

2 Literaturübersicht

2.1 Wirtsorganismus Rotfuchs (*Vulpes vulpes*)

2.1.1 Biologie und Ökologie

Der Fuchs gehört zur Klasse der Säugetiere (Mammalia), Ordnung Fleischfresser (Carnivora), Familie Hundartige (Canidae) und Gattung *Vulpes*.

Zur Gattung *Vulpes* gehören zehn Arten:

- Rotfuchs (*Vulpes vulpes* Linné 1758) mit 40 nicht gesicherten Unterarten
- Kit- oder Swiftfuchs - Nordamerika (*Vulpes velox*)
- Kap- oder Silberrückenfuchs - Südwesten Afrikas (*Vulpes chama*)
- Rüppellfuchs- Nordafrika, arabische Halbinsel (*Vulpes rueppelli*)
- Sand-oder Blassfuchs - Halbwüste, Steppe und Savanne (*Vulpes pallida*)
- Korsakfuchs (*Vulpes corsac*)
- Afghan- oder Canafuchs - Iran, Afghanistan, Pakistan, Russland (*Vulpes cana*)
- Bengalfuchs - südlich des Himalaja, Nepal, Indien und Bangladesch (*Vulpes bengalensis*)
- Tibetfuchs - Hochflächen von Nepal, Tibet bis zur Mongolei (*Vulpes ferrilata*)
- Fennek- oder Wüstenfuchs (*Vulpes zerda*)

Der Eis- oder Polarfuchs (*Alopex lagopus*) gehört einer eigenen Gattung an, da sich seine Merkmale von den echten Füchsen unterscheiden (LLOYD, 1980; LABHARDT, 1990).

Der Rotfuchs besitzt die für diese Gattung typischen Merkmale der Hundartigen: einen stark verlängerten Gesichtsschädel, große und sehr bewegliche, stehende Ohrmuscheln, ein Allesfressergebiss, einen langen, buschigen Schwanz und relativ stumpfe, unbewegliche Krallen. Die Kopfform ist schmal, spitz, mit einer flachen Stirn und kann um 180° gedreht werden. Das wendige, kleinwüchsige Raubtier ist kurzfristig zu hohem Tempo, bis zu 65km pro Stunde, befähigt (LLOYD, 1980; LABHARDT, 1990).

Erstaunlich ist bei den Körpermerkmalen, dass die Länge des Schwanzes 70% der Länge von Kopf und Körper beträgt.

Füchse sind 60-77cm lang (NÜßLEIN, 1971; LLOYD, 1980), wobei die Länge des Schwanzes 32-48cm und die Länge des Kopfes 17,6–18,1cm beträgt. Die Schulterhöhe beträgt 34,9–38,1cm. Die Angaben variieren je nach Region und Geschlecht erheblich (LABHARDT, 1990).

In der Körpermasse gibt es jahreszeitliche und regionale Schwankungen. LLOYD (1980) stellte bei Füchsen in Schottland, Wales und England Schwankungen zwischen 4500–7600g fest, wobei männliche Tiere schwerer sind als weibliche Tiere. LAB-

HARDT (1990) und STUBBE (1988) berichten über Durchschnittswerte bei den mitteleuropäischen Füchsen von 5500–6600g beziehungsweise 5930–7080g. NÜßLEIN (1971) hat ein durchschnittliches Gewicht von 6-10kg festgestellt.

Das Fell ist meistens rot-braun bis orange-braun mit grau-weißem Unterfell (STUBBE, 1988; LABHARDT, 1990).

Die Fellfärbung variiert stark je nach Jahreszeit und Alter, so dass sich im Laufe der Zeit Namen für verschiedene Farbnuancen, wie zum Beispiel „Birkfuchs“, „Brand“- oder „Kohlfuchs“ und „Kreuzfuchs“ eingebürgert haben.

Altfüchse besitzen eine „fuchsrote“ Färbung mit weißen Grannenhaaren. Die Kopfunterseite, Halsunterseite und Rumpfunterseite sind hellweiß. Die Vorderseiten der Läufe und die Außenseiten der Ohren sind schwarz. Das Sommerhaarkleid ist kurz und struppig, das Winterhaarkleid lang, glatt und dicht (NÜßLEIN, 1971).

Der Fellwechsel findet laut LABHARDT (1990) zweimal im Jahr statt: einmal beginnend im April bis September und im Oktober. Von Dezember bis März sind die Haarfollikel völlig inaktiv. STUBBE (1988) hingegen ist der Meinung, dass ein Fellwechsel jährlich nur einmal (April/Mai) stattfindet.

Füchse sind vorwiegend dämmerungs- und nachtaktive Tiere. Sie suchen in der Dämmerung nach Beute und durchstreifen ihr Revier, das sie vor fremden Artgenossen verteidigen (ZIMEN, 1987).

Tagsüber wird eine Aktivität nur während der Ranzzeit, bei der Welpenaufzucht und bei einer hohen Populationsdichte beobachtet (STUBBE, 1965; LABHARDT, 1990).

Zu den natürlichen Feinden des Fuchses gehören in Eurasien Wolf, Vielfrass, Luchs, Steinadler und wildernde Hunde. Wildkatze, Dachs und Großeulen werden hin und wieder als Feinde, insbesondere der Jungfüchse, genannt (MATEJKA et al., 1977; STUBBE, 1988).

Fuchs und Dachs benutzen häufig einen gemeinsamen Bau, aber sie können auch gegenseitig ihre Jungen verjagen und töten (LABHARDT, 1990).

2.1.2 Der Lebensraum des Rotfuchses

Der Lebensraum des Rotfuchses erstreckt sich über die gesamte nördliche Halbkugel; im Norden bis an die polare Grenze, im Süden bis Nordafrika und dem Australischen Kontinent (ZIMEN, 1987; LABHARDT, 1990). Er kommt nicht auf Island, Kreta und den Balearen vor. Sein Lebensraum kann sich bis zu einer Höhe von 2500m, im Sommer sogar bis 3500m erstrecken (STUBBE, 1980b; CAPT und STALDER, 1990).

Dieses Raubtier besitzt soziale Unabhängigkeit, eine sehr hohe Anpassungsfähigkeit bezüglich räumlichem Verhalten, Sozialverhalten und Populationsdynamik und „ist viel-

leicht deswegen als geheimer Eroberer unserer Kulturlandschaft so erfolgreich“ (ZIMEN, 1987; LABHARDT, 1990). Der Rotfuchs erwies sich in der Vergangenheit als günstiges Forschungsobjekt, da er standorttreu ist und sich relativ kleinräumig fortbewegt (LABHARDT, 1990). „Trotz eines rasanten Tempos der Umweltveränderungen finden sich in der Kulturlandschaft Mitteleuropas optimale Lebensbedingungen für dieses erstaunliche Lebewesen“ (GORETZKI, 1998).

Der Rotfuchs hat, trotz jahrelanger starker Verfolgung durch den Menschen, eine flächendeckende Verbreitung gefunden. Gründe für sein Überleben sind: ein kleiner Körperbau, seine einzelgängerische Lebensweise, sein Misstrauen, die Ausrottung der natürlichen Feinde beziehungsweise Konkurrenten, das Verbot von Fallen und Giften (ZIMEN, 1987).

„Der Lebensbezirk des Fuchses ist der Raum, in dem sich der Fuchs über längere Zeitspannen oder während des Ablaufs seines gesamten Lebens aufhält. Er kann ein oder mehrere Beutereviere enthalten, die der Fuchs abwechselnd oder gleichzeitig bejagt. Aus dem Nahrungsbedarf des Fuchses wird die Größe des Beutereviere gefolgert, aus der Größe der Beutereviere und der Wilddichte wiederum die Größe des Lebensbezirkes. Die Form und Lage des Lebensbezirkes und der Beutereviere ist durch die Bodenverhältnisse (Anlage der Baue) und die Landschaft (Baufeld und Nahrungsobjekte) weitgehend beeinflusst. Eine Trennung von Bau (Baufeld) und Beuterevier kann vielfach als sicher angenommen werden“ (STUBBE, 1988).

Rotfuchs und Marderhund sind die einzigen Vertreter aus der Familie der Canidae (Hundeartige), die bei uns in der Wildnis leben (BERBERICH, 1989). Der Fuchs bevorzugt Gebiete, in denen größere Wälder mit Feld- und Wiesenpartien aneinandergrenzen (NÜßLEIN, 1971). GORETZKI und PAUSTIAN (1982) stellten fest, dass sich 75% der Wurfbaue in offener Landschaft befanden und zu 69% Ein- oder Zweiröhrenbaue waren.

Die Lage und Nutzung der Baue hängt vom geologischen Untergrund ab. Der Aufenthalt im Bau ist für den Fuchs nur für die Aufzucht der Welpen in den ersten Lebenswochen obligatorisch (ZIMEN, 1987; WEBER, 1990). Rotfüchse besitzen eine hohe Flexibilität in der Auswahl ihrer Wurforte. Sie nisten sich mit Vorliebe in geräumigen Dachsbauen ein und benutzen diese zur Welpenaufzucht gemeinsam (LABHARDT, 1990).

Mit veränderten Umweltbedingungen kann auch die Bedeutung der Baue wechseln und sich dem ökologischen Optimum nähern oder entfernen (BEHRENDT, 1955).

Baue werden im Jahresverlauf unregelmäßig bewohnt, aber das ganze Jahr über markiert. Im Januar sind es sogenannte „Ranzbaue“, im März werden diese von trächtigen Fähen besetzt, im April-Mai für die Welpenaufzucht benutzt. Es gibt Hauptbaue, sogenannte „Mutterbaue“, und Nebenbaue. Im Sommer stehen diese leer. Im Herbst wer-

den die Baue von ansässigen Füchsen besonders markiert, damit auswandernde Artgenossen diese nicht besetzen. Ein Wohnbau endet an der tiefsten Stelle in einem Kessel, zu dem mehrere Röhren hinführen (NÜßLEIN, 1971). Ein Bauwechsel erfolgt bei Gefahr durch Hunde oder Menschen, häufig auch mit einer Zunahme des Ektoparasitenbefalls (STUBBE, 1988).

