

5 Diskussion

5.1 Relevanz epidemiologischer Untersuchungen bei Zoungulaten

Tiere leben in zoologischen Gärten langfristig auf engerem Raum zusammen als Tiere in freier Wildbahn. Insbesondere in Gemeinschaftsanlagen stehen die Tiere miteinander in engem direktem und indirektem Kontakt. Teilweise treffen in solchen Anlagen Tierarten zusammen, die sich im Freiland nicht begegnen würden, weil sie geographisch oder ökologisch getrennt voneinander vorkommen. Vor allem Huftiere werden in Gemeinschaftsanlagen präsentiert. Bestimmte Huftierspezies können latente Träger von Infektionserregern sein, die bei anderen Arten zu schweren Erkrankungen führen (siehe Abschnitt 2.1.3.3). Es stellte sich daher die Frage, ob Tiere in Gemeinschaftsanlagen durch solch interspezifisch übertragbare Erreger einem höheren Infektionsdruck ausgesetzt sind als Tiere in Einzelart-haltungen. Da die veterinärmedizinische Betreuung zu den grundlegenden Aufgaben der Zootierhaltung gehört (MARTIN et al., 1992; KOHN, 1994), erschien es sinnvoll, die Huftiere auf Antikörper gegen Erreger zu untersuchen, die zum einen praktische Relevanz besitzen und zum anderen interspezifisch übertragbar sind. Um dem ersten Kriterium genüge zu tun, wurde ein retrospektiver Überblick der veterinärmedizinischen Archiv-Befunde aus den Zoos seit 1998 erstellt. Unter Berücksichtigung des Umfangs der Studie wurde die Auswahl auf fünf virale (BHV-1, CHV-1, HVC-1, BVDV) und drei bakterielle Infektionserreger (*C. psittaci*, *C. burnetii*, *M.pt.*) sowie auf drei Huftierfamilien (Bovidae, Cervidae und Camelidae) be-schränkt. Somit ist, nach Kenntnis der Verfasserin, erstmals eine systematische epidemiolo-gische Untersuchung von interspezifisch übertragbaren Infektionserregern bei Zoungulaten in verschiedenen Haltungsformen durchgeführt worden.

5.2 Methodenkritik

5.2.1 Veterinärmedizinische Archiv-Befunde

Bei der Auswertung der Archiv-Befunde aus den Jahren 1998 bis 2003 wurde deutlich, wie sehr der Umfang der durchgeführten prophylaktischen und therapeutischen Diagnostikmaß-nahmen sowie der pathologischen Untersuchungen zwischen den Einrichtungen variierte (siehe Tab. 16, Abschnitt 4.2). Die Häufigkeit der in Auftrag gegebenen Untersuchungen bezüglich der acht für diese Arbeit ausgewählten Infektionserreger variierte zwischen 42 Befunden innerhalb von sechs Jahren und 1069 Befunden innerhalb von drei Jahren. Dieses spiegelt einerseits den unterschiedlich großen Huftierbestand und andererseits das veteri-närmedizinische Management der Einrichtungen wieder.

Wie aus Tab. 17 (siehe Abschnitt 4.2) ersichtlich, wurden die Diagnostikmaßnahmen mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt. Durch die unterschiedliche Häufigkeit sowie die Unterschiede in der Methodik und der Dokumentation (Karteikarten, Med-ARKS und sonstige EDV) ist der Umfang der erhobenen veterinärmedizinischen Daten sehr heterogen auf die zoologischen Gärten verteilt. Daher wurden diese Daten nur als Basis für die Auswahl der Infektionserreger herangezogen. Auf eine weiterführende statistische Auswertung, insbesondere einen Vergleich der Zoos untereinander, wurde verzichtet.

Die diagnostischen Schwerpunkte lagen bei *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis* (*M.pt.*), *Coxiella (C.) burnetii* und *Chlamydophila (C.) psittaci* (siehe Abschnitt 4.2, Tab. 18). Sie ergeben sich aus den Hauptaufgaben der veterinärmedizinischen Betreuung von Zoowiederkäuern: Die ursächliche Aufklärung von therapieresistenten Durchfällen, Fortpflanzungsstörungen sowie abortierten und lebensschwach geborenen Jungtieren. Zudem haben einige Studien der letzten Jahre die Aufmerksamkeit vermehrt auf die Paratuberkulose gelenkt (FISCHER, 1999; KAANDORP, 1998; MANNING und ZICCARDI, 2000).

5.2.2 Untersuchungsmaterial

Das große Interesse am Thema Gemeinschaftshaltungen spiegelt sich in der hohen Zahl an eingesandten Blutproben (insgesamt 1152) wieder. Der Anteil auswertbarer Blutproben ist mit 99,6% sehr hoch und spricht für eine adäquate Vorgehensweise bei der Blutabnahme und einen zügigen Probenversand. Bei 83% (n=771) der 926 untersuchten Tiere waren alle epidemiologischen Rahmendaten bekannt. Insbesondere von den älteren Proben aus den Blutbanken fehlten eine oder mehrere Angaben bezüglich der Gehegegröße, der Populationsdichte, des Alters oder des Geschlechts des Tieres. Demzufolge wurden unterschiedlich große Stichproben in der statistischen Analyse berücksichtigt.

