

rung, gelegentlich auch Fieber und Anämie, Gewichtsverlust und Pleuraschmerzen.[5]

Das noch weiter fortgeschrittene Stadium der Krankheit ist durch eine schwere Leberdysfunktion charakterisiert. Zudem kann es auch zur Bildung von Metastasen in Organen des Unterleibs, Lunge, Gehirn und Knochen kommen.[6]

Der Krankheitsverlauf ist schleichend-chronisch mit einer Dauer von einigen Wochen bis mehreren Jahren. Die Sterblichkeitsrate ist bei unbehandelten Patienten sehr hoch und kann über 94 Prozent betragen.

Diagnose und Therapie: Bildgebende Verfahren wie Ultrasonographie, Computertomographie und Thoraxröntgen führen häufig zu einer Verdachtsdiagnose, die dann durch gezielte serologische Untersuchungen (Antikörpernachweis mittels ELISA u.a.) bestätigt werden kann. Die Diagnose kann zusätzlich durch die Identifikation des Parasiten in chirurgisch entferntem Probenmaterial (histologische Untersuchung, ELISA-Koproantigennachweis oder PCR, vgl. Kapitel 2.3) weiter bekräftigt werden.

Die totale Entfernung des Parasiten durch radikale Operation bietet recht gute Heilungschancen, ist aber nur in 20 bis 40 Prozent der Fälle

möglich. Da wegen des infiltrativen Wachstums der Finne von *E. multilocularis* nie mit Sicherheit festgestellt werden kann, ob alle Teile des Parasiten entfernt worden sind, muss auch nach vermeintlicher Radikaloperation eine Chemotherapie mit Albendazol oder Mebendazol von mindestens zwei Jahren und eine Überwachung des Patienten bis zu zehn Jahren angeschlossen werden. Eine Lebertransplantation wird in den seltensten Fällen durchgeführt und birgt ein relativ hohes Risiko für eine postoperative Metastasenbildung. Dies ist auf Parasitenreste zurückzuführen, die nicht entfernt werden konnten und unter Immunsuppression weiterwuchern. In inoperablen Fällen ist eine lebenslange Dauerchemotherapie notwendig.[7] Eine Schweizer Studie hat gezeigt, dass diese aufwändige Therapie bei den meisten Patienten zu einer signifikanten Lebensverlängerung führt.[8]

Epidemiologie: *E. multilocularis* ist in der nördlichen Hemisphäre weit verbreitet, mit Endemiegebieten in Europa, Asien (Türkei, Iran, Russland und angrenzende Staaten bis Japan) und Nordamerika (Alaska, Kanada, nördliche und zentrale Staaten der USA). Auch in der Schweiz hat der Parasit eine weite Verbreitung; in verschiedenen Regionen sind 3 bis über 50 Prozent der Füchse befallen.[9]

Trotz des häufigen Vorkommens und der weiten Verbreitung von *E. multilocularis* bei Füchsen ist die Inzidenz (Häufigkeit von Neuerkrankungen innerhalb eines bestimmten Zeitraums) der Alveolären Echinococcose des Menschen derzeit gering. Die in der Schweiz ermittelten landesweiten Inzidenzen schwankten im Zeitraum von 1956–1992 zwischen 0,10 und 0,18 neuen Fällen pro 100 000 Einwohner und Jahr. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass das Infektionsrisiko für Menschen durch noch unbekannte Faktoren limitiert ist.[10]

Ausserdem besitzen Menschen eine relativ hohe, angeborene Widerstandsfähigkeit gegenüber Eiern von *E. multilocularis*: Finnen wachsen langsam, und nur bei zehn Prozent aller Betroffenen kommt es zur Bildung von Protoskolizes.[11]

Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass die wachsenden Fuchspopulationen, die unter anderem auf die Einführung der Tollwutimpfung zurückzuführen sind, die vermehrte Besiedlung von Städten mit Füchsen[12] und andere Faktoren in Zukunft zu einer Steigerung der Inzidenz führen könnten!

Bekämpfung und Prophylaxe: Zur medikamentösen Behandlung von

Abb. 3: Fuchsbandwürmer.
Foto Institut für Parasitologie der Universität Zürich

E. multilocularis in Fuchspopulationen werden derzeit Versuche unternommen. Verschiedene Studien in der Schweiz und in Deutschland[13] haben gezeigt, dass durch solche Behandlungen das Vorkommen von *E. multilocularis* bei Füchsen stark reduziert werden kann. Zurzeit steht aber noch kein etabliertes und standardisiertes Verfahren zur Verfügung.

Zur persönlichen Vorsorge werden in Endemiegebieten besondere Vorsichtsmassnahmen beim Umgang mit potenziell infizierten Füchsen und anderen Endwirten (Hunde, Katzen) empfohlen. Hunde und Katzen (insbesondere Mäusefänger) müssen regelmässig entwurmt werden. Weiter wird empfohlen, in Bodennähe wachsende Waldfrüchte (Beeren, Pilze usw.), Fallobst sowie Gemüse, Salat, Beeren usw. aus Freilandkulturen vor dem Verzehr gründlich zu waschen oder wenn möglich sogar zu kochen. (Tiefgefrieren bei –20 °C tötet Fuchsbandwurmeier nicht ab, sie verlieren erst bei –80 °C ihre Lebensfähigkeit.) Ebenfalls schützen kann man sich durch gründliches Waschen der Hände nach Erdarbeiten (z.B. Wald-, Feld- und Gartenarbeiten).