2.1.3 Die Nahrungsauswahl des Rotfuchses

Erkenntnisse zu den Ernährungsgewohnheiten des Nahrungsopportunisten Rotfuchses konnten nach genauem Studium der Mageninhalte toter Tiere, der Analyse von Losungen und der Untersuchung übriggebliebener Fraßreste (Knochenfunde) in der Umgebung der Baue gewonnen werden.

Der Rotfuchs nutzt die Nahrung nach der jeweiligen Verfügbarkeit bestimmter Komponenten und ist als ausgeprägter Generalist einzustufen (MATEJKA et al., 1977). Lange Jahre wurden zum Beispiel Insekten und Regenwürmer als wichtige Nahrungsquelle außer Acht gelassen.

In diesem Kapitel soll ein kleiner Überblick über die Fressgewohnheiten und das Beutespektrum des Fuchses gegeben werden. Er ist ein Allesfresser, wenn auch die tierische Nahrungskomponente (frisches Fleisch) überwiegt und allen anderen Nahrungsquellen vorgezogen wird (STUBBE, 1988). LUTZ (1978) hingegen beschrieb den Fuchs als Omnivoren, der notfalls ohne Mäusefang auskommen könnte.

Durch die Nutzung eines breiten Nahrungsspektrums bieten sich dem Fuchs gewisse Vorteile:

- geringe Hungersterblichkeit
- weite Verbreitung
- geringer Raumanpruch

Füchse verhalten sich bei der Futtersuche ökonomisch, das heißt, sie fressen das, was mit geringstem Energieaufwand in großen Mengen erreichbar ist (MACDONALD, 1977; STUBBE, 1988; LABHARDT, 1990).

Für die Attraktivität eines Beutetieres spielen mehrere Faktoren eine Rolle: Häufigkeit und Vorkommen, Verfügbarkeit, Erbeutbarkeit, Größe und Nährwert der Beute und das Verhalten gegenüber dem Raubtier.

Der Speiseplan

Die Nahrung des Fuchses ist sehr variabel, und es besteht eine saisonal bedingte Nahrungsauswahl (LLOYD, 1980).

Gefressen werden Insekten (von April bis September), Schnecken und Würmer. Das Vorkommen und Jagen von Regenwürmern richtet sich nach dem jeweiligen Habitat und nach mikroklimatischen Faktoren. Demzufolge stehen dem Fuchs nicht immer Regenwürmer als Nahrungsquelle zur Verfügung (MACDONALD, 1980). Andere Insekten gelten als Ersatzproteinlieferant bei einem geringen Mäusevorkommen. Durch Regenwürmer werden 10-60% des Gesamtkalorienbedarfs gedeckt (LUTZ, 1978).

Gelegentlich werden Rehkitze, Schaf- und Ziegenlämmer und auch Frischlinge geraubt. Aas wird vorwiegend im Winterhalbjahr verzehrt. In der Nähe von Städten werden Müll- und Abfallplätze regelmäßig als Nahrungsquelle aufgesucht (HARRIS, 1981). Bei Füchsen aus den Stadtteilen Berlins wurde gelegentlich Fisch im Mageninhalt gefunden. Wahrscheinlich wurden Fische nach dem Zurücklassen durch Angler gefunden und gefressen (SCHUSTER et al., 2000).

Insektivoren, wie Igel, Maulwurf und Spitzmaus werden gelegentlich aufgenommen.

Der Futterbedarf ist im Herbst am höchsten, da in diesem Zeitraum Fettreserven für den Winter angelegt werden müssen (LABHARDT, 1990). In England wurden Hauskatzen in beträchtlichen Mengen in der Gesamtnahrung (21%) des Rotfuchses gefunden (FUCHS, 1973; HARRIS, 1981).

Im Sommer stehen Früchte und Beeren im Vordergrund der Ernährung (LUTZ, 1978): Kirschen, Zwetschgen, Mirabellen, Hagebutten, Schlehen oder Nüsse sind eine Auswahl der Früchte aus dem Speiseplan des Fuchses. Fallobst wird ebenfalls sehr gerne gefressen. LINDSTRÖM (1983) und LABHARDT (1990) nehmen an, dass Obst der Hauptlieferant des winterlichen subkutanen Fettdepots ist.

Aus Beobachtungen geht hervor, dass Hühnervögel und Entenvögel hauptsächlich für die Aufzucht der Welpen gejagt werden, ansonsten sind diese zu groß und wegen der Befiederung zu aufwendig zu verzehren (MACDONALD, 1977; LABHARDT, 1990). Bodenbrüter werden hauptsächlich während der Brutzeit erbeutet. In der Jagdsaison bleiben viele angeschossene Tiere liegen und werden so eine leichte Beute für den Fuchs (LABHARDT, 1990).

Erwachsene Hasen (*Lepus europaeus*) sind für den Fuchs zu flink, deshalb werden Junghasen oder meist Jagd-, Krankheits- oder Unfallopfer gefressen. Der Beuteanteil der Kaninchen (*Oryctolagus cuniculus*) an der Gesamtnahrung beträgt im Jahresdurchschnitt 19,2% (MATEJKA et al., 1977).

Im Spätherbst steigt der Anteil der Kleinsäuger in der Nahrung des Fuchses beträchtlich an. Alle Autoren, die sich mit der Nahrungsaufnahme des Fuchses beschäftigt haben, sind sich einig, dass Kleinnager (Feldmaus - *Microtus arvalis*, Wühlmäuse dazu zählen: Erdmaus - *Microtus agrestis*, Rötelmaus - *Clethrionomys glareolus*, Schermaus

- *Arvicola terrestris* und Kleinäugige Wühlmaus - *Pitymys subterraneus*) als Hauptbeute des Fuchses anzusehen sind (MACDONALD, 1977; LUTZ, 1978; STUBBE, 1988).

2.1.4 Reproduktion und Welpenaufzucht

„Eine hohe Plastizität im sozialen und reproduktiven Verhalten wird als wichtige Grundlage für die große Anpassungsfähigkeit des Fuchses gesehen“ (STUBBE, 1988).

Der Fuchs scheint seine Reproduktion verschiedenen Umweltbedingungen, wie zum Beispiel der relativen Populationsdichte und dem Nahrungsangebot flexibel anzupassen: Ein hohes Feldmausvorkommen beeinflusst das Wachstum, die Ovulationsrate und die Wurfgröße weiblicher Füchse positiv (ZIMEN, 1987; LINDSTRÖM, 1989). Dadurch erklärt sich die Überlebensstrategie in einer vom Menschen geprägten Kulturlandschaft (FUNK und GÜRTLER, 1991).

Bei einer sehr hohen Fuchspopulation bilden sich soziale Gruppen, in denen sich nur die ranghöchste Fähe fortpflanzt. Die anderen Weibchen der Gruppen helfen bei der Welpenaufzucht. Somit wird abgesichert, dass die Verwandten einer Gruppe in diesem Gebiet verbleiben können (STUBBE, 1980b; VOIGT und MACDONALD, 1984; ZIMEN, 1987).

Die Fortpflanzung ist von verschiedenen Faktoren, wie zum Beispiel Tageslänge, Wärme, Licht und Nahrungsangebot abhängig (LLOYD, 1980). Soziale Faktoren, sowie die Qualität der Aufzuchtorte scheinen bezüglich der postnatalen Mortalität eine bedeutende Rolle zu spielen (FUNK und GÜRTLER, 1991).

Die Hauptranzzeit erstreckt sich in Mitteleuropa von Ende Dezember bis Mitte Februar (ZIMEN, 1978; LABHARDT, 1990). Der Rotfuchs gehört zu den Wildarten, die sich monoöstrisch fortpflanzen (STUBBE, 1988). Männchen und Weibchen sind mit neun bis zehn Monaten geschlechtsreif.

Das Ranzverhalten des weiblichen Rotfuchses gliedert sich in eine etwa zehntägige Vorranz (Proöstrus) und einer zwei- bis dreitägigen Paarungsbereitschaft (Östrus) (STUBBE, 1988). Die Paarung, die meistens in den frühen Morgenstunden beobachtet wurde, endet mit dem „Hängen“ (Dauer 20-40 Minuten) der beiden Geschlechtspartner (ZIMEN, 1987). Mehrere Rüden können sich mit einer Fähe paaren. Die Ovulation erfolgt in der Regel zwei bis drei Tage nach der Begattung.

Über die Trächtigkeitsdauer finden sich in der einschlägigen Literatur unterschiedliche Angaben. Diese schwanken zwischen 51-54 beziehungsweise 49-55 Tagen (ZIMEN, 1987; STUBBE, 1988; LABHARDT, 1990). Die Hauptwurfzeit liegt in Mitteleuropa in der ersten Aprilhälfte (STUBBE, 1988).

Bei Füchsen hat man die Neigung zur „Saisonehe“ beobachtet (STUBBE, 1988; LABHARDT, 1990). Da die Fähe zwei bis drei Wochen den Bau nicht verlässt, versorgt der Rüde die Fuchsmutter mit Nahrung. Es wurde mehrfach beobachtet, dass mutterlose Welpen von Fähen adoptiert wurden, die eigene Junge aufziehen (LABHARDT, 1990). Die durchschnittliche Welpenzahl ist von der Kondition des Muttertieres abhängig und beträgt im Durchschnitt vier bis sechs, maximal dreizehn (STUBBE, 1988). Fuchswelpen werden mit einer durchschnittlichen Geburtsmasse von 80-150g geboren (STUBBE, 1988; LABHARDT 1990). Mit sechs Wochen fangen die Jungen an, die Gegend vor dem Bau zu erkunden. Mit drei bis vier Monaten beginnen die selbstständigen Streifzüge (STUBBE, 1988). Die Fähe bleibt bis in den Herbst hinein mit den Jungfüchsen zusammen (NÜßLEIN, 1971).