5.2.2.1 Repräsentativität der Proben

Eines der Ziele dieser Arbeit war es, den Einfluss verschiedener Haltungsbedingungen auf die Seroprävalenz zu überprüfen. Mit Ausnahme der Auswahl der zoologischen Gärten war die Probennahme bezogen auf den jeweiligen vermuteten Einflussfaktor weder zufällig noch systematisch, sondern erfolgte nach zoo-internen Regeln. Wie in Abschnitt 3.3 erläutert, wurden die Stichproben im Rahmen von Transportvorbereitungen sowie veterinärmedizinischen Maßnahmen wie Diagnostik, Geburtshilfe oder Hufpflege entnommen. Diese Probenahmeregeln waren in allen elf zoologischen Gärten in etwa dieselben und wurden auf alle

Tiere gleichermaßen angewendet. Die „sampling-Regeln“ können daher als systematisches Sampling bezeichnet werden, was für die statistische Analyse eine (eingeschränkte) Zufälligkeit erzeugt. Dies gilt sowohl für die Probennahme der Archivbefunde als auch für die Probennahme der im Detail durchgeführten eigenen serologischen Untersuchungen. Die untersuchten Stichproben können im Wesentlichen folgenden vier Strata zugeteilt werden:

1) Huftiere, die auf einen Transport vorbereitet wurden.

Diese Tiere waren alle klinisch gesund. Sie wurden im Allgemeinen nach ihrem genetischen Wert und nach ihrem Verwandtschaftsgrad mit den zurückbleibenden Tieren ausgewählt. Innerhalb des Stratum „Transport“ wurde demnach eine eingeschränkt zufällige Tierausswahl getroffen.

2) Schafe und Ziegen, die einer Reihenuntersuchung unterzogen wurden.

Dieses Stratum wurde in vier Anlagen verschiedener zoologischer Gärten untersucht. Die Tierausswahl innerhalb des Stratum ist als systematisch zu werten, da alle Schafe und Ziegen einer Anlage untersucht wurden.

3) Huftiere, bei denen Maßnahmen wie Hufpflege und Geburtshilfe durchgeführt wurden.

4) Huftiere, die krank waren.

Da nicht vorausgesetzt werden kann, dass alle Tiere, bei denen Hufpflege oder Geburtshilfe hätte durchgeführt werden müssen bzw. die krank waren, auch zur Untersuchung gelangten, ist die Tierausswahl in diesen beiden Strata als eingeschränkt systematisch zu klassifizieren.

Trotz der Tatsache, dass die Probenentnahme nicht beeinflusst werden konnte, entsprach die Verteilung der Stichproben auf die verschiedenen Haltungsbedingungen und die anderen möglichen epidemiologischen Einflussfaktoren in etwa den Anteilen in der Gesamtpopulation (siehe Abschnitte 4.1.1 bis 4.1.6). Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass es sich bei den in dieser Arbeit untersuchten Tieren um eine eingeschränkt repräsentative Stichprobe für die Gesamtpopulation der Zoungulaten handelt.

5.2.2.1.1 Aufteilung der Proben nach Herkunft

Die elf zoologischen Gärten wurden nach den Kriterien Größe und Huftierbestand ausgewählt. Im Verlauf der Studie hat sich gezeigt, dass beide Kriterien keine zuverlässige Vorhersage zum möglichen Stichprobenumfang erlaubten. Die Verteilung der Stichproben

auf die zoologischen Gärten kann nicht als optimal angesehen werden. Aus vier Einrichtungen stammten jeweils über 100 Stichproben, während zwei Zoos weniger als 35 Proben zur Verfügung stellten. Diese ungleichmäßige Verteilung hat drei Ursachen:

- Die Gesamtanzahl der Paarhufer differierte teilweise stark zwischen den Einrichtungen (siehe Abschnitt 4.1.1). So lebten in einer Einrichtung über 700 Paarhufer, während fünf Einrichtungen weniger als 150 Paarhufer besaßen. Dennoch waren die beiden Einrichtungen mit dem höchsten Huftierbestand (Zoos Nr. 1 und 10) verhältnismäßig schwach vertreten, was zum Teil in den beiden folgenden Ursachen und zum Teil im unterschiedlichen veterinärmedizinischen Management begründet liegt.
- In den verschiedenen Einrichtungen wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit der Probenentnahme begonnen.
- Zwei Zoos verfügten nicht über eine Blutbank, so dass aus diesen nur Proben aus den Jahren 2004 bis 2005 untersucht werden konnten. Ein weiterer Zoo lagerte seine Blutbank-Proben bei -10°C , was sich negativ auf die Probenqualität auswirkt. Serumproben sollten bis zur Untersuchung bei Temperaturen von höchstens -20°C gelagert werden (KRAFT und DÜRR, 1999). Aus diesem Grund wurde von einer Untersuchung der bei -10°C gelagerten Proben abgesehen.

Eine Abhängigkeit der Antikörperprävalenz vom Vorhandensein einer Blutbank oder vom Zeitpunkt des Beginns der Probensammlung ist jedoch nicht zu vermuten. Aus der ungleichen Herkunft der Proben ist demnach kein systematischer Fehler in der Ermittlung der Seroprävalenz zu erwarten.