Personen, die Kontakt mit infizierten Füchsen, Hunden oder Katzen hatten, häufig mit Füchsen umgehen (z.B. bei der Jagd, der Fallwild- und Kadaververwertung) oder einem anderen Infektionsrisiko ausgesetzt waren oder sind, können vorsorgliche Blutuntersuchungen auf Antikörper gegen *E. multilocularis* durchführen lassen. Diese haben zum Ziel, eine eventuell erfolgte Infektion mit Eiern des Fuchsbandwurmes frühzeitig zu erkennen oder auszuschliessen.[14]

2.3 Nachweismethoden von E. multilocularis in Kot- und Gewebeproben

Sandwich ELISA: Der Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA) ist ein immunologisches Nachweisverfahren, das auf einer enzymatischen Farbreaktion basiert. Mit Hilfe des ELISA können verschiedenste molekulare Substanzen (z.B. Viren, Proteine, Hormone) in einer Probe nachgewiesen werden.

Die Sandwich-ELISA-Technik verwendet zwei Antikörper, die beide hochspezifisch an den nachzuweisenden Stoff (Antigen) binden. Der erste Antikörper (coating Antikörper) wird an eine feste Phase (meist eine spezielle 96-well-Mikrotiter-Platte) gebunden. Anschliessend wird die Probe mit den nachzuweisenden Antigenen in die Vertiefungen (wells) pipettiert. Nach einer Inkubationszeit wird die Platte gewaschen, so dass alle ungebundenen Bestandteile entfernt werden. Zurück bleibt nur das an den primären Antikörper gebundene Antigen. In einem nächsten Schritt bindet der sekundäre Antikörper (detection Antikörper) an einem anderen Epitop des Antigens. Ein dritter Antikörper, an dessen Ende ein Enzym (z.B. alkalische Phosphatase) gebunden ist, wird zugegeben; er bindet am detection Antikörper.

Somit entsteht ein Antikörper-Antigen-Antikörper-Antikörper-Enzym-Komplex. Anschliessend wird ein Farbsubstrat (z.B. para-nitro phenyl phosphat (pNPP)) zugegeben. Dieses wird durch das an den detection Antikörper gebundene Enzym zum sichtbaren Farbstoff verändert. Die Stärke dieser Farbreaktion ist mittels eines Photometers messbar. Ihre Intensität ist proportional zur Antigenkonzentration in der Probe.[15]

PCR und Gelelektrophorese: Die Polymerase-Kettenreaktion (englisch Polymerase Chain Reaction, PCR) ist eine Methode, welche die Vervielfältigung eines kurzen, genau definierten DNA-Abschnittes ermöglicht. Sie zählt zu den heute meistgebrauchten Methoden in Forschungs-

Abb. 4: Fuchskot. Bild Buchverlag GmbH & Co KG, München (aus: P. Bang, P. Dahlström: Tierspuren; Fährten, Frassspuren, Losungen, Gewölle und andere, München 2005)

und Diagnoselaboratorien. Die Polymerase-Kettenreaktion, die auf dem Prinzip der natürlichen Replikation basiert, läuft in drei Schritten ab:
Denaturierung der DNA: Durch das Erhitzen der DNA auf eine Temperatur von 90 bis 100 °C werden die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den einzelnen Basen aufgebrochen und es entstehen je zwei DNA-Einzelstränge.
Hybridisierung: Das Reaktionsgemisch wird auf eine Temperatur zwischen 40 bis 65 °C abgekühlt. Die beiden Primer (kurze, synthetisch hergestellte, einzelsträngige DNA-Sequenzen von 20–30 Basen) lagern sich an der DNA an. Die Basensequenzen der Primer sind so gewählt, dass sie komplementär zu den DNA-Sequenzen passen, die den zu vermehrenden DNA-Bereich begrenzen.
Polymerisation: Bei einer Temperatur von 72 °C synthetisiert die Taq-Polymerase (rekombinante, hitzestabile DNA-Polymerase aus dem Bakterium Thermus aquaticus) die komplementären Stränge, und es entsteht DNA.
Durch mehrfaches Wiederholen dieser Reaktionsschritte (sogenannte Zyklen) wird die Zielsequenz exponentiell vervielfacht und kann anschliessend nachgewiesen werden. Dies geschieht bei der konventionellen PCR mit Hilfe der Gelelektrophorese: Die Gelelektrophorese ist ein Verfahren zur Auftrennung verschiedener DNA-Fragmente. Es beruht darauf, dass DNA entsprechend ihrer Ladung und ihrer Grösse in einem elektrischen Feld gerichtet wird und unterschiedlich schnell zum Pluspol wandert. Als Medium dient ein Gel aus einer polymerisierbaren Substanz (z.B. Agarose), das in einer Pufferlösung liegt und an das eine elektrische Spannung angelegt wird. Das Gel wirkt nun wie ein Molekularsieb, wobei grosse Moleküle langsam, kleine Moleküle hingegen schnell wandern. Die dadurch entstehenden Banden werden durch Färbung oder Markierungsverfahren sichtbar gemacht.[16]

3. Material und Methode

3.1 Feldarbeit

Während eines Monates (9. Juli bis 9. August 2005) habe ich im Raum Langenthal Fuchslosungen gesammelt. Schafs- und Schweinelebern mit krankhaften Veränderungen wurden im Zeitraum vom 27. Juni bis am

9. August im Schlachthaus Langenthal aussortiert und eingefroren. In den folgenden zwei Kapiteln ist erklärt, wie beim Sammeln der Fuchslosungen vorgegangen wurde:

Im Raum Langenthal habe ich vier je rund einen Quadratkilometer grosse Untersuchungsgebiete ausgewählt, die jeweils mindestens einen bewohnten Fuchsbau umfassten. Die verschiedenen Gebiete, deren Standorte und die Lage der Fuchsbauten sind in Abb. 5 dargestellt.