2.1.5 Populationsdynamik, Abwanderverhalten und Populationsstruktur

Populationsdynamik

Die Populationsdynamik variiert von Jahr zu Jahr und ist von vielen Faktoren, wie zum Beispiel Schwankungen im Fraßangebot, starker Jagddruck, Klima, Eignung des Habitats und soziale Toleranz zwischen den Füchsen selbst, abhängig (LABHARDT, 1990). STUBBE (1965) hingegen ist der Meinung, dass die Ursachen der Populationsdynamik nicht im Nahrungsangebot, sondern hauptsächlich in klimatischen Einflüssen und Krankheiten zu sehen sind. Ein hoher Parasitenbefall kann unter Umständen zum Zusammenbruch der Population führen. FORCHHAMMER und ASFERG (2000) stellten einen direkten Zusammenhang zwischen Dichteschwankungen in der Fuchspopulation und der Sarcopites-Räude fest. Nach einem drastischen Rückgang der Populationsdichte stellte sich, aufgrund reduzierter oder gestörter Fruchtbarkeit der befallenen Tiere, ein verzögertes Populationswachstum ein. Nicht befallene Populationen zeigten eine Fluktuation von 20-25 Jahren.

Dagegen sind PENCE und UECKERMANN (2002) der Meinung, dass Räudeepidemien die Populationsdynamik auf lange Sicht im allgemeinen nicht beeinflussen.

Die Epidemiologie der Tollwut und die Populationsdynamik stehen ebenfalls in engem Zusammenhang. Durch das Seuchengeschehen wurde eine dreijährige Dynamik in betroffenen Populationen beobachtet (KAUKER und ZETTL, 1960).

Abwanderverhalten

Die Erforschung des Abwanderverhaltens der Rotfüchse hat im Zusammenhang mit der Tollwut- und der Räudeverbreitung eine große Bedeutung erlangt.

Die Mechanismen des Abwanderns sind noch ungeklärt. Das Abwanderverhalten scheint bei Füchsen geschlechtsspezifisch zu sein und führt zu der Annahme, dass eine hormonelle Steuerung zu diesem Verhalten führen könnte. Ursachen dafür sind zum Beispiel: eine hohe Populationsdichte, wiederum beeinflusst durch Jagddruck oder das Tollwutgeschehen im jeweiligen Gebiet, ein geringes Nahrungsangebot, die beginnende Geschlechtsreife und somit die Suche nach Geschlechtspartnern, aggressives Verhalten der Eltern gegenüber den Jungtieren (LLOYD, 1980; LABHARDT, 1990; FUNK, 1991). ZIMEN (1984) führt geographische und geologische Strukturen, Klima und Nutzung der Landschaft durch den Menschen als mögliche Ursachen an. Die zurückgelegten Strecken deuten auf ein räumlich gerichtetes Wanderverhalten hin. Es scheint unwahrscheinlich, dass nur ein einziger Faktor für ein so komplexes Verhalten verantwortlich sein soll (BEHRENDT, 1955).

Männliche Tiere wandern eher ab als weibliche und legen längere Wegstrecken zurück. Anscheinend wandern Tiere mit einer geringen sozialen Bindung eher ab als andere Artgenossen (LABHARDT, 1990). Die beobachteten Abwanderungszeitpunkte subadulter Rüden variieren zwischen September und Dezember und decken sich mit den Angaben der meisten Literaturquellen.

Junge Männchen streifen im September herum, um ein neues Gebiet zu erkunden, wobei große Waldgebiete und Siedlungen gemieden werden. Die endgültige Etablierung erfolgt, sobald bestimmte Informationen über Populationsdichte, Anwesenheit von Rivalen und Bauen, ausreichende Fraßangebote und genügend Verstecke vorliegen (MULDER, 1990). Die Tiere bleiben dem neuen Territorium wahrscheinlich ein Leben lang treu (LABHARDT, 1990).

Im Durchschnitt werden 10-30km aber auch bis zu 100km pro Nacht aus dem elterlichen Revier zurückgelegt (ZIMEN, 1987). Die weiteste festgestellte Entfernung betrug 140km. Die Ergebnisse einer dänischen Studie ergaben, dass 70% der Füchse unter 5km, 6% zwischen 5 und 10km, 12% zwischen 10 und 25km und 12% mehr als 25km wanderten (STUBBE, 1988).

Populationsstruktur

Bei einer hohen Fuchsdichte werden Familienverbände mit einem Rüden und vier bis fünf weiblichen Tieren gebildet. In einer Gruppe besteht eine höhere soziale Sicherheit, Eindringlinge werden eher erkannt (LABHARDT, 1990).

Die Altersstruktur in einer Population wurde von LABHARDT (1990) wie folgt beschrieben: 61% der Tiere sind unter einem Jahr, 0,4% über zehn Jahre alt, der Rest zwischen einem und zehn Jahre.

Die Zahl reproduktionsfähiger Weibchen in einer Rotfuchspopulation betrug 24% (ANSORGE, 1990). Eine geringe Lebenserwartung wird durch eine hohe Reproduktionsrate, die Fähigkeit vielfältige Lebensräume zu besiedeln und durch geringen Raumanpruch des Individuums kompensiert.

Die in der Literatur vorgefundenen Angaben zum Geschlechterverhältnis in einer Fuchspopulation sind sehr unterschiedlich. Das pränatale Geschlechterverhältnis wurde anhand von Untersuchungen an Föten festgestellt und war ausgeglichen (ULBRICH, 1974; STORM et al., 1976). STUBBE (1974) hingegen stellte eine Verschiebung zugunsten männlicher Föten fest. Untersuchungen an Welpen ergaben einen Überschuss männlicher Tiere, ohne dass es hierfür eine hinlängliche Erklärung gibt (FAIRLEY, 1970; LLOYD, 1975; WIEGAND und KRUG, 1986; STUBBE, 1988; LABHARDT, 1990).

GORETZKI und PAUSTIAN (1982) fanden bei Altfüchsen ein Verhältnis von 1,4:1 Rüden zu Fähen heraus. ANSORGE (1990b) hingegen war der Meinung, dass das Geschlechterverhältnis adulter Füchse zu Gunsten weiblicher Tiere verschoben ist.

2.1.6 Populationsdichte und Reviergröße

Unter den ökologischen Bedingungen mitteleuropäischer Kulturlandschaften fallen Witterung, Beutegreifer und Tollwut als Einflussgrößen weitgehend aus, so dass sich die Fuchspopulationen an der Obergrenze des Reproduktionspotentials befinden (GORETZKI, 1998). Eine Populationsdichtebestimmung ist nur sinnvoll, wenn die Strukturen einer Fuchspopulation bekannt sind (STIEBLING, 1998b).

Über die Besatzdichte gibt es unterschiedliche Angaben in der Literatur. Hier einige Beispiele: STIEBLING (1998b) stellte 1995 einen Frühjahrsbesatz von 0,72 Altfüchsen pro km² fest und weist darauf hin, dass dies als Mindestbesatz angesehen werden muss. Die Untersuchungen von LLOYD (1975) ergaben eine Dichte von 0,5 bis 1,8 erwachsener Füchse pro km². STIEBLING (2000) stellte einen durchschnittlichen Frühjahrsbesatz von 0,95 Füchsen pro km² und einen Sommerbesatz von 2,8 Füchsen pro km², GORETZKI und PAUSTIAN (1982) einen Frühjahrsbesatz von 0,44 Füchsen pro km² als sechsjähriges Mittel und BEHRENDT (1955) 0,9 Füchse pro 100ha fest. INSOLEY (1977) fand $2,18 \pm 0,45$ Füchse pro km², in Stadtnähe 2,61 Füchse pro km². In Waldgebieten und stärker strukturierten Gebieten lag die Zahl des Fuchsbesatzes deutlich über den in Feldgebieten ermittelten Zahlen. Auf der Insel Rügen wurde ein durchschnittlicher Fuchsbesatz von 3,8 Füchsen pro km² im Jahre 1991 festgestellt (GORETZKI et al., 1997).

❖ Die Populationsdichte beeinflussende Faktoren

Die Tollwut

Durch die geringe Bejagung in den Nachkriegsjahren stieg die Fuchspopulation stark an und bot ein geeignetes Reservoir für die Tollwut. Eine wichtige Erkenntnis war, dass eine geringe Fuchsdichte zum Erlöschen der Seuche führte (STUBBE, 1988). Der Wegfall des Mortalitätsfaktors Tollwut wird von vielen verschiedenen Autoren für die Zunahme der Fuchspopulation in Betracht gezogen (GORETZKI und PAUSTIAN, 1982; VOS, 1990; SCHNEIDER, 1992; GORETZKI et al., 1997).

PRIMER (1999) stellte hingegen keine deutliche Erhöhung der Rotfuchspopulation nach der Tollwutimmunisierung fest.

Eingriff durch den Menschen

Einen negativen Einfluss auf die Fuchspopulation übt auch die Landnutzung durch den Menschen aus: der Straßenverkehr, industriell und landwirtschaftlich genutzte Flächen, unsachgemäß eingesetzte Pestizide (GORETZKI, 1995). HARRIS (1977) stellte fest, dass Jungfuchspopulationen durch menschliche Eingriffe, Krankheiten und Unfälle im Straßenverkehr stark reduziert werden können. Die adulte Population wurde durch diese Maßnahmen nur wenig beeinflusst.