5.2.2.1.2 Aufteilung der Proben auf die Gesamtanzahl der Anlagen

Die Stichprobenanzahl pro Anlage war niedrig: Von den 179 untersuchten Anlagen waren 106 mit weniger als fünf Proben und nur 25 durch mindestens 10 Proben vertreten. Nur in 15 Anlagen wurden unterschiedliche Spezies untersucht (siehe Anhang F, Tab. F5). Da mehrere Proben aus der gleichen Anlage nicht unabhängige Datenpunkte, sondern „repeated measurements“ darstellen (siehe Abschnitt 5.2.2.2), ist die geringe Stichprobenzahl pro Anlage als Vorteil zu werten.

5.2.2.1.3 Aufteilung der Proben nach Haltungsform

Die Probenverteilung auf die vier Haltungsformen (Einzelart, Gemeinschaft von Spezies derselben Familie, Gemeinschaft von Spezies unterschiedlicher Familien, Streichelzoo) hatte in etwa das Verhältnis von 6:1:5:1. Obwohl eine gleichmäßigere Verteilung wünschenswert gewesen wäre, spiegelte sie in etwa das Verhältnis der Haltungsformen in den untersuchten zoologischen Gärten wieder, welches 7:1:5:1 betrug (siehe Abb. 15, Abschnitt 4.1.2). Die Hälfte (49%) der Tiere lebte demnach in Einzelarhaltungen. Dementsprechend stammte fast die Hälfte der Proben (45%) aus ebensolchen.

5.2.2.1.4 Aufteilung der Proben nach taxonomischer Klassifizierung

Die Probenverteilung auf die drei taxonomischen Familien (Boviden, Cerviden, Cameliden) hatte in etwa das Verhältnis von 15:3:2. Der relativ hohe Anteil von 76% (n=700) bei den Boviden erklärt sich dadurch, dass die meisten Ungulaten in den untersuchten Zoos dieser Familie angehörten (siehe Abb. 16, Abschnitt 4.1.3). Die Boviden waren auch die Familie mit der größten Speziesanzahl (siehe Anhang A, Tab. A1). Innerhalb der Familie der Boviden überwiegen mit einem Anteil von 25,9% (n=240) bzw. 23,7% (n=219) die Caprinae und Bovinae. Dies hängt damit zusammen, dass in den untersuchten Zoos diese beiden Unterfamilien mit 590 respektive 537 Individuen zahlenmäßig am häufigsten vorkommen (siehe Tab. 12, Abschnitt 4.1.3). Zudem besitzen diese Tiere oft einen nicht so großen Wert für die zoologischen Gärten, so dass bei ihnen in einigen Fällen explizit für die vorliegende Arbeit Blut abgenommen wurde.

5.2.2.1.5 Verteilung der Proben auf den Untersuchungszeitraum

Eine gleichmäßige Verteilung der Proben auf den Untersuchungszeitraum konnte nicht gewährleistet werden, da die Probennahme ausserhalb der Kontrolle dieser Studie war. Die Probenzahlen aus den Jahren 1998 bis 2001 waren jeweils geringer als in den Jahren 2002 und 2003 (siehe Abschnitt 4.1.6, Abb. 21), weil in einigen Einrichtungen zu diesem Zeitpunkt noch keine Blutbank eingerichtet war oder die Proben bereits für andere Untersuchungen verwendet worden waren. Der Großteil der Proben (n=275) stammte aus dem Jahr 2004, da in diesem Jahr alle beteiligten Einrichtungen mit der Einsendung von Proben begonnen hatten. Mitte des Jahres 2005 wurde die Probensammlung abgeschlossen, weshalb die Probenanzahl für 2005 wieder unter das Niveau von 2004 fiel.

5.2.2.2 Unabhängigkeit der Proben

Hinsichtlich der Prävalenz von Antikörpern gegen die verschiedenen Infektionserreger besteht zwischen den Proben auf folgenden vier Ebenen eine potentielle Abhängigkeit:

- Zwischen den Gehegen eines Zoos
- Innerhalb eines Geheges
- Innerhalb einer Tierart
- Innerhalb einer Tierfamilie

Es wurde versucht, diese Abhängigkeit bei der statistischen Analyse sowie bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen (siehe folgenden Abschnitt 5.2.3). Da die Proben auf individueller Ebene nicht unabhängig voneinander sind, wurde eine explorative Analyse durchgeführt. Legt man die Hypothese zugrunde, dass jeder Zoo eine epidemiologische Einheit darstellt, also mehrere Proben aus der gleichen Einrichtung nicht unabhängige Datenpunkte, sondern „repeated measurements“ darstellen, sind alle Proben eines Zoos als repeated sample und die Proben aus verschiedenen Zoos als unabhängige Stichprobe zu werten.