Bei den Bauten und ihrer unmittelbaren Umgebung habe ich regelmässig nach Fuchslosungen gesucht. Speziell gut habe ich nebst den Fuchsbauten Standorte abgesucht, wo nach Literaturangaben[17] und Erfahrungsberichten zufolge häufig Fuchslosungen gefunden werden: Der Fuchs benutzt seine stark riechende Losung zum Markieren seines Gebietes. Deshalb ist sie oft erhöht angebracht, beispielsweise auf einem Baumstumpf, einem Stein, einem Erdhügel oder einem Strassenrandstein, von wo sich der Duft leicht ausbreiten kann. Fuchskot liegt häufig auch an Strassen- und Waldrändern, auf frisch gemähten Wiesen, auf Feldwegen, bei Feuerstellen und unter Fruchtbäumen.

Die Losungen habe ich auf Grund folgender Kriterien als Fuchskot identifiziert: Grösse, Gestalt, typischer Geruch und Vorhandensein bestimmter Nahrungsreste, wie beispielsweise Fruchtkerne, Federn oder Haare. In der Literatur[18] wird Fuchskot folgendermassen beschrieben:

«Die Losung des Fuchses ist wurstförmig, meist 8 bis 10 cm lang und etwa 2 cm dick, in der Regel an dem einen Ende schraubenförmig zugespitzt. Manchmal fällt sie in mehreren Stücken (d.h. Kot wird in Stücken abgesetzt; Anmerkung S. Heldner), dann ist es nur das letzte Stück, das eine Spitze hat. Die Farbe wechselt zwischen Schwarz und Grau, im Spätherbst aber, wenn das Tier viele Beeren verzehrt, wird die Losung deren Farbe haben. Der Inhalt besteht aus Haaren, Federn und Knochenstücken kleiner Nager und Vögel. Im Sommerhalbjahr ist es ausserdem üblich, dass die Losung Chitinstücke von Insekten, besonders Deckflügel von Käfern, und Reste verschiedener Beeren und anderer Früchte enthält.»

Aufgrund dieser Kriterien habe ich in einer Skala von 1 (sicher) bis 3 (unsicher) angegeben, wie sicher ich war, dass es sich um Fuchskot handelte. Ebenfalls in einer Skala von 1 bis 3 wurde das Alter der Losung beurteilt. Dieses wurde aufgrund ihrer Gestalt, Feuchtigkeit (das Wetter berücksichtigend) und aufgrund von Zersetzungsanzeichen festgelegt. Der

Abb. 5: Die vier Sammelgebiete, die Fuchsbauten sowie deren Standorte. Fotos Verfasserin. Karte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071518).

1 Fuchsbau Bohärdli (627 450/230 825)
2 Fuchsbau Bruggerwald (629 500/228 875)
3 Fuchsbau Bammertswald (624 800/228 800)
4 Fuchsbau Längmoos (627 825/228 100)
5 Fuchsbau Furenwald (628 600/228 225)

Standort der gefundenen Fuchslosung wurde auf 25 m genau bestimmt. Eier von *E. multilocularis* sind ein potenzielles Infektionsrisiko. Deshalb habe ich beim Sammeln der Losungen besondere Schutzmassnahmen getroffen: Ich trug Handschuhe und verwendete spezielle Sammelröhrchen (Abb. 7 und 8). Den Fuchskot füllte ich mit Hilfe des am Deckel befestigten Löffelchens in das Sammelröhrchen. Dabei musste ich darauf achten, dass der Rand des Röhrchens nicht mit Kot kontaminiert wurde. Das Sammelröhrchen versah ich mit einem Erkennungscode und verpackte es in einen Plastiksack. Die Proben lagerte ich bei –20 °C. Ich musste sie aber vor den ersten Untersuchungen mindestens fünf Tage bei –80 °C tieffrieren, da Eier von *E. multilocularis* ihre Lebensfähigkeit erst bei dieser Temperatur vollständig verlieren.[19]

3.2 Laborarbeit

Für den Nachweis von *E. multilocularis* in Kotproben habe ich drei Nachweisverfahren miteinander kombiniert: Alle Fuchslosungen habe ich zuerst mittels des ELISA-Koproantigentests untersucht. Dieses Verfahren dient dem Nachweis von Antigenen des *E. multilocularis*. Aus den Proben, die beim ELISA-Koproantigentest positiv ausgefallen sind, habe ich durch ein Siebverfahren Taeniiden-Eier isoliert. Fuchsbandwurmeier lassen sich morphologisch nicht von Eiern der Taenia-Arten (Familie: Taeniidae, Gattung: Taenia) unterscheiden. Aus diesem Grund wurden Proben, in denen Taeniiden-Eier aufgefunden worden sind, mittels der Polymerase-Kettenreaktion weiteruntersucht.
Abb. 6 zeigt eine Übersicht der durchgeführten Tests zum Nachweis von *E. multilocularis* in Kotproben.

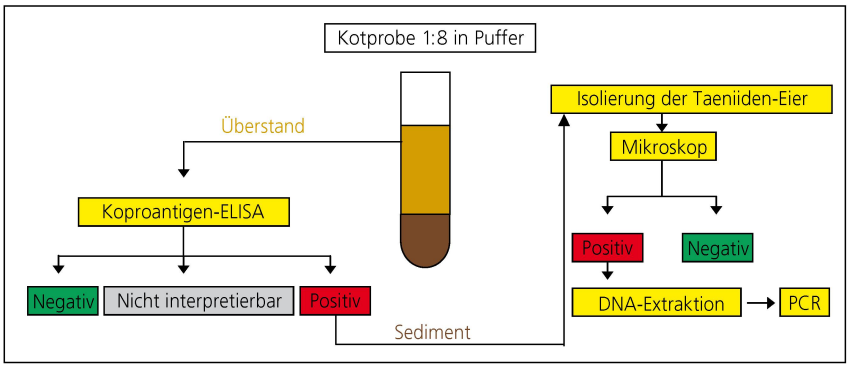


Abb. 6: Kombination der verschiedenen Nachweismethoden für *E. multilocularis* in Kotproben (Schema Verfasserin; nach Alexander Mathys, Peter Deplazes [2002], vgl. Literaturverzeichnis Nr. 14)