Die Jagd:

Die Annahme, dass die Bejagung der Füchse überflüssig wäre, weil sich der Bestand den neuen Umständen mit erneuter Vermehrung anpasst, ist falsch. Nach der Tilgung der Tollwut ist eine langfristige Bejagung notwendig, um eine saisonale Verringerung der Fuchsdichte zu erreichen. Dagegen ist die Annahme, dass die Bejagung nicht genug intensiviert wurde, um den Sterblichkeitsfaktor Tollwut zu ersetzen, eher zutreffend (PEGEL, 2004).

Baubegasung, Bauvernichtung:

Die Begasung der Wurfbaue wurde in den Ländern, in denen die Tollwut vorherrschte, von der WHO empfohlen. Diese Maßnahme ist aber umstritten, weil sich die Wurfperiode über einen langen Zeitraum erstreckt und somit nicht alle Würfe erfasst werden können (GORETZKI und PAUSTIAN, 1982). Durch Maßnahmen wie Baubegasung und Bauvernichtung ist der Fuchs gezwungen worden größere Wanderstrecken zurückzulegen, um neue Baue und Territorien aufzusuchen oder Unterschlupf zu finden. Eine wirkungsvollere Reduzierungsmethode ist der organisierte Jungfuchsabschuss. So bleiben die bekannten Baue erhalten (STUBBE und STUBBE, 1977).

Infektionskrankheiten:

Einen Einfluss auf den Fuchsbestand haben Krankheiten besonders dann, wenn sie einen epidemischen Verlauf haben. Hierbei spielt die Besiedlungszahl eine Rolle. Je höher diese ist, desto höher ist auch das Infektionsrisiko. Bei Staupe, Enzephalomyelitis und Hämorrhagische Septikämie ist eine hohe Mortalität hauptsächlich unter den Jungfüchsen zu beobachten. Diese Krankheiten sind regional begrenzt (BEHRENDT, 1955).

Parasitosen:

Die Sarcoptes-Räude trug in bestimmten Regionen zu einer Reduktion der Rotfüchse um 70% bei und beeinflusst den Wirt negativ in dessen Überlebensfähigkeit, Wachstum und Fruchtbarkeit. Die Räude führte besonders in den Nachkriegsjahren zum teilweisen Zusammenbruch der Fuchspopulation (STUBBE, 1988; FORCHHAMMER und ASFERG, 2000).

Mitte der siebziger Jahre verbreitete sich die Sarcoptes-Räude in Schweden und dezimierte die Fuchspopulation sehr stark (BORNSTEIN, 1995). Eine hohe Infektionsrate mit Sarcoptes-Milben lässt wiederum auf eine hohe Populationsdichte schließen (ROSS und FAIRLEY, 1969).

❖ Habitatnutzung, Territorialität, Homerange (Streifgebiet oder Lebensraum)

Die Habitatpräferenzen sind tageszeitabhängig. Am Tag bevorzugte Landschaftsstrukturen werden nachts meist nicht aufgesucht und umgekehrt. Die höchste Fuchsdichte ist in Gebieten mit einer hohen Habitatdiversität anzutreffen (BERBERICH, 1989). Rotfüchse leben nicht im Rudel, aber trotzdem in Gesellschaft anderer Füchse (ZIMEN, 1987).

Bei einer hohen Populationsdichte wandern Füchse in Stadtgebiete ein, da ein gutes Fraßangebot vorhanden ist und die Bejagung fehlt (LABHARDT, 1990). HARRIS und RAYNER (1986) stellten fest, dass Füchse in Vorstädten in räumlich getrennten Territorien leben. Deren Habitat überschneidet sich wahrscheinlich nur an der urbanen Peripherie (DEPLAZES et al., 2004). Unter Homerange (Streifgebiet oder Lebensraum) versteht man das Gebiet, das von einem Tier bei seinen normalen Aktivitäten wie Nahrungssuche, Fortpflanzung und Aufzucht der Jungen durchstreift wird. Ökologische Faktoren beeinflussen die Lage und Größe des Streifgebietes. Dieses ist im Laufe eines Fuchslebens flexibel. In optimalen Landschaftsräumen reicht eine kleine Homerange aus (BERBERICH, 1989). Die Größe eines Streifgebietes ist unterschiedlich und

davon unabhängig, wie intensiv einzelne Habitatkategorien genutzt werden (STIEBLING, 2000).

Im Durchschnitt nutzen Jungfüchse 50-100ha, subadulte 100-200ha und adulte Füchse 200-300ha (BERBERICH, 1989). Die Fuchsreviergröße beträgt in einem großen Waldgebiet 5-12km² (STUBBE, 1965). Benachbarte Gebiete überlappen sich kaum oder gar nicht (Territorialität).

2.1.7 Bestandsentwicklung in Deutschland

Füchse haben in Deutschland nahezu keine natürlichen Feinde mehr. Eine Bejagung erfolgt zur Regulierung der Fuchspopulation, zur Kontrolle der Aufnahme der Köder gegen Tollwut und zur Erhaltung des Niederwildes. Der Fuchs ist als Pelzlieferant nahezu ohne Bedeutung geworden. Trotz des Lebensraumschwundes in der Kulturlandschaft der letzten Jahre muss von hohen und ansteigenden Fuchsbesätzen ausgegangen werden. Die Bestandszunahme ist mit einer hohen Anpassungsfähigkeit, Reproduktivität und der Tilgung der Tollwut zu erklären, wodurch der Lebensraum der einzelnen Füchse beziehungsweise Fuchsfamilien kleiner wird (GORETZKI, 1995; GORETZKI, 1998). Es ist anzunehmen, dass es in Mitteleuropa bis auf die Stadtkerne einiger Großstädte keine fuchsfreien Räume mehr gibt (GORETZKI und PAUSTIAN, 1982).

Der Rotfuchs ist ganzjährig bejagbar, wobei Paragraph 22 BjagdG Abs.4 zu beachten ist. Dieser besagt, dass „in den Setz- und Brutzeiten bis zum Selbstständigwerden der Jungtiere die für die Aufzucht notwendigen Elterntiere, auch die von Wild ohne Schonzeit, nicht bejagt werden dürfen“ (Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt Aulendorf, Informationsdienst Februar 2003).

Zur Zeit lässt sich keine genaue Aussage über die Populationsdichte treffen. Eine direkte Zählung der Rotfüchse ist aufgrund ihrer zurückgezogenen Lebensweise und bislang ungenauer Zählmethoden nicht möglich. Aus diesem Grund wird eine Schätzung vorgenommen, anhand derer sich die Dichteverteilung der Füchse aus der Jagdstrecke ergibt. Als indirekte Methode zur annähernden Schätzung der Populationsdichte und als Gradmesser von Populationsschwankungen wird laut STUBBE (1980b) der HIPD (Hunting Indicator of Population Density nach Bögel et al., 1974) herangezogen. Dieser errechnet sich aus dem Quotienten der Jahresjagdstrecke pro 100ha Jagdfläche. Der zunehmende Einzug des Rotfuchses in größere Städte ist eine in letzter Zeit sehr häufig beobachtete Entwicklung (LLOYD, 1980; DEPLAZES et al., 2004).

Seit Mitte der 80er Jahre ist eine Bekämpfung der Tollwut mittels einer flächendeckenden Schluckimpfung mit speziellen Impfködern durchgeführt worden und somit gilt die Tollwut in Deutschland als weitgehend getilgt.