5.2.3 Statistik

Gemäß Tab. 15 (Abschnitt 4.1.7) ergab sich für den Zusammenhang folgender Einflussgrößen eine signifikante gegenseitige Abhängigkeit:

- **Haltungsform / Herkunft.** Dies hängt damit zusammen, dass die vier Haltungsformen unterschiedlich stark in den zoologischen Gärten vertreten waren. Auch der Anteil der eingeschickten Proben aus jeder der Haltungsformen variierte stark zwischen den Einrichtungen. Der Zoo Nr. 11 hatte beispielsweise nur Proben aus Gemeinschaftsanlagen mit Spezies derselben Familie eingeschickt (siehe Anhang B, Tab. B1).
- **Haltungsform / Gehegegröße.** Die gegenseitige Abhängigkeit dieser beiden Faktoren kommt dadurch zustande, dass 67% der Gemeinschaftshaltungen von Spezies unterschiedlicher Familien über 2000 m² groß waren, während 62% der Streichelzoos eine Größe von unter 500 m² besaßen (siehe Anhang B, Tab. B5).
- **Haltungsform / Populationsdichte.** Die gegenseitige Abhängigkeit kommt dadurch zustande, dass in 58% der Gemeinschaftshaltungen von Spezies unterschiedlicher Familien die Tiere eine Fläche von über 100 m² pro Tier besaßen, während in Streichelzoos den Tieren in 93% der Fälle weniger als 45 m² pro Tier zur Verfügung standen (siehe Anhang B, Tab. B6). Demnach gehörten 54% der Proben der Kategorie der höchsten Populationsdichte (<45 m² / Tier) gleichzeitig in die Kategorie Streichelzoo.

- **Haltungsform / Unterfamilie.** Diese beiden Faktoren hängen miteinander zusammen, weil in Streichelzoos zum Beispiel fast ausschließlich Schafe und Ziegen untergebracht sind und große Antilopen häufig in gemischten Afrika-Anlagen. Daraus resultiert, dass 40% der Tiere aus Einzelarhaltungen und 74% der Tiere aus Streichelzoos der Unterfamilie der Caprinae angehörten (siehe Anhang B, Tab. B2).
- **Haltungsform / Spezies.** So wie die Unterfamilie steht auch die Spezies in Zusammenhang mit der Haltungsform (siehe Anhang B, Tab. B3). Insgesamt 53% der Streichelzoo-Tiere waren Hausziegen. Die untersuchten Hausziegen stammten demnach in 78% der Fälle aus Streichelzoos.
- **Populationsdichte / Spezies.** Insgesamt 60% der Tiere aus Gehegen mit einer umgekehrten Populationsdichte von weniger als 45 m² pro Tier waren Hausziegen (33%) und Mähnspringer (27%) (siehe Anhang B, Tab. B4). Demnach stammten die untersuchten Hausziegen in 84% der Fälle aus Gehegen mit weniger als 45 m² Fläche pro Tier.

Da die epidemiologischen Rahmenbedingungen voneinander abhängig waren, erfolgte eine explorative Analyse der Daten mittels Kreuztabellen und dem Chi-Quadrat-Test. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung als Orientierung über die Prävalenz von Antikörpern gegen bestimmte Infektionserreger bei Zoungulaten zu werten. Hinzu kommt, dass möglicherweise auch Faktoren, die im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden, einen wichtigen Einfluss auf die Expositionsrate gegenüber Infektionserregern haben. Diese werden in Abschnitt 5.4 diskutiert.

5.2.4 Untersuchungsmethoden

Kernstück der vorliegenden Arbeit war das serologische Screening von Zoungulaten auf acht verschiedene, interspezifisch übertragbare Infektionserreger. Das serologische Screening ist gut geeignet, um die Epidemiologie von Infektionskrankheiten zu untersuchen (MUNSON und COOK, 1993). Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen folgende fünf Aspekte berücksichtigt werden:

- Das Auftreten von Antikörpern gegen ein spezifisches Antigen im Serum eines Tieres ist nicht mit einer aktiven Infektion oder einer Erkrankung gleichzusetzen. Es bedeutet, dass das Tier gegenüber diesem Antigen exponiert war und sich mit diesem immunologisch auseinandergesetzt hat (THRUSFIELD, 2005).

- Die verwendeten ELISA-Tests sind zwar für Hauswiederkäuer, nicht jedoch für Wildwiederkäuer validiert. Die Sensitivität und Spezifität der jeweiligen Testsysteme liegen für Wildwiederkäuer möglicherweise geringfügig niedriger (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- In Abhängigkeit vom eingesetzten Testverfahren sowie der Definierung seines Grenzwertes ist mit einem geringen Anteil falsch-positiver und falsch-negativer Befunde zu rechnen. Als Ursache für falsch-positive Resultate kommen vor allem Kreuzreaktionen in Betracht. Falsch-negative Resultate können unter anderem durch unspezifische Inhibitoren verursacht werden (THRUSFIELD, 2005).
- Nicht zuletzt muss bedacht werden, dass bei vielen Wildtierarten der Verlauf der Immunantwort nach einer Infektion mit den untersuchten Infektionserregern nicht bekannt ist. Da in dieser Arbeit von jedem Tier Einzelproben und nicht Serumpaare untersucht wurden, muss damit gerechnet werden, dass exponierte Wildtiere mit noch nicht ausreichender Immunantwort oder einem bereits in Regression befindlichen Antikörper-Titer zu einer geringen Zahl falsch-negativer Ergebnisse geführt haben könnten (GARDNER et al., 1996; MUNSON und COOK, 1993).
- Möglicherweise haben auch nicht berücksichtigte Faktoren eine epidemiologisch wichtige Rolle gespielt. Diese werden in Abschnitt 5.4 diskutiert.