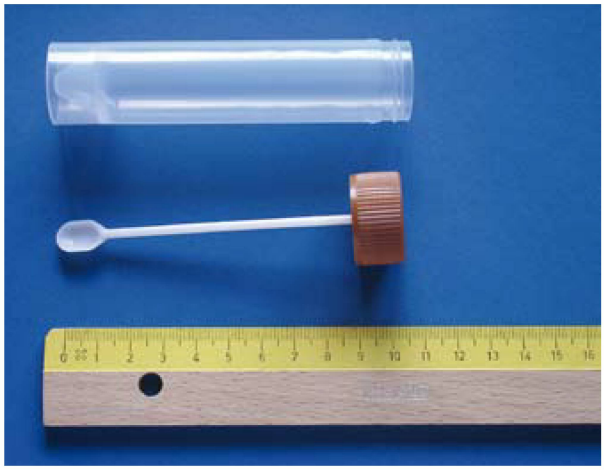


Abb. 7 und 8: Sammelröhrchen (links), Einsammeln der Losung. Fotos Verfasserin

Da Schafe und Schweine Fehlwirte von *E. multilocularis* sein könnten, habe ich verdächtige Leberzysten herausgeschnitten und anschliessend mittels der PCR untersucht.
Alle Untersuchungen wurden nach Protokollen des Instituts für Parasitologie der Universität Zürich durchgeführt.

4. Resultate

4.1 Fuchslosungen

Insgesamt habe ich in den vier Untersuchungsgebieten 92 Fuchslosungen gesammelt: Mit Abstand am meisten Losungen fand ich in den Gebieten Obersteckholz (49) und Melchnaustrasse (35). Im Gebiet St. Urbanstrasse fand ich sieben Kotproben, im Schoren trotz langer Suche nur eine.
In 28 der 92 Losungen (30,4%) konnte ich mittels des ELISA-Koproantigentests Antigene von *E. multilocularis* nachweisen. 47 Proben fielen negativ aus, 17 waren nicht interpretierbar.
Die positiven Koproantigennachweise beschränkten sich auf die drei Gebiete Melchnaustrasse (28,6%), Obersteckholz (24,5%) und St. Urbanstrasse (85,7%).
Abb. 9 zeigt die prozentualen Anteile positiver Losungen in den einzelnen Gebieten sowie die 95-Prozent-Konfidenzintervalle. Ein 95-Prozent-

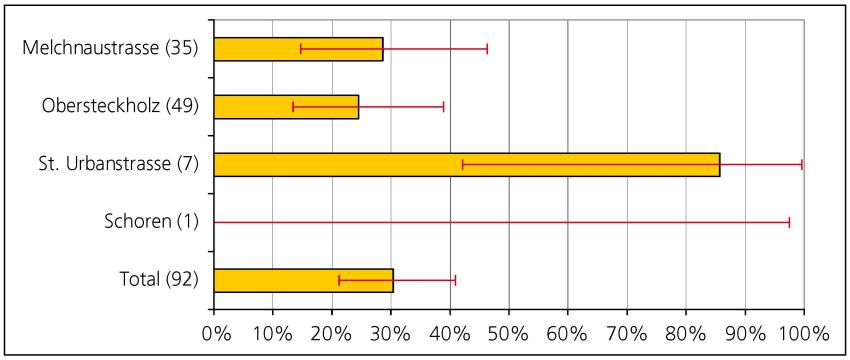


Abb. 9: Prozentuale Häufigkeit und 95%-Konfidenzintervalle von *E. multilocularis* in Fuchslosungen im Koproantigen-ELISA-Test; in Klammer ist die Anzahl der untersuchten Fuchslosungen aufgeführt

Konfidenzintervall gibt den Bereich an, in dem der wahre Messwert, der sich theoretisch nur durch die Untersuchung aller vorhandenen Proben ermitteln liesse, mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent liegt.
Aus 16 der 28 Proben, die beim ELISA-Koproantigentest positiv ausgefallen sind, konnte ich Taeniiden-Eier isolieren. In 13 dieser Proben konnte ich die aufgefundenen Taeniiden-Eier mittels der PCR als *E. multilocularis*-Eier identifizieren. Zwei Proben waren negativ, eine blieb trotz Wiederholung des PCR-Nachweisverfahrens nicht interpretierbar (Abb. 10).
Die detaillierten Zahlen, Daten und Resultate sind in der Tab. 1 aufgelistet. Die Standorte der gefundenen Fuchslosungen sowie deren genaue Untersuchungsresultate sind in der Abb. 11 auf Seite 167 dargestellt. Tab. 2 auf Seite 165 zeigt die Einteilung der gefundenen Fuchslosungen in drei Risikozonen.

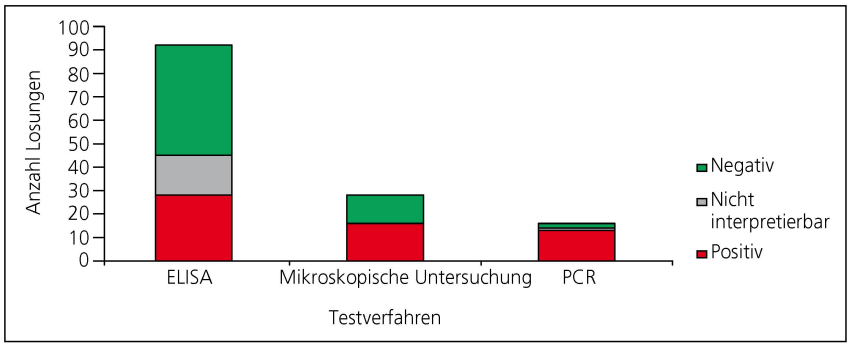


Abb. 10: Anzahl Fuchslosungen, die in den drei Testverfahren ein positives, ein negatives oder ein nicht interpretierbares Testergebnis ergaben. Nur Koproantigen-ELISA-positive Fuchslosungen wurden auf Taeniiden-Eier untersucht. Die gefundenen Taeniiden-Eier wurden zusätzlich mit einer PCR getestet.