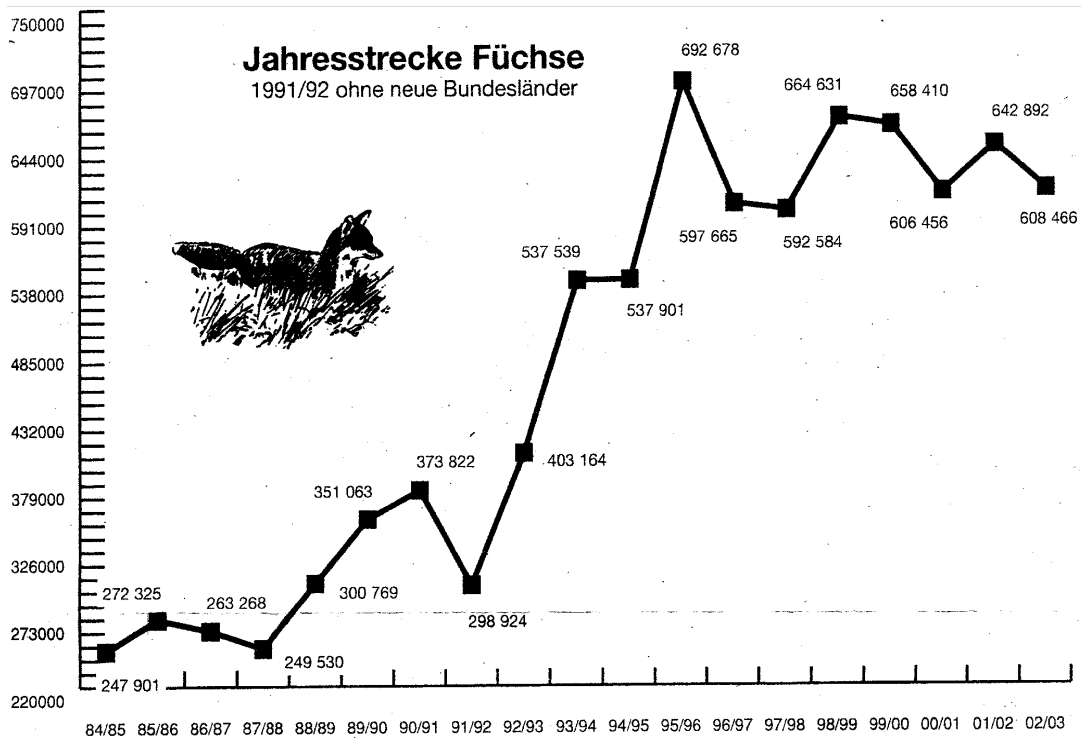


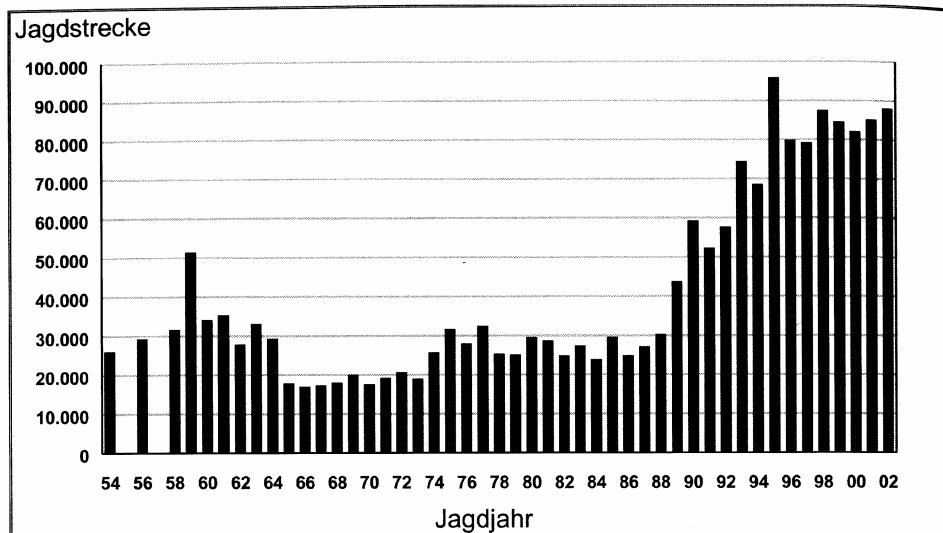
Abbildung 1: Jahresjagdstrecke Fuchs in der Bundesrepublik Deutschland (aus: Jahresbericht der Wilfforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg 2000-2003)

2.1.8 Bestandsentwicklung in Baden-Württemberg

Zur Überprüfung des Impferfolges musste eine bestimmte Anzahl an Füchsen untersucht werden. Aus diesem Grund wurde den Jägern für jeden erlegten Fuchs eine Abschussprämie erstattet. Seit 1996 gilt Baden-Württemberg als tollwutfrei. Im Dezember 2004 traten jedoch fünf Tollwutfälle bei Rotfüchsen im Norden Baden-Württembergs auf. Mit dem zeitweiligen Wegfall der Abschussprämie hat bei den Jägern die Motivation zur Fuchsjagd erheblich nachgelassen.

Nach der langjährigen Streckenentwicklung zu urteilen, gab es noch nie so viele Füchse in Baden-Württemberg wie heute. Die mittlere Streckendichte lag Mitte der 90er Jahre (1993-1997) bei 2,2 Füchsen pro 100 ha. Im Spitzenjahr 1995 wurden landesweit 2,7 Füchse pro ha erlegt (Maximum Landkreis Göppingen 4,3 Füchse pro ha).

Dieses entspricht etwa einer Verdreifachung der Strecke gegenüber dem Zeitraum vor der Tollwutimpfung.



© 2003

bericht der Wilfforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg 2000-2003)

Im Jagdjahr 2001/2002 verlangsamte sich der Streckenanstieg. Dieses ist jedoch nicht für den tatsächlichen Fuchsbesatz anzunehmen. Es ist eher eine rückläufige Bejagungintensität zu verzeichnen.

Tabelle 1: Gemeldete Jagdfläche in Baden-Württemberg 2002-2003

Nutzungsart	Fläche	Flächenanteil
Wald	1.342.478 ha	39,9%
Feld	1.915.652 ha	56,9%
Gemeldete Jagdfläche	3.368.736 ha	100,0%

Tabelle 2: Jahresjagdstrecke Fuchs in Baden-Württemberg

Jagdjahr	Jagdstrecke (Anzahl)	Veränderung gegenüber dem Vorjahr in %
2000/2001	82 099	-3
2001/2002	85 156	+3,7
2002/2003	88 090	+3,4

(aus: Jahresbericht der Wilfforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg 2000-2003)

2.2 Die Sarcoptes-Räude der Fleischfresser

2.2.1 Beschreibung der Räudemilbe *Sarcoptes scabiei*

2.2.1.1 Systematik und Morphologie

Der Erreger der Sarcoptes-Räude wird zur Ordnung Acariformes, Unterordnung Astigmata (keine Stigmen vorhanden, die Pedipalpen sind zweigliedrig), zur Klasse der Arachnidae (Spinnentiere) und zu der Familie Sarcoptidae (Räudemilben) gezählt (FRANK, 1982).

Die Sarcoptes-scabiei-Milbe kommt bei mehr als 40-43 Säugetierspezies aus 21 Familien und 7-8 Säugetierordnungen vor (KRAIß et al., 1987; ARLIAN, 1989; BORNSTEIN und ZAKRISSON, 1993). Seit dem Mittelalter finden sich Berichte über die Räude. Linnaeus (1758) und de Geer (1778) beschrieben die Milbe genauer. Aber erst ab 1835 wurde die Sarcoptes-Milbe als Erreger der Räude allgemein festgelegt (KUTZER, 1970).

Bezüglich der genauen Klassifizierung herrschen bis zu diesem Zeitpunkt noch Unklarheiten. Die bei unterschiedlichen Wirten gefundenen Milben zeigen keine oder nur geringe morphologische Unterschiede. Es ist noch offen, ob es sich hierbei um eigene Arten, Unterarten oder um Varietäten der gleichen Spezies handelt. Die zur Zeit gängige Bezeichnung bezieht sich auf die jeweilige Tierart, von der die Milbe isoliert wurde und bezeichnet diese als Varietät, zum Beispiel: *Sarcoptes scabiei* var. *vulpes*.

Die Sarcoptes-Milbe ist größtenteils wirtsspezifisch. Der Mechanismus der Wirtsspezifität ist jedoch noch nicht zur Genüge erforscht (ARLIAN, 1989). Infektionen mit Milben unterschiedlicher Wirte sind beschrieben worden. Welches Ausmaß diese annehmen, ist nicht bekannt (TAS und HOEDEN, 1964; EICHLER, 1980; ARLIAN, 1989; BORNSTEIN, 1995). Zum Beispiel gelang es nicht, Sarcoptes-scabiei-Milben von Rotfüchsen, Coyoten, Wölfen und Coyote-Hund-Mischlingen experimentell auf Hunde zu übertragen und eine Infektion hervorzurufen (SAMUEL, 1981). Wahrscheinlich beschränkt sich die Infektiosität der Milbe auf die einzelnen Gattungen des Wirtsorganismus (BOCH, 1989).

Das breite Wirtsspektrum ist wahrscheinlich Ausdruck einer besonderen physiologischen Adaptationsfähigkeit mit genetischen Unterschieden der Milben und eine mögliche Erklärung für die sehr ausgeprägte innerartliche morphologische Variabilität (KRAIß et al., 1987; BERRILLI et al., 2002).

Bezüglich der Größe sind in der Literatur unterschiedliche Daten vorzufinden: adulte Weibchen sind 0,30-0,50mm lang und 0,22-0,42mm breit, Männchen 0,20-0,28mm lang 0,14-0,21mm breit (BORCHERT, 1970; EICHLER, 1980; ARLIAN, 1989). Larven (140-215µm x 100-160µm) besitzen nur drei Beinpaare. Die Protonymphe (270µm x 195µm beziehungsweise 180-300µm x 130-250µm) und Tritonymphe (je nach künftigen Geschlecht 295µm x 220µm beziehungsweise 340µm x 270µm groß) besitzen schon vier Beinpaare und gleichen weitgehend den adulten Weibchen. Dem ersten Nymphenstadium fehlt allerdings ein Receptaculum seminis (KUTZER, 1970; ANDERSON, 1979; SOULSBY, 1982a).

Die Körperform ist beim Männchen fast kugelig, beim Weibchen schildkröten- oder walzenförmig. Der Vorder- und Hinterabschnitt scheint durch eine Querrfurche getrennt zu sein (BORCHERT, 1970). Die faltige Körperoberfläche besitzt verschiedenartige Anhänge: am Hinterrand, an den Seiten und am dorsalen Ende des Capitulum befinden sich Borsten, auf dem vorderen und hinteren Rückenteil zum Teil reihenförmig angeordnete Dornen mit scharfer Spitze, sowie dreieckige, spitze, in Querreihen oder Gruppen stehende Schuppen sind vorhanden (BORCHERT, 1970; SOULSBY, 1982a). Der Anus liegt ventral. Dem Männchen fehlen Analhaftnäpfe und Opisthosomallappen (SOULSBY, 1982a; HIEPE, 1985).

Das Capitulum ist stumpf-kegelförmig, etwa so lang wie breit (breiter als lang nach HIEPE, 1985) und deutlich hervortretend. Die Beine sind kurz, dick und kegelförmig. Das 3. und 4. Beinpaar überragen den hinteren Körperperrand nicht. Bei weiblichen Milben besitzt das 1. und 2., bei männlichen Milben das 1., 2. und 4. (schwächer ausgebildet) Beinpaar eine tulpenförmige Haftscheibe an einem ungegliederten Stiel. An den Beinen ohne Haftscheibe befindet sich bei beiden Geschlechtern eine lange Borste.