5.2.4.1 Virusneutralisationstest

Zum Nachweis von spezifischen Antikörpern gegen BHV-1, CHV-1, HVC-1 und BVDV sind sowohl der VNT als auch der ELISA adäquate Testverfahren (CHO et al., 2002; van OIRSCHOT, 1996). Aufgrund der großen Zahl unterschiedlicher Tierarten wurde für diese Arbeit der speziesunabhängige VNT verwendet. Für epidemiologische Untersuchungen stellt er eine schnelle, materialsparende und sichere Methode dar (FREY und LIESS, 1971).

5.2.4.2 Kompetitiver ELISA

Zur Bestimmung von BKFV assoziierten Antikörpern wurde ein kommerziell erhältlicher cELISA verwendet. Prinzipiell stehen für den Antikörpernachweis gegen BKFV auch der IFT und der VNT zur Verfügung, doch die Vorteile des ELISA überwiegen:

- Der ELISA ist automatisierbar und ermöglicht einen großen Probendurchsatz.
- Der cELISA verwendet kein artspezifisches Anti-Spezies-Konjugat und kann deshalb speziesunabhängig eingesetzt werden. Er ist daher besonders gut für Untersuchungen bei Wildtieren geeignet (LI et al., 1995).
- Für den ELISA werden nur geringe Mengen Serum benötigt, was bei der begrenzten Probenmenge einen großen Vorteil gegenüber dem VNT bedeutet.
- Der cELISA verwendet polyklonale Antikörper gegen ein Epitop, welches alle BKFV besitzen. Dadurch hat er gegenüber dem VNT den Vorzug, dass er alle gegen ein beliebiges BKFV gerichteten Antikörper detektiert.

Ein Nachteil des cELISA ist, dass er nicht unterscheiden kann, welcher BKF-Virustyp die Antikörper-Bildung induziert hat. Um diese Frage in weiteren Studien klären zu können, wurden zusätzlich zum Plasma die Leukozytenkonzentrate („buffy coat“) von 433 Huftieren isoliert und bei -80°C gelagert.

5.2.4.3 Indirekter ELISA

Für die serologische Untersuchung von *C. psittaci*, *C. burnetii* sowie *M.pt.* wurde ein indirekter ELISA verwendet. Prinzipiell steht dafür auch die Komplementbindungsreaktion (KBR) zur Verfügung, welche dem ELISA jedoch in Bezug auf die Sensitivität unterlegen ist (KOVÁČOVÁ und KAZÁR, 2000). Der ELISA ist einfach und schnell durchführbar und eignet sich gut für epidemiologische Untersuchungen. Ein Nachteil der Untersuchung von Wildtieren mittels ELISA ist, dass der ELISA üblicherweise konjugierte Antiseren gegen spezies-spezifische Immunglobuline erfordert, die nicht kommerziell erhältlich sind. Daher werden für diesen Zweck Testkits aus der Haustierdiagnostik übernommen, die nicht für Wildtiere validiert sind (GARDNER et al., 1996). Solche Testsysteme wurden auch in der vorliegenden Arbeit verwendet. Der CHEKIT[®]-Chlamydia, CHEKIT-Q-Fever[®] und HerdChek *M.pt.*[®] sind für Hausrinder, -schafe und -ziegen validiert, eignen sich durch den Einsatz von Protein G jedoch auch für die speziesübergreifende Diagnostik von Wildwiederkäuern (KRAMSKY et al., 2003). Zudem ist der HerdChek *M.pt.*[®] der einzige in Deutschland zugelassene ELISA zum Nachweis von spezifischen Antikörpern gegen *M.pt.* bei Wiederkäuern.

5.3 Prävalenz von Antikörpern gegen die untersuchten Infektionserreger

5.3.1 Alphaherpesviren

Die Auswertung der Archivbefunde ergab, dass in den Jahren 1998 bis 2004 insgesamt 193 Huftiere auf BHV-1 untersucht wurden. Bei drei (1,6%) Tieren wurde eine BHV-1 Infektion diagnostiziert (siehe Abschnitt 4.2). Ein ähnliches Ergebnis wurde in der eigenen serologischen Untersuchung erzielt: mittels VNT waren bei 14/920 (1,5%) der Huftiere spezifische Antikörper gegen BHV-1 nachweisbar (siehe Abschnitt 4.3.1). Damit entspricht die ermittelte Seroprävalenz der in vorangehenden Studien festgestellten Werte: 1,9% bei Wildwiederkäuern aus verschiedenen nordamerikanischen Zoos (DOYLE und HEUSCHELE, 1983b) und 3,2% der in Gefangenschaft und frei lebenden Cerviden aus Deutschland (FRÖLICH, 1996). In einer neueren Untersuchung von frei lebenden Cerviden aus Deutschland lag die ermittelte Seroprävalenz mit 14% (n=164) deutlich höher (FRÖLICH et al., 2006).

Auf CHV-1 oder HVC-1 wurde in den beteiligten zoologischen Gärten seit 1998 kein Tier untersucht. In der eigenen Untersuchung mittels VNT waren 0,2% der untersuchten Tiere jeweils für CHV-1 und HVC-1 seropositiv (siehe Abschnitt 4.3.1). Dieses Ergebnis fällt geringer als eine vergleichbare epidemiologische Untersuchung von frei- und in Gefangenschaft lebenden Cerviden aus Deutschland aus. In dieser Studie wurden bei 8,1% der Tiere Antikörper gegen CHV-1 und bei 5,5% der Tiere Antikörper gegen HVC-1 nachgewiesen (FRÖLICH, 1996).