4.2 Schweine- und Schafslebern:
Insgesamt wurden in der Zeitspanne vom 27. Juni bis am 9. August 2005 im Schlachthaus Langenthal 315 Schweine und 157 Schafe geschlachtet.
Aus fünf von zehn Schweinelebern und aus zwei von drei Schafslebern mit krankhaften Veränderungen habe ich verdächtige Zysten herausgeschnitten und mittels PCR untersucht. Sowohl in den verdächtigen Schweine- als auch in den verdächtigen Schafsleberzysten konnte ich aber keine *E. multilocularis*-DNA nachweisen.

5. Diskussion

5.1 Fuchslosungen
28 der 92 untersuchten Fuchslosungen sind im Koproantigen-ELISA-Test positiv, 47 negativ ausgefallen. 17 der 92 untersuchten Kotproben waren im Koproantigen-ELISA-Test nicht interpretierbar: Eine Probe gilt als nicht interpretierbar, wenn die nachgewiesene unspezifische Antigen-

Tabelle 1: Gebiete mit deren Untersuchungsresultaten in Zahlen; in Klammer ist die Anzahl untersuchter Fuchslosungen aufgeführt

Gebiet	ELISA (92)			Mik. Untersuchung (28)		PCR (16)		
	pos.	neg.	n.i.	pos.	neg.	pos.	neg.	n.i.
Melchnaustrasse (35)								
– Fuchsbau Furenwald (20)	3	8	9	2	1	2	0	0
– Fuchsbau Längmoos (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
– Sonst (15)	7	7	1	3	4	3	0	0
Obersteckholz (49)								
– Fuchsbau Bruggerwald (10)	1	7	2	0	1	0	0	0
– Sonst (39)	11	24	4	5	6	2	2	1
Schoren (1)								
– Fuchsbau Bammertswald (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
– Sonst (1)	0	1	0	0	0	0	0	0
St. Urbanstrasse (7)								
– Fuchsbau Bohärdli (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
– Sonst (7)	6	0	1	6	0	6	0	0
Total (92)	28	47	17	16	12	13	2	1

konzentration mehr als einen Drittel der nachgewiesenen spezifischen Antigenkonzentration beträgt. In der Probe im Kontrollstreifen (Ktr) könnte eine Reaktion zwischen den *E. multilocularis* unspezifischen Antikörpern und bestimmten in der Kotprobe enthaltenen Stoffen (Antigenen) stattgefunden haben. Gleichzeitig wäre es aber auch möglich, dass sich in der Testprobe eine Reaktion zwischen den spezifischen Antikörpern und den in der Probe enthaltenen Antigenen von *E. multilocularis* ereignet hätte.

In der vorliegenden Arbeit konnte ich folgende interessante Korrelation zwischen Alter der Losung und Interpretierbarkeit beim Koproantigen-ELISA-Test feststellen: Bei allen nicht interpretierbaren Proben handelte es sich ausschliesslich um Losungen, deren relatives Alter beim Sammelzeitpunkt als «nicht mehr frisch» oder «alt» beurteilt wurde.

Ähnliche Beobachtungen wurden auch am Institut für Parasitologie der Universität Zürich gemacht. Vermehrtes Bakterien- und Pilzwachstum sowie auch gewisse Enzymaktivitäten und andere Veränderungen in den alternden Losungen können dafür verantwortlich sein, dass diese im Koproantigentest nicht mehr interpretierbar sind. 11 dieser 17 nicht interpretierbaren Losungen fand ich bei den Fuchsbauten «Furenwald» und «Bruggerwald». Insgesamt führten also 11 von 30 (36,7%) Losungen, die in unmittelbarer Nähe von Fuchsbauten gefunden wurden, zu einem nicht interpretierbaren Resultat. Es ist anzunehmen, dass die Losungen, die ich bei diesen zwei Bauten fand, vorwiegend von Jungfüchsen stammten, die sich noch oft in der Nähe des Baus aufhielten. Durchaus denkbar wäre es, dass in diesem speziellen Fall nebst dem Alter der Kotprobe auch die andere Ernährungsweise der Jungfüchse zu einem nicht interpretierbaren Ergebnis geführt haben.

Nicht aus allen Proben, die im ELISA-Test positiv waren, konnte ich Taeniiden-Eier isolieren. Dies könnte verschiedene biologische, aber auch verfahrenstechnische Gründe haben:

Der Fuchs, in dessen Kot keine Taeniiden-Eier aufgefunden wurden, hatte sich erst kürzlich mit *E. multilocularis* infiziert. Die Fuchsbandwürmer, die in seinem Dünndarm heranwuchsen, waren noch nicht geschlechtsreif und konnten noch keine Eier ausscheiden. Antigene von *E. multilocularis* waren im Kot des Fuchses aber bereits nachweisbar.