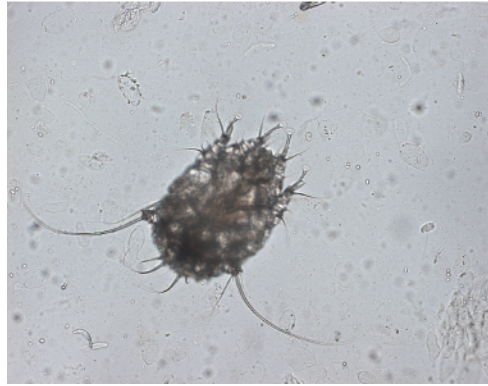


Abbildung 3: *Sarcoptes scabiei* var. *vulpes* Männchen, 100fach vergrößert (eigene Aufnahme)

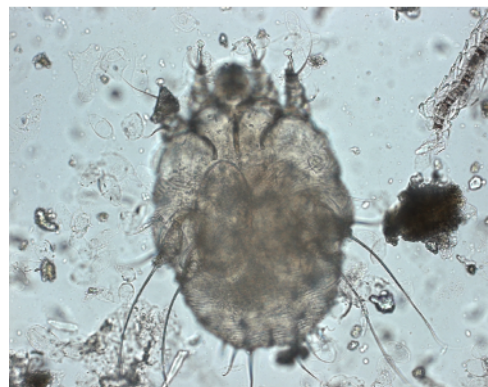


Abbildung 4: *Sarcoptes scabiei* var. *vulpes* Weibchen, 400fach vergrößert (eigene Aufnahme)

2.2.1.2 Ontogenese

Sarcoptes scabiei zeichnet sich durch seine charakteristische Lebensweise im Übergang vom Ekto- zum Endoparasitismus aus (NÖCKLER, 1992). Räude milben sind stationär-permanente Parasiten (HIEPE, 1985). Der Entwicklungszyklus ist stark von der Umgebungstemperatur, der Luftfeuchtigkeit und von der Disposition des Wirtes abhängig. Dieser dauert bei Männchen durchschnittlich 14 ± 2 Tage und bei Weibchen 21 ± 3 Tage (BORCHERT, 1970; EICHLER, 1980; HIEPE, 1985; BOCH und SCHNEIDAWIND, 1988). In der Literatur wird der Entwick-

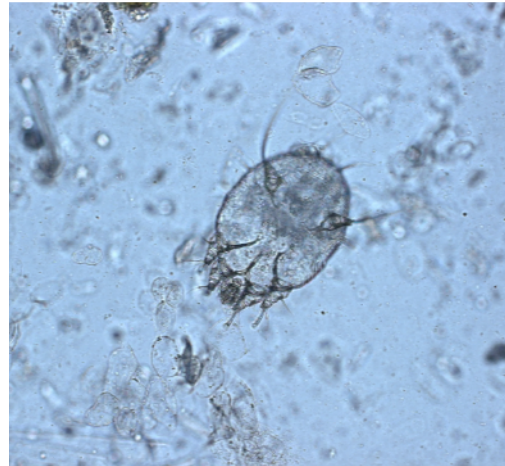


Abbildung 5: *Sarcoptes scabiei* var. *vulpes* Larve, 100fach vergrößert (eigene Aufnahme)

lungszyklus von *Sarcoptes scabiei* unterschiedlich dargestellt: nach 2-12 Tagen schlüpft eine Larve aus dem Ei, durch Häutung entwickelt sich diese nach 3-4 Tagen zur Protonympe, dann zur Tritonympe (KUTZER, 1970; ANDERSON, 1979; SOULSBY, 1982a). Milben sind mit 7-12 Tagen geschlechtsreif. Alle Stadien sind in der Lage die Haut zu penetrieren (KRAIß et al., 1987).

Wenige Larven verlassen nach dem Schlupf die Bohrgänge des Weibchens. Diese suchen eine Hautnische, in der sie sich zur Protonympe häuten. Nur die männlichen Tritonymphen verlassen die angelegten Bohrgänge, um sich zu adulten Männchen zu häuten. HIEPE (1985) hingegen ist der Meinung, dass Larven, Protonymphen und männliche Tritonymphen in den obersten Hautschichten leben und nur die weibliche Tritonympe an die Hautoberfläche wandert.

Für die Epidemiologie der *Sarcoptes*- Erkrankung spielen die Nymphenstadien als Überträger eine große Rolle. Diese befinden sich auf der Hautoberfläche und können so leicht von einem Wirt auf den nächsten gelangen (IPPEN et al., 1995).

Die Kopulation erfolgt in der Regel an der Hautoberfläche in seichten Nischen im Tritonymphenstadium. Nach HIEPE (1985) hingegen erfolgt die Kopulation zwischen adultem Männchen und weiblicher Tritonympe. Die Befruchtung findet wahrscheinlich kurz vor der Entwicklung zum adulten Weibchen statt. Etwa zwei Monate lang legt das Weibchen 2-4 Eier pro Tag in die zu diesem Zweck angelegten Bohrgänge. Insgesamt werden ca. 50 Eier gelegt (ANDERSON, 1979; EICHLER, 1980).

Männchen leben 5-6 Wochen, Weibchen 3-6 Wochen auf dem befallenen Wirt. Bei günstigen Umgebungsbedingungen können sie 1-2 Wochen außerhalb des Wirtsorganismus überleben (BORCHERT, 1970; EICHLER, 1980).

Ernährungsphysiologisch gehören die Sarcoptes-Arten zu den Zellophagen, da sie die Zellen mit ihren Mundwerkzeugen und Speichel aus den Hautschichten herauslösen. Da das Keratin der oberen Hautschicht für deren Ernährung nicht ausreicht, dringen die Milben bis zu den lebenden Schichten der Haut vor und ernähren sich von Lympheflüssigkeit, die aus den Inter- und Intrazellularräumen in die Bohrgänge sickert. Sie nehmen Zellflüssigkeit, Detritus und wahrscheinlich auch junge Epithelzellen auf (KUTZER, 1970; PFLUGFELDER, 1977; ANDERSON, 1979; SOULSBY, 1982a; ARLIAN et al., 1988).

2.2.2 Epidemiologie

Die Räude muss als Faktorenkrankheit mit zoonotischem Charakter angesehen werden. Die Erkrankung ist sehr komplex und wird von der Reaktionslage des Wirtes und den Umweltbedingungen beeinflusst (POPP et al., 1991; IPPEN et al., 1995).

Zu dem epidemiologischen Geschehen einer Sarcoptes-Infektion zählen die Ökologie, das Verhalten und die Empfänglichkeit des Wirtes, die Anpassungsfähigkeit der Milbe und ihre Fähigkeit, eine Phase ihres Lebenszyklus außerhalb des Wirtes zu überleben. Welche dieser Einzelfaktoren primär eine Rolle spielen, ist noch nicht ausreichend erforscht (KRAIß et al., 1987). Der temporäre Aufenthalt (ca. zwei Monate) der Milben auf einem Fehlwirt ist ein entscheidender Faktor in der Überlebensstrategie und der Kontinuität der Infektionskette bei Sarcoptes-Milben (TAS und HOEDEN, 1964; ORKIN, 1977; ANDERSON, 1979; FRANK, 1982; FOLZ, 1984; ARLIAN et al., 1988; ARLIAN, 1989; BIRK et al., 1999; BOCH und SUPPERER, 2000).

Das Überleben der Milben außerhalb des Wirtes ist von der Umgebungstemperatur, Sonneneinstrahlung und der relativen Luftfeuchte abhängig. Sarcoptes-Milben sind gegen Austrocknung sehr empfindlich. Weibliche Milben überleben nur ein paar Stunden bei 45°C und 45% relativer Luftfeuchte, dafür acht bis neunzehn Tage bei 10°C und 97% relativer Luftfeuchte. Erstaunlicherweise überlebten Milben auch bei -25°C. Danach waren sie jedoch nicht mehr in der Lage, sich in die Haut einzubohren. In der Regel überleben Infektionsstadien von *Sarcoptes scabiei* var. *canis* 1-9 Tage bei 15-25°C und 25-97% relativer Luftfeuchte (ARLIAN, 1989).

Für das Infektionsgeschehen ist auch von Bedeutung, wie weit sich abgescheuerte Milben fortbewegen können. Bei Temperaturen unter 8°C sind Milben unbeweglich. Bei

einem glatten Untergrund besitzen sie einen Aktionsradius von kaum einem Meter (KUTZER, 1970).

Die Milben können einige Tage in abgefallenen Hautborken ohne Wirt überleben (SCHULZ, 1965; ANDERSON, 1979; EICHLER, 1980). Eier sind vier bis sechs Tage in trockener und zwei bis vier Wochen in feuchter Umgebung lebensfähig (ANDERSON, 1979).

Sarcoptes-Milben suchen den Wirt aktiv auf. Dabei spielen thermische Reize und abgestrahlte Duftstoffe des Wirtes eine entscheidende Rolle (KRAIß et al., 1987). ARLI-AN (1988a) stellte dagegen fest, dass der spezifische Geruch des Wirtes für die Milbe *Sarcoptes scabiei* var. *canis* keinen Einfluss auf die Wirtsspezifität hat. Die Wirtssuche muss mit anderen Faktoren, wie zum Beispiel physiologischen Unterschieden in der Veranlagung der Milbe, der Wirtsimmunität, chemischen Faktoren (nahrungsbezogene oder nicht nahrungsbezogene) zusammenhängen.

Die Übertragung der Parasiten erfolgt hauptsächlich von Tier zu Tier besonders in der Paarungszeit und bei der Aufzucht der Welpen. Aber auch durch das gemeinsame Benutzen von Bauen ist eine Übertragung möglich (NEMESÉRI und HOLLÓ, 1964). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Initialinfektion bei Jungföchsen von der Mutter stammt.

Zu einer klinischen Ausprägung kann es bei Tieren mit einem schlechten Allgemeinbefinden oder bei Jungföchsen kommen, wenn sie sich in einem neuen Gebiet etablieren müssen (ORKIN, 1977; SCHUSTER et al., 2001). Chronisch infizierte Tiere können als Reservoir für die Verbreitung der Räude-Milbe eine entscheidende Rolle spielen (SCHULZ, 1965; BORNSTEIN, 1995). Nach Abklingen klinischer Symptome scheinen die Tiere äußerlich gesund zu sein, sind aber lebenslang Milbenträger und somit eine ständige Ansteckungsquelle. Fand in einer Fuchspopulation eine Durchseuchung statt, überlebten nur die Tiere, bei denen sich eine Immunität ausgebildet hat. Diese Tiere wiesen geringere Krankheitserscheinungen auf (BOCH, 1989).