Insgesamt deutet die geringe Seroprävalenz von BHV-1, CHV-1 und HVC-1-Antikörper auf eine geringe Endemitätsrate dieser drei Alphaherpesviren in zoologischen Gärten hin. Es kann also davon ausgegangen werden, dass das Risiko einer interspezifischen Übertragung von Alphaherpesviren in Gemeinschaftshaltungen gering ist.

5.3.2 Bovine Virusdiarrhoe Virus

Im retrospektiven Überblick wurde bei 23,3% der 90 untersuchten Tiere BVD diagnostiziert (siehe Abschnitt 4.2). In der eigenen Untersuchung konnten bei 1,4% der Tiere (12 Boviden und einem Camelid) spezifische Antikörper gegen BVDV nachgewiesen werden (siehe Abschnitt 4.3.2). Im Vergleich zu früheren epidemiologischen Studien an Wildwiederkäuern mit Seroprävalenzen von 13,1% (FRÖLICH und FLACH, 1998) bzw. 9,1% (DOYLE und HEUSCHELE; 1983a), ist die ermittelte Seroprävalenz niedrig. Bei der letztgenannten Studie muss berücksichtigt werden, dass über ein Drittel der untersuchten Tiere (515 / 1905) gegen BVD/MD geimpft waren. Von den 1390 nicht geimpften Tieren waren nur 4,3% seropositiv.

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten und statistisch ausgewerteten Tiere waren alle nicht gegen BVD/MD geimpft. Für eine Beurteilung epidemiologischer Unterschiede bezüglich der verschiedenen potentiellen Einflussfaktoren reicht die Zahl der seropositiven Reagenten nicht aus. Da die ermittelte Seroprävalenz von Antikörpern gegen BVDV sehr niedrig war, liegt die Vermutung nahe, dass das aktuelle Risiko einer interspezifischen BVD-Übertragung in Gemeinschaftsanlagen gering ist.

5.3.3 *Coxiella burnetii*

Laut der Archivbefunde seit 1998, die hauptsächlich auf der Methode der Zellkultur basierten, wurde bei 12% der 471 untersuchten Tiere eine Coxiellen-Infektion diagnostiziert (siehe Abschnitt 4.2). Diese Daten passen zu einer früheren, mittels KBR durchgeführten Studie an Zooungulaten in Deutschland, nach der 13% der 469 untersuchten Tiere seropositiv waren (SCHRÖDER, 1998). Bei einer Untersuchung von 297 Beständen deutscher Rinder wurde eine positive Korrelation zwischen Verseuchungsgrad mit *C.burnetii* und Bestandsgröße festgestellt (SCHÄFER, 1983). In der vorliegenden Arbeit konnten mittels ELISA unter 754 untersuchten Tieren nur bei einer adulten Scheweziege Antikörper gegen *C. burnetii* nachgewiesen werden (siehe Abschnitt 4.3.3). Hierbei ist zu bedenken, dass der für diese Studie verwendete ELISA für den Nachweis von Antikörpern bei Hausrindern, -schafen und -ziegen, nicht jedoch bei exotischen Huftieren validiert ist. Deshalb können falsch negative Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Nach Herstellerangaben liegt die Spezifität des Tests für Hauswiederkäuer bei 100% und die Sensitivität bei 93 bis 100%. Die Messung der Bindungsaffinität des verwendeten Protein G bei Wildwiederkäuern steht noch aus (Veröffentlichung in Vorbereitung).

5.3.4 *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis*

Den Archivbefunden zufolge wurde seit 1998 bei 8,6% der 546 untersuchten Tiere direkt oder indirekt *M.pt.* diagnostiziert (siehe Abschnitt 4.2). In der vorliegenden Arbeit wurden bei 19 von 667 untersuchten Huftieren (2,8%) spezifische Antikörper gegen *M.pt.* nachgewiesen (siehe Abschnitt 4.3.4). Der Antikörpernachweis ist eine wichtige Säule in der Diagnostik von *M.pt.*, aber die alleinige Betrachtung der Seroprävalenz kann aus folgenden Gründen keinen Aufschluss über die wirkliche Endemitätsrate von *M.pt.* geben:

- Für Hauswiederkäuer liegt die Sensitivität des verwendeten IDEXX HerdChek *M.pt.* Antikörper ELISA bei 55,5% (KÖHLER et al., 2003) und die Spezifität bei 99,4% (Van

MAANEN et al., 2002). Die Messung der Bindungsaffinität des verwendeten Protein G bei Wildwiederkäuern steht noch aus (Veröffentlichung in Vorbereitung).

- Der verwendete ELISA detektiert nicht bei allen Wildwiederkäuer-Spezies gleichermaßen sicher spezifische Antikörper (MANNING et al., 2001; MILLER et al., 2000). Daher kann ein geringer Prozentsatz falsch negativer Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden.
- In den ersten Monaten nach Infektion mit *M.pt.* überwiegt die zelluläre Immunantwort. Eine nachweisbare Serokonversion erfolgt erst im fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung und tritt nicht bei allen Tieren auf (KÖHLER et al., 2003). Ein Grund für falsch-negative Befunde in der Paratuberkulose-Diagnostik ist demnach die zu frühe serologische Untersuchung.