Der Endwirt war schon seit längerer Zeit mit *E. multilocularis* infiziert: Die Fuchsbandwürmer in seinem Dünndarm konnten bereits keine Eier

Tabelle 2: Risikozonen (A, B, C) und dort gefundene Fuchslosungen

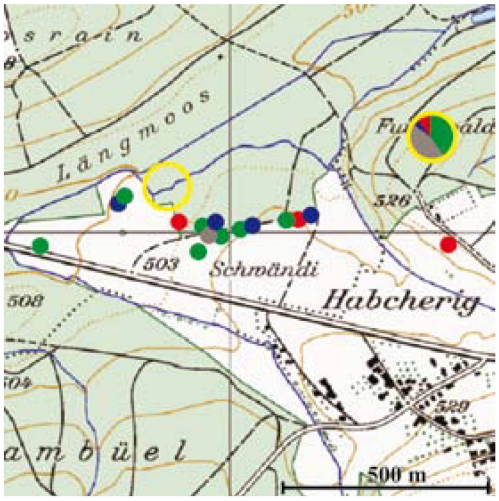
Gebiet	Zone	Fuchslosungen Total	ELISA positiv	– ELISA positiv – Taeniiden-Eier	– ELISA positiv – Taeniiden-Eier – PCR positiv
Melchnau-strasse	A	1	1	1	1
	B	14	6	2	2
	C	20	3	2	2
Obersteck-holz	A	23	9	5	2
	B	16	2	0	0
	C	10	1	0	0
Schoren	A	0	0	0	0
	B	1	0	0	0
	C	0	0	0	0
St. Urban-strasse	A	0	0	0	0
	B	7	6	6	6
	C	0	0	0	0
Total	A	24	10	6	3
	B	38	14	8	8
	C	30	4	2	2

Zone A: Zone, in der Menschen leicht und öfters in Kontakt mit infektiösen Eiern von *E. multilocularis* kommen könnten: Im Umkreis von ca. 50 m eines Wohn- oder Arbeitsgebäudes, bei öffentlichen Gebäuden und Plätzen, in unmittelbarer Nähe einer Feuerstelle oder eines Kinderspielplatzes (Sandkästen!), bei Fruchtbäumen und Freilandkulturen.

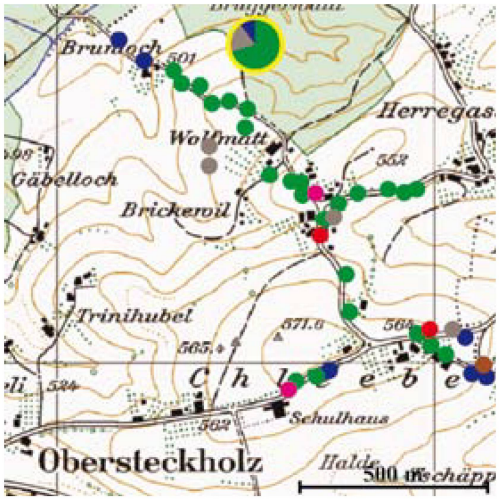
Zone B: Zone, die für Menschen gut zugänglich ist und in der diese ihre Freizeit verbringen können: Feld- und Waldwege, Gewässer, Felder etc. Vor allem Hunde, die in Kontakt mit infektiösen Eiern kommen und diese verschleppen, können das Infektionsrisiko für Menschen erhöhen.

Zone C: Zone, die für Menschen und auch für Hunde nicht gut oder schwer zugänglich ist (z.B. nicht erschlossener Waldabschnitt).

mehr produzieren und waren am Absterben. Antigene waren aber im Kot des Wirtes noch nachweisbar.
Im Kot vorhandene Taeniiden-Eier konnten mit dem Siebverfahren nicht isoliert werden; sie wurden beispielsweise ausgewaschen oder nicht vom Sieb gelöst, da der Wasserstrahl zu schwach war.
In 14,1 Prozent der gesammelten Losungen konnte Fuchsbandwurm-DNA, die aus den Taeniiden-Eiern extrahiert wurde, nachgewiesen werden. 13 der 92 Fuchslosungen beinhalteten also zum Sammelzeitpunkt potenziell infektiöse Fuchsbandwurmeier.
In zwei der untersuchten Proben konnte keine Fuchsbandwurm-DNA nachgewiesen werden. Bei den aufgefundenen Taeniiden-Eiern handelte es sich also entweder nicht um Eier von *E. multilocularis* oder es gelang nicht, diese in die PCR-Röhrchen zu transferieren.
Fuchslosungen mit potenziell infektiösen Eiern fand ich in den drei Gebieten Melchnaustrasse, St. Urbanstrasse und Obersteckholz. Die beiden Gebiete Melchnaustrasse und St. Urbanstrasse sind Naherholungsgebiete der Stadt Langenthal, die sowohl Wald als auch Weiden, Felder und Wiesen umfassen. Täglich werden diese Gebiete von jungen und älteren Menschen für sportliche Freizeitaktivitäten wie Jogging, Fahrradfahren und Spazieren (mit dem Hund) genutzt.
Im Unterschied zu diesen beiden Gebieten beinhaltet das Untersuchungsgebiet Obersteckholz nebst Wald- und Landwirtschaftsflächen auch Wohnzonen. Knapp die Hälfte aller gefundenen Kotproben (46,9%; 23/49) in diesem Gebiet war in die Risikozone A einzuteilen: Fuchslosungen fand ich dort teilweise in unmittelbarer Nähe von Wohngebäuden, Bauernhöfen und öffentlichen Plätzen (Schule Obersteckholz). In diesem Gebiet scheinen Füchse ganz klar regelmässig in Siedlungsgebiete vorzudringen. Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass alle Fuchslosungen im Siedlungsraum, aber auch in Naherholungsgebieten (Risikozone B), ein potenzielles Risiko darstellen.
Fuchslosungen, die in der Risikozone C abgesetzt werden, ist hingegen keine grosse Bedeutung beizumessen.
In Schoren, dem vierten Untersuchungsgebiet, konnte ich *E. multilocularis* nicht nachweisen. Dies bedeutet aber nicht, dass der Schoren ein fuchsbandwurmfreies Gebiet ist: Trotz langer Suche konnte ich nur eine Fuchslosung finden. Somit ist klar, dass dieses Resultat nicht aussagekräftig ist.