2.2.3 Pathogenese und Schadwirkung

Die Pathogenese der Erkrankung beginnt mit der Grabtätigkeit der begatteten weiblichen Milbe von der Hautoberfläche in die Epidermis und der Ausbildung von Bohrgängen.

Durch das Eindringen in die Hornhaut und mit Hilfe des Speicheldrüsensekretes gelangen die Milben bis zum Stratum spinosum. EICHLER (1980) und KUTZER (1970) hingegen sind der Meinung, dass die Weibchen entlang der Haarbälge in die Epidermis eindringen.

Der Grad der Ausprägung klinischer Symptome einer *Sarcoptes*-Räude ist von dem jeweiligen Immunstatus, dem Ernährungs- und Allgemeinzustand und der Prädisposition des Wirtes abhängig (EICHLER, 1980; PENCE und UECKERMANN, 2002).

Die Ausbildung einer Immunantwort nach dem Kontakt mit der *Sarcoptes*-Milbe kann als erwiesene Tatsache angesehen werden (ALLEN und NELSON, 1982; SOULSBY, 1982b; NESTE, 1986). Exkretionsprodukte der Milben (Kot und Speicheldrüsensekret) diffundieren in die darunter liegenden Hautschichten und rufen bei immunkompetenten Wirten eine Immunantwort in Form einer allergischen Reaktion Typ I (Sofortreaktion) und Typ IV hervor (HIEPE, 1985; ILCHMANN, 1988; MATTHES et al., 1992; LITTLE et al., 1998). Diese Reaktion dient dem Schutz des Wirtsorganismus und kann zum Stillstand der Infektion führen (MÖRNER und CHRISTENSSON, 1984). Ausgeschiedene Toxine und Antigene der Milbe sowie der Flüssigkeits- und Gewichtsverlust über die geschädigte Haut beeinflussen den Energiehaushalt des Wirtes negativ (ARLIAN et al., 1988c).

Die natürliche Abwehrkraft des Wirtes (Mensch und Tier) verhindert eine uferlose Vermehrung der Milben und ist von der Hautbeschaffenheit desselben abhängig (FRANK, 1982). Immunsupprimierte Patienten weisen eine wesentlich höhere Milbenanzahl auf, als solche mit einem intakten Immunsystem (ALLEN und NELSON, 1982; SOULSBY, 1982b). Das Zustandekommen einer Immunität zeigt sich in einer verminderten Fortpflanzungsfähigkeit der Parasiten. Reaktionen geweblicher Art seitens des Wirtes spielen dabei eine entscheidende Rolle (PFLUGFELDER, 1977).

Vier bis sechs Wochen nach Kontakt mit der Milbe wird eine humorale Immunantwort in Form von zirkulierenden Antikörpern im Serum sichtbar (BORNSTEIN und ZAKRISSON, 1993). Nach sechs bis neun Monaten werden die Antikörper erst wieder abgebaut (NESTE, 1986). Erhöhte IgG- und IgM-Spiegel wurden bei Patienten mit Scabies nachgewiesen. Der IgA-Spiegel war erniedrigt (ALLEN und NELSON, 1982; NESTE, 1986; ARLIAN, 1989). Wirte die schon einmal Kontakt mit *Sarcoptes*-Milben hatten, entwickelten eine beschleunigte Reaktion mit einer kürzeren Inkubationszeit (ANDERSON, 1979; ALLEN und NELSON, 1982). Anders als bei anderen Tierarten angenommen, entwickelten Rot-

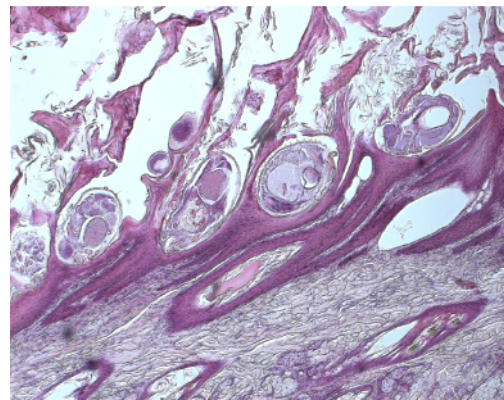


Abbildung 6: *Sarcoptes scabiei* var. *vulpes* in ihren Bohrgängen, Hyperkeratose der Haut, 400fach vergrößert HE-Färbung (eigene Aufnahme)

füchse keine Abwehr und blieben nach einer erneuten Infektion mit *Sarcoptes*-Milben voll empfänglich. Dies könnte eine Erklärung für den Schweregrad der Erkrankung in der freien Wildbahn sein (LITTLE et al., 1998).

2.2.4 Histopathologie

Im Bereich der deutlich veränderten Hautregionen ist eine hochgradige, chronische Entzündung der Epidermis zu beobachten. Diese ist mit einer mehr oder weniger starken Hyper- und Parakeratose verbunden (EICHLER, 1980). Um die Eintrittspforte der Milben bildet sich ein schwammartiges Ödem der Haut aus (ALLEN und NELSON, 1982).

Die Milbe lebt im Stratum granulosum (seltener im Stratum spinosum) (ARLIAN et al., 1988a; NÖCKLER et al., 1990). Die Bohrgänge der Milbe sind mit einer Hornschicht (Keratinocyten) ausgekleidet. Durch nachschiebende Epithelzellen werden die Bohrgänge über das Stratum corneum hinaus als Schuppen abgestoßen (NÖCKLER et al., 1990). Als Ausdruck der Abwehr gegen die Milbe erzeugen die Zellen des Stratum germinativum neue Hornzellen. Der Organismus versucht so, die

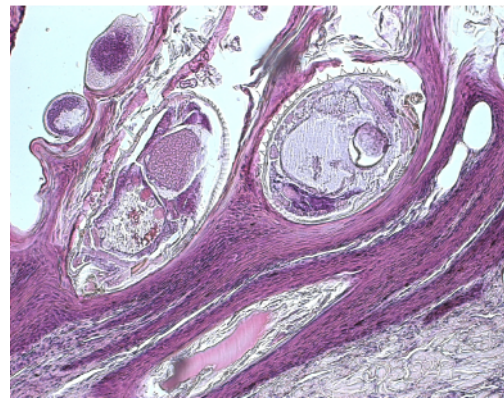


Abbildung 7: *Sarcoptes scabiei* var. *vulpes* umhüllt von Horn, 1000fach vergrößert HE-Färbung (eigene Aufnahme)

Milbe abzustoßen. Werden die neu gebildeten Hornzellen nicht erneut von der Milbe aufgelöst, hat der Wirtsorganismus eine weitere Schädigung durch den Parasiten verhindert. Es kommt zu einer sogenannten Selbst- oder Spontanheilung (BORCHERT, 1970; EICHLER, 1980). KONSTANTINOV und STANOEVA (1976) sind hingegen der Meinung, dass sich ein *circulus vitiosus* entwickelt, bei dem die induzierte Hyperkeratose eine ungehinderte Vermehrung der Milben nach sich zieht.

Bei der *Sarcoptes*-Räude spielen sich wichtige zelluläre Abwehrprozesse in der Nähe der Läsionen ab. Entzündungszellen wie Mastzellen, neutrophile und eosinophile Granulozyten dominieren und weisen auf eine Sofortreaktion hin. Zahlreiche Lymphozyten (vorwiegend T-Lymphozyten), wenige Histozyten und Makrophagen weisen auf eine verspätete Reaktion hin (ALLEN und NELSON, 1982; NESTE, 1986; ARLIAN, 1989; LITTLE et al., 1998). Makrophagen, Lymphozyten, neutrophile- und eosinophile Granulozyten reichen bis ins Innere der Bohrgänge hinein (NÖCKLER et al., 1990).

Im Abwehrmechanismus der Haut spielen die Langerhans-Zellen (LZ) eine zentrale Rolle. Nach dem Auswandern der Langerhans-Zellen aus der Epidermis erfolgt die Antigen-Präsentation vorrangig in den regionären Lymphknoten (POPP et al., 1991).

2.2.5 Klinik der *Sarcoptes*-Räude

Die Inkubationszeit, der Ausprägungsgrad, sowie der Verlauf der Erkrankung sind von der Erregerdosis, dem Übertragungsweg, der Lokalisation der Infektionspforte und der Widerstandskraft des Wirtsorganismus abhängig (ANDERSON, 1979; FOLZ, 1984; BORNSTEIN, 1995). Zum Beispiel treten bei schweren Infektionen und einem schlechten Allgemeinbefinden bereits zwei Wochen (6-13 Tage) nach Milbenkontakt erste Läsionen auf. Bei einer geringen (200 Milben) Parasitenzahl dauerte es zwei bis acht Wochen, bis erste klinische Symptome auftraten (ANDERSON, 1979; MÖRNER und CHRISTENSSON, 1984; NIEMAND und SUTER, 1994; BORNSTEIN, 1995). Eine Milbenanzahl von 200 Exemplaren als Infektionsdosis stellt wahrscheinlich eine Infektion unter natürlichen Bedingungen dar. Bei einer Reinfektion wurde eine Inkubationszeit von drei Tagen festgestellt (BORNSTEIN, 1995). Die Autoren sind sich über das Vorhandensein einer Prädisposition des Wirtes als Voraussetzung für eine Infektion mit der Räumilbe einig (KONSTANTINOV und STANOEVA, 1976; EICHLER, 1980; HIEPE, 1985).

Der Gesundheits- und Ernährungszustand, sowie die physische Belastung, wie zum Beispiel Trächtigkeit und Laktation, spielen eine entscheidende Rolle für die klinische Manifestation der Räude. Als zusätzliche prädisponierende Faktoren kommen Vitamin-A-Mangel, Eiweißmangel, Phosphormangel, Kalziumüberschuss und starker Wurmbefall in Frage (KUTZER, 1970; IPPEN et al., 1995; SCHUSTER et al., 2001).