In der vorliegenden Arbeit war das jüngste ermittelte seropositive Tier ein zehn Monate alter Muntjak. Dieses Ergebnis deckt sich mit Beschreibungen aus der Literatur, denen zu Folge es bei Wildwiederkäuern bereits in einem früheren Lebensalter als bei Nutz-Rindern zur klinischen Erkrankung und zur Bildung von messbaren Antikörper-Titern kommen kann (DEUTZ et al., 2003, KÖHLER et al., 2003; WILLIAMS, 2001).

Die Diagnostik der Paratuberkulose gestaltet sich schwierig, da es im Verlauf der Infektion zu Schwankungen sowohl in der Erregervermehrung und -ausscheidung als auch in der Immunreaktion kommt und oft kein direkter Zusammenhang zwischen Infektion, Erregerausscheidung und Antikörperbildung besteht (SIMMERT, 1999). Deshalb können subklinisch infizierte Tiere weder mit dem direkten noch mit dem indirekten Erregernachweis zuverlässig zu einem frühen Zeitpunkt detektiert werden (HUDA, 2003).

Bedingt durch die insgesamt niedrige Seroprävalenz und die Tatsache, dass in keiner Gemeinschaftsanlage bei verschiedenen Spezies *M.pt.* spezifische Antikörper nachgewiesen wurden, kann in dieser Arbeit keine Aussage über ein hohes oder geringes Übertragungsrisiko in Gemeinschaftshaltungen gemacht werden. Die größte Gefahr besteht darin, dass *M.pt.* über subklinisch infizierte Tiere in den Bestand eingeschleppt und zwischen den Anlagen verbreitet wird. Prophylaktische Maßnahmen greifen kaum, da der Infektionsstatus eines Tieres mit den verfügbaren Methoden *intra vitam* nicht zu jedem Zeitpunkt mit Sicherheit festgestellt werden kann. Ein Fallbeispiel soll dies erläutern: Im Untersuchungszeitraum starben in einer der Einrichtungen mindestens drei Zwergziegen, ein Schaf und eine Pferdeantilope an Paratuberkulose. Als Infektionsquelle wurde eine Gruppe von neu eingestellten Tahren vermutet, die aus einem Zoo kamen, in dem Paratuberkulose-Fälle aufgetreten waren. Diese Tahre wurden ohne Quarantänezeit in der Nähe des Streichelzoos

untergebracht. Ob die subklinische Infektion der Tahre während einer Quarantänezeit durch koprologische Untersuchungen festgestellt worden wäre, ist nicht sicher. Dazu ist die Inkubationszeit der Paratuberkulose zu lang und die Ausbildung eines nachweisbaren Antikörperspiegels zu unstat. Aussagekräftiger wäre dagegen die Information über den Infektionsstatus und das veterinärmedizinische Management des Herkunftzoo: Ob und in welchem Umfang der Zoo Paratuberkulose-Diagnostik durchführt und wie er mit *M.pt.*-positiven Tieren verfährt. In Beekse Bergen zum Beispiel liegt ein Schwerpunkt der Routine-diagnostik auf der Paratuberkulose und hier wurde die gesamte Kamerunschaf-Herde sowie drei Lamas aufgrund positiver *M.pt.* Befunde getötet (KAANDORP, 1998).

5.3.5 Bösartiges Katarrhalieber assoziierte Viren

Den Archivbefunden zufolge wurde seit 1998 mittels PCR bei 37% (18/49) der untersuchten Tiere OvHV-2 nachgewiesen (siehe Abschnitt 4.2). Hierbei lag die Nachweisrate innerhalb der Unterfamilie Caprinae bei 41% (n=39). Im Rahmen der eigenen serologischen Untersuchung wurden mittels cELISA bei 21,2% der 850 untersuchten Huftiere spezifische Antikörper gegen BKFV detektiert (siehe Abschnitt 4.3.5).

5.3.5.1 Einflussfaktor Herkunft

Seropositive Tiere wurden in allen Einrichtungen gefunden. Wahrscheinlich kann davon ausgegangen werden, dass auch in anderen, in dieser Studie nicht untersuchten Zoos und Tierparks die Huftiere gegenüber einem oder mehreren BKFV exponiert sind. Die Anzahl seropositiver Tiere unterschied sich signifikant zwischen den Einrichtungen. Sie lag zwischen 7% und 43% (siehe Abschnitt 4.3.5.1).

5.3.5.2 Einflussfaktor Haltungsform

In insgesamt 50 der 179 untersuchten Anlagen wurden bei mindestens einem Tier Antikörper gegen BKFV nachgewiesen. Von diesen 50 Anlagen waren über die Hälfte (n=27) der Kategorie Einzelarhaltung zuzuordnen (siehe Abschnitt 4.3.5.2).