Melchnaustrasse



Obersteckholz

Schoren

St. Urbanstrasse

Abb. 11: Diese Abbildung zeigt die genauen Resultate der einzelnen Losungen und deren Standorte in den vier Untersuchungsgebieten. Die Losungen bei den Bauten sind nicht einzeln eingezeichnet, sondern prozentual angegeben. Karte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071518)

Testresultate der Fuchslosungen: ● ELISA negativ; ● ELISA nicht interpretierbar; ● ELISA positiv, keine Taeniiden-Eier; ● ELISA positiv, Taeniiden-Eier, PCR positiv; ● ELISA positiv, Taeniiden-Eier, PCR negativ; ● ELISA positiv, Taeniiden-Eier, PCR nicht interpretierbar; ○ Fuchsbau

In weiterführenden Arbeiten wäre es interessant, die Korrelation zwischen Jungfuchslosungen und Nichtinterpretierbarkeit beim Koproantigen-ELISA-Test weiter zu überprüfen. Falls sich zeigen würde, dass sich der ELISA-Test für Jungfuchslosungen nicht eignet, könnten diese direkt mittels PCR auf *E. multilocularis*-DNA untersucht werden.
Ebenfalls interessant wäre es, in zukünftigen Arbeiten Fuchslosungen über eine längere Zeitspanne zu sammeln, so dass auch Aussagen zu saisonalen Schwankungen des Vorkommens von *E. multilocularis* in Kotproben gemacht werden könnten. In einer Studie im Raum Zürich[20] wurde beispielsweise die interessante Feststellung gemacht, dass Fuchslosungen, die im Winter gesammelt wurden, prozentual mehr Koproantigen-ELISA-positive Resultate zu verzeichnen hatten als solche, die während den übrigen Jahreszeiten gesammelt wurden.
Um genauere Angaben zum Vorkommen von *E. multilocularis* bei Füchsen machen zu können, wäre eine engere Zusammenarbeit mit dem Wildhüter erforderlich: Die Populationsgrösse in den Untersuchungsgebieten müsste bekannt sein, und es müsste auch verhindert werden, dass mehrere Losungen, die vom selben Fuchs stammen, gesammelt werden. Theoretisch wäre es auch möglich, Fuchslosungen verschiedener Füchse nachträglich mittels eines DNA-Fingerprints voneinander zu unterscheiden. Voraussetzung wäre aber sicher eine aufwändige Methodenevaluation. Wahrscheinlich wäre man bei dieser aufwändigen und teuren Methode auch auf frische Losungen angewiesen. Viel einfacher liesse sich das Vorkommen von *E. multilocularis* durch die Untersuchung des Darminhaltes erlegter oder tot aufgefundener Füchse ermitteln.[21]
Am meisten Sinn macht aber weiterhin sicher die Bestimmung der Anzahl positiver Fuchslosungen und deren Standorte. Diese Losungen stellen infektiöse Einheiten dar und sind aus epidemiologischer Sichtweise von grösserer Bedeutung als die Anzahl infizierter Füchse.

5.2 Schweine- und Schafslebern

Die Schweinelebern stammten vorwiegend von Mastschweinen der näheren Umgebung Langenthals, die nach einer Lebensdauer von nur vier bis fünf Monaten geschlachtet wurden. Grösstenteils wurden diese Mastschweine nicht im Freien gehalten. Diese Schweine hätten sich also praktisch nur durch Futter, das mit Fuchsbandwurmeiern kontaminiert

war, infizieren können. Das Futter wird aber oft unter hohen Temperaturen aufbereitet, was zum Absterben der infektiösen Eier führt.
Somit hätte nur unaufbereitetes, mit Eiern von *E. multilocularis* kontaminiertes Futter als Infektionsquelle dienen können. Zudem war die Zeitspanne, in der eine Infektion hätte erfolgen können, durch die gegebene Lebensdauer ziemlich gering gehalten. Unter diesen Umständen war und ist eine Infektion mit *E. multilocularis* eher unwahrscheinlich.
Schafe werden in der Literatur[22] nicht als Fehlwirte des Fuchsbandwurmes erwähnt; Untersuchungen und Studien fehlen jedoch.
In zukünftigen Arbeiten wäre es sicher sinnvoll und interessant, Leberzysten von Freilandschweinen und Schafen, die aus einem Gebiet mit infizierten Füchsen stammen, auf *E. multilocularis* zu untersuchen.

6. Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen meiner Maturaarbeit haben gezeigt, dass Füchse in der Region Langenthal Endwirte des Fuchsbandwurmes sind und dass sie in ihrem Kot potenziell infektiöse Eier von *E. multilocularis* ausscheiden. Fuchslosungen mit potenziell infektiösen Eiern fand ich teilweise auch in Gebieten, in denen sich Menschen regelmässig aufhalten (Naherholungsgebiete, Feuerstellen, Wohnzonen).
Diese Resultate zeigen, dass die Gefahr, die von Füchsen im Raum Langenthal ausgeht, nicht unterschätzt werden darf. Es scheint mir aber auch wichtig, dass keine Panik gemacht wird: Die Alveoläre Echinococcose ist zwar eine sehr schwere, glücklicherweise aber auch eine sehr seltene Erkrankung. Dennoch ist es sicher sinnvoll und empfehlenswert, gewisse Vorsichts- und Schutzmassnahmen zu treffen (vgl. Kapitel 2.2).
Im Grenzraum zwischen urbaner und ländlicher Zone (also beispielsweise in Naherholungsbieten) gelangen am meisten infektiöse Eier in die Umwelt: Hohe Fuchsdichten überschneiden sich mit geeigneten Habitaten für Zwischenwirte. Bei stark ansteigendem Infektionsrisiko und steigenden Infektionsraten müssten verschiedene Massnahmen in Erwägung gezogen werden:[23]
Eine grossflächige und anhaltende Eliminierung des Parasiten durch eine kostspielige und aufwändige, medikamentöse Behandlung der Füchse mit Antihelminthika (z.B. Praziquantel) wäre nur schwer durchführbar.