Die Prädilektionsstellen der *Sarcoptes*-Räude sind die Augenpartien (sogenannte Brillenbildung), der Nasenrücken und Ohrränder beim Hund; Nacken, Kruppe, Schwanzansatz und Hinterbeine beim Rotfuchs (MÖRNER und CHRISTENSSON, 1984; MEDLEAU, 1990).

Der charakteristische intensive Juckreiz beginnt etwa zwei Monate nach der Infestation. Dieser ist vor allem durch die mechanische Irritation durch die Grabtätigkeit, toxische Produkte der Milbe, Sekretion allergischer Substanzen (zum Beispiel Speichel) und freigelegte Nervenendigungen in der Epidermis zurückzuführen (ANDERSON, 1979; EICHLER, 1980). An den befallenen Stellen bilden sich mit rotem Hof umgebene Knötchen, Pusteln, Exkorationen, alopezische Stellen (wie Mottenfraß) aus. Bedingt durch die starke Hyperkeratose kommt es zum Haarausfall und zu einer hochgradigen

Krusten-, Borken- und Faltenbildung der Haut (NEMESÉRI und HOLLÓ, 1964; HIEPE, 1985; MEDLEAU, 1990).

Ferner kann es noch zu bakteriellen Sekundärinfektionen kommen, die das Krankheitsgeschehen komplizieren (BOCH, 1989). In freier Wildbahn sind die Füchse schließlich nicht mehr in der Lage, Nahrung zu beschaffen und sterben aufgrund eines schlechten Allgemeinzustandes, einer Eisenmangelanämie und einer durch abgelagerte Immunkomplexe hervorgerufenen Niereninsuffizienz. Der Wärmehaushalt wird durch die Alopezie erheblich beeinträchtigt, so dass die befallenen Tiere in strengen Wintern erfrieren (MÖRNER und CHRISTENSSON, 1984; ARLIAN et al., 1988e; ARLIAN, 1989; TABETHA et al., 2002). Bei experimentellen Infektionsversuchen mit einer hohen Infektionsdosis starben die Tiere nach 67 beziehungsweise 94 Tagen (MÖRNER und CHRISTENSSON, 1984).

2.2.6 Diagnostik der Sarcoptes-Räude

In der Praxis erweist sich der direkte Milbennachweis, zum Beispiel mittels Hautgeschabsel, als sehr schwierig. Es ist in vielen Fällen nicht möglich, mit dieser Methode bei erkrankten Tieren Milben nachzuweisen. Daher werden häufig klinische Hautveränderungen als einziger Anhaltspunkt für eine Behandlung herangezogen. Klingen die Symptome nach Medikamentengabe ab, erwies sich die gestellte Diagnose als richtig (MORIELLO, 1987). Differentialdiagnostisch kommt fast jede mit Juckreiz einhergehende Dermatose in Frage. Demzufolge ist eine genaue Diagnose sehr wichtig, um die Ausbreitung des Erregers zu verhindern (ANDERSON, 1979).

2.2.6.1 Konventionelle Methode

Zur Diagnose der Sarcoptes-Räude eignen sich folgende Methoden:

1. Hautgeschabsel
2. Zentrifugations-Flotationsmethode mit Hautmaterial, Flotationsmethode aus Kot
3. Auswandern aus der Petrischale
4. Hautbiopsie (ANDERSON, 1979).

Bei der Zentrifugations-Flotationsmethode, Hautgeschabsel und der Hautbiopsie handelt es sich um den sogenannten Totnachweis.

1. Hautgeschabsel: Für das Gewinnen eines Geschabsels wird ein scharfer Löffel (oder ein stumpfes Skalpell) verwendet, mit dem mehrere veränderte Hautstellen an den Randzonen so lange tief abgeschabt werden, bis sie blutig erscheinen. Das auf diese Weise gewonnene Geschabsel wird mit 10%iger KOH-Lösung versetzt. Dieses Gemisch wird so lange bei Zimmertemperatur stehen gelassen, bis sich die Hautstück-

chen beziehungsweise Borken weitgehend aufgelöst haben. Um den Prozess zu beschleunigen, kann das Gemisch von Hautgeschabsel und Kalilauge erwärmt werden. Die Probe wird dann zentrifugiert und der Überstand abgegossen. Das Sediment wird im Mikroskop nach Milben durchmustert.

2. Für die Zentrifugations-Flotationsmethode wird das mit 10%iger KOH-Lösung versetzte Material kurz erhitzt. Dann wird eine gesättigte Zuckerlösung dazugegeben. Das Gemisch wird zentrifugiert und ein Tropfen von der Oberfläche der Flüssigkeit auf einen Objektträger verbracht. Milben und Milben-Eier können im Falle einer Infektion gefunden werden.

Flotationsmethode aus Kot: Mittels Flotationsverfahren können die Milben auch im Kot nachgewiesen werden. Füchse scheiden im Kot eine hohe Anzahl an Milben und Milbeneiern aus, die nach Belecken und Benagen der Haut abgeschluckt wurden. Diese Methode ist recht unspezifisch und erfordert Erfahrung des Diagnostikers. Verwechslungen mit der Futtermilbe *Tyroglyphus* spp. sind möglich (MORIELLO, 1987).

3. Auswandern aus der Petrischale: Eine Methode, um lebende Milben und deren Entwicklungsstadien aus Hautmaterial zu isolieren, beschrieb ANDREWS (1981). Dafür wird die entnommene veränderte Haut in dünne Streifen geschnitten und für 12-24 Stunden bei Raumtemperatur in eine Petrischale gelegt. Danach wird das Gefäß samt Inhalt auf eine schwarze Oberfläche verbracht und ein 1-2 cm großer, warmer Lichtkegel erzeugt. Nach etwa einer Stunde wandern vorhandene Milben aufgrund eines Temperaturunterschiedes an die wärmere Stelle und werden als weiße Flecken sichtbar. Mit einer feinen Nadel können dann die ausgewanderten Milben aufgelesen werden. Diese können so von toten Tieren, die bei 4°C für drei bis vier Tagen in Plastiksäcken aufbewahrt wurden, isoliert werden.

4. Hautbiopsie: Eine Hautbiopsie ist bei der Sarcoptes-Räude nicht sehr sinnvoll, da verhältnismäßig wenig Milben vorhanden sind. Diese Methode eignet sich eher, um andere Krankheitsursachen auszuschließen (MORIELLO, 1987).

2.2.6.2 Serologische Methode

Eine Immunantwort auf eine Infektion mit Sarcoptes-Milben in Form von Serum-Antikörpern wurde ursprünglich bei mit *Sarcoptes scabiei* var. *suis* infizierten Schweinen beschrieben (NÖCKLER et al., 1992; BORNSTEIN und ZAKRISSON, 1993; WENDT et al., 2002).

BORNSTEIN und ZAKRISSON (1993) und SOBEK (1998) entwickelten eine sensitive Methode, um Antikörper gegen die Räudemilbe im Serum befallener Hunde nachzuweisen. Es handelt sich um einen indirekten ELISA, der in der Lage ist, auch kleine

Mengen der zirkulierenden Antikörper (IgG) nachzuweisen. Bei Hunden mit sichtbaren klinischen Symptomen konnten hohe Antikörperspiegel nachgewiesen werden. Dagegen konnte bei Tieren mit schwachen klinischen Symptomen nur ein niedriger Titer im ELISA festgestellt werden. Nach einer Reinfektion zeigte sich bei Hunden eine schwächere und verspätete Immunreaktion. Offenbar löst schon eine geringe Milbenanzahl eine Immunantwort aus. Diese ist aber nicht ausreichend, um klinische Symptome hervorzurufen. Die Antikörperinduktion ist von der Anzahl und der Infektiosität der Milben und dem Immunstatus des Wirtsorganismus abhängig (BORNSTEIN, 1995).

BARTNIK (2001) modifizierte den indirekten ELISA, um Antikörper gegen die *Sarcoptes*-Milbe beim Rotfuchs nachzuweisen.

Die Sensitivität und Spezifität des Testes liegen bei 92% beziehungsweise 96%. Es wurden keine Kreuzreaktionen mit anderen Ektoparasiten nachgewiesen (BORNSTEIN, 1995; BORNSTEIN et al., 1996). Bei Menschen mit einer Scabies-Infektion wiesen 30- 40% der Patienten Kreuzreaktionen mit der Hausstaubmilbe (*Dermatophagoides farinae*) auf (NESTE, 1986).

NÖCKLER et al. (1992) vermuteten bei ihren Untersuchungen Kreuzreaktionen mit anderen Milbenspezies wie zum Beispiel *Cheyletiella* spp., Hausstaubmilben oder Futtermilben (*Tyrophagus* spp., *Glycyphagus* spp.).

2.2.7 Therapie

Eine Behandlung der *Sarcoptes*-Räude des Rotfuchses kommt nur ausnahmsweise in Betracht. Sie kann eventuell in zoologischen Gärten oder bei zahmen, privat gehaltenen Füchsen notwendig werden. In freier Wildbahn werden räudige Füchse erlegt (Vorsicht bezüglich der Milbenübertragung auf den Menschen).

Eine Therapie der *Sarcoptes*-Räude kann mit Makrozyklischen Laktonen (Ivermectin, Doramectin, Milbemycin, Moxidectin und Selamectin) versucht werden.

Gute Erfahrungen wurden mit der oralen Applikation von Doramectin (400 mg /kg KM) gemacht. Mit Hilfe von Fraßködern (zum Beispiel präparierte Ölsardinen) wurde Doramectin über drei Wochen täglich verabreicht. Die Füchse wiesen innerhalb von drei Monaten keine Anzeichen einer klinischen Räude mehr auf (SCHEIN, 2004; persönliche Mitteilung).