Die höchste Seroprävalenz wurde mit 60,6% (n=66) in Streichelzoos nachgewiesen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass der Faktor Haltungsform stark mit der untergebrachten Spezies korrelierte: Von 66 Streichelzoo-Tieren waren 35 Hausziegen, 15 Hausrinder, 14 Hausschafe und 2 Lamas (siehe Anhang B, Tab. B3). In dieser Haltungsform stehen die

Tiere nicht nur in direktem, sondern auch in engem indirektem Kontakt miteinander, zum Beispiel über die Hände der Besucher. Das Expositionsrisiko für BKFV ist demnach in Streichelzoos am höchsten. Man muss jedoch bedenken, dass erwachsene infizierte Schafe große Mengen infektiöses OvHV-2 über das Nasensekret ausscheiden können. Dieses kann zum Beispiel über die Hände der Besucher auf andere Tiere übertragen werden. Folgendes Beispiel aus dem Zoo Landau soll die Reichweite dieser Übertragungsmöglichkeit unterstreichen: In dieser Einrichtung hatten die Prinz Alfred Hirsche (*Cervus alfredi*) direkten Kontakt zu den aus dem Streichelzoo kommenden Besuchern. Im Jahr 2006 sind innerhalb von wenigen Monaten alle 1,3 Hirsche gestorben. Bei drei Tieren wurde SA-BKF nachgewiesen, beim vierten lag der Verdacht auf SA-BKF nahe. Bei zwei Hirschen wurden leukotische Geschwüre im Netzmagen festgestellt (JENS-OVE HECKEL, Landau, persönliche Mitteilung). Eine Assoziation von BKFV bei Hirschen mit einer Lymphoproliferation wurde von BLAKE et al. (1990) und HEUSCHELE et al. (1985) beschrieben.

In 16 Gemeinschaftsanlagen wurden verschiedene Spezies untersucht und in 11 davon waren alle untersuchten Tiere seronegativ. Nur eine der Anlagen beherbergte unterschiedliche seropositive Spezies. In diesem Fall waren es Spezies von zwei verschiedenen Familien (Boviden und Cerviden). Die Gefahr der interspezifischen BKF-Übertragung scheint demnach innerhalb einer Gemeinschaftsanlage nicht höher zu sein als zwischen Tieren unterschiedlicher Anlagen innerhalb einer Einrichtung.

Dafür sprechen auch die bisherigen Erfahrungen, die man mit BKF in anderen zoologischen Gärten gemacht hat: bei einem BKF-Ausbruch waren stets Tiere aus verschiedenen Gehegen und unterschiedlichen Revieren betroffen (LI et al., 1999; LUNG et al., 1999; MENSINK et al., 1997). Die in der vorliegenden Arbeit nachgewiesenen seropositiven Tiere kamen ebenfalls aus verschiedenen Gehegen und Revieren. Diese Beispiele untermauern die Vermutung, dass BKF innerhalb eines zoologischen Gartens direkt zwischen den Tieren einer Anlage, aber auch indirekt zwischen den Tieren verschiedener Anlagen übertragen werden kann. Das legt den Verdacht nahe, dass weniger das einzelne Gehege, sondern vielmehr die gesamte zoologische Einrichtung als eine große epidemiologische Einheit anzusehen ist.

5.3.5.3 Einflussfaktoren Gehegegröße und Populationsdichte

Während die zunächst auffälligen Unterschiede in der Seroprävalenz zwischen unterschiedlich großen Gehegen nach statistischer Prüfung nicht bestätigt werden konnten (siehe Abschnitt 4.3.5.3), existierten zwischen unterschiedlich dicht besetzten Gehegen signifikante Differenzen. So sind Anlagen mit hoher Tierdichte (unter 45 m² pro Tier) durch eine hohe

Seroprävalenz (50%; n=109) und Anlagen mit einer niedrigen Tierdichte (über 100 m² pro Tier) durch eine niedrige Seroprävalenz (10%; n=410) gekennzeichnet (siehe Abschnitt 4.3.5.4). Auch beim Faktor Populationsdichte muss jedoch berücksichtigt werden, dass er mit der Haltungsform und der untergebrachten Unterfamilie bzw. Spezies zusammenhängt (siehe Anhang B, Tab. B4 und B6). Demnach waren über die Hälfte (54,4%; n=114) der Tiere aus Anlagen mit einer Populationsdichte von unter 45 m² pro Tier Streichelzoo-Tiere und fast drei Viertel (71%) gehörten zur Unterfamilie Caprinae.

5.3.5.4 Einflussfaktor taxonomische Klassifizierung

Die höchste Seroprävalenz von Antikörpern gegen BKFV hatte mit 24,5% die Familie der Boviden (n=654) (siehe Abschnitt 4.3.5.5). Die Zusammenfassung der Tiere zu Familien war zur groben Orientierung hilfreich, für die genaue Bewertung aber zu ungenau, denn innerhalb der Familie hing der Anteil seropositiver Reagenten stark von der Unterfamilie ab. Die höchste Seroprävalenz wurde mit 54,3% bei den Caprinae (n=219) nachgewiesen. Diese Ergebnisse decken sich mit anderen Studien, die Endemitätsraten bei klinisch gesunden Schafen und Ziegen zwischen 50 und 60% angeben (LI et al., 1996; ROSSITER, 1981). Innerhalb der Caprinae gab es wiederum deutliche artspezifische Unterschiede. Am häufigsten waren Schraubenziegen (81,8%; n=11), Moschusochsen (80%; n=10) und Mähnschafe (73,2%; n=41) seropositiv.

Diese artspezifischen Unterschiede könnten durch eine unterschiedlich hohe Empfänglichkeit für BKFV verursacht worden sein. Eine höhere Suszeptibilität von Tierarten für bestimmte Infektionserreger ist nicht ohne weiteres nachweisbar. Es gibt jedoch Hinweise, dass dies für BKFV der Fall