Womöglich liesse sich aber der Infektionsdruck in einem begrenzten Gebiet mit stark erhöhtem Risiko gezielt verringern.
Auch eine Dezimierung der Fuchsbestände durch die Jagd und im Rahmen der geltenden Tierschutzgesetzgebung wäre kaum möglich. Jagdliche Eingriffe liessen sich im Siedlungsraum nur schwer verwirklichen und würden sicher kaum auf Akzeptanz stossen: Trotz Fuchsbandwurm wird die Nachbarschaft von Füchsen im Siedlungsraum und auch in Naherholungsgebieten oft als sehr positiv wahrgenommen.
Eine Dezimierung der Zwischenwirte (Nager) wäre sehr schwer realisierbar.
Besonders wichtig ist es sicher, die Situation zu überwachen und mögliche Massnahmen rechtzeitig zu prüfen, so dass diese bei einem signifikanten Anstieg der Infektionsraten sofort und gezielt getroffen werden könnten.

Literatur

1 P. Bang, P. Dahlström (1977, 3. Auflage): Tierspuren – Tiere erkennen an Fährten, Frasszeichen, Bauten und Nestern (München) BLV Verlagsgesellschaft GmbH.
2 P. Bang, P. Dahlström (2005, 2. durchgesehene Auflage): Tierspuren; Fährten, Frassspuren, Losungen, Gewölle und andere (München) BLV Buchverlag GmbH & Co. KG.
3 Neil A. Campell, Jane B. Reece (2003, 6. Auflage): Biologie (Heidelberg/Berlin) Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
4 Peter Deplazes, Peter Alther, Isabelle Tanner, R. C. Andrew Thomson, Johannes Eckert (Vol. 85. No. 1, February 1999): Echinococcus multilocularis coproantigen detection by enzyme-linked immunosorbent assay in fox, dog, and cat populations, The journal of parasitology, p. 115–121.
5 Peter Deplazes, Daniel Hegglin, Sandra Gloor, Thomas Roming (Vol. 20 No. 2, February 2004): Wilderness in the city: the urbanization of Echinococcus multilocularis, TRENDS in Parasitology, p. 77–84.
6 Peter Deplazes, Daniel Hegglin (März 2004): Der Fuchsbandwurm im urbanen Raum, BVET- Magazin, S. 12–14.
7 J. Eckert, P. Deplazes (März 1997): Der gefährliche Fuchsbandwurm, Wildbiologie, S. 1–12.
8 Johannes Eckert, Peter Deplazes (January 2004): Biological, Epidemiological, and Clinical Aspects of Echinococcosis, a Zoonosis of Increasing Concern, clinical microbiology reviews, p. 107–135.
9 Roland Frank, Ulrich Sommermann, Gerhart Ströhla (1997): Natura; Genetik und Immunologie (Stuttgart) Ernst Klett Verlag GmbH.

10 Daniel Hegglin, Peter Deplazes (März 2004): Der kleine Fuchsbandwurm im Siedlungsraum, Wildbiologie, S. 1–12.
11 H. Hof, R. L. Müller, R. Dörries (2000): Mikrobiologie (Stuttgart) George Thieme Verlag.
12 Ifik (2001): Echinococcus granulosus/E. multilocularis (Cestoda, Helmintha) (Bern) Ifik.
13 Fritz H. Kayser, Kurt A. Bienz, Johannes Eckert, Rolf M. Zinknagel (2001, 10. überarbeitete Auflage): Medizinische Mikrobiologie; Verstehen–Lernen–Nachschlagen (Stuttgart) George Thieme Verlag.
14 Alexander Mathis, Peter Deplazes (2002): Role of PCR-DNA detection of Echinococcus multilocularis, NATO Sciences Series: Life and Behavioural Sciences, p. 195–204.
15 C. Stieger, D. Hegglin, G. Schwarzenbach, A. Mathis, P. Deplazes (2002): Spatial and temporal aspects of urban transmission of Echinococcus multilocularis, Parasitology, p. 631–640.
16 Ulrich Weber (2001): Biologie Oberstufe; Gesamtband (Berlin) Cornelsen Verlag.
17 Merk- und Informationsblätter des Instituts für Parasitologie der Universität Zürich.
18 Promega (2005): Life Science Catalog.
19 Microsoft Encarta 2002.
20 http://gis.swissinfo.org (1.10.2005).
21 http://de.wikipedia.org/wiki/ELISA (1.10.2005).
22 Selbst erstellte Fotos und Darstellungen.

Anmerkungen

1 Literatur Nr. 8.
2 wie Anm. 1.
3 Literatur Nr. 8, 13.
4 Literatur Nr. 13, S. 599.
5 wie Anm. 1.
6 wie Anm. 3.
7 wie Anm. 3.
8 wie Anm. 1.
9 Literatur Nr. 17.
10 wie Anm. 1.
11 Literatur Nr. 13.
12 Literatur Nr. 5, 6, 10.
13 Literatur Nr. 5.
14 Literatur Nr. 8, 17.
15 Literatur 18, 21.
16 Literatur 3, 9, 16.
17 Literatur 1, 2.

18 Literatur 2, S. 187.
19 wie Anm. 1.
20 Literatur Nr. 15.
21 wie Anm. 1.
22 wie Anm. 3.
23 Literatur Nr. 5, 8, 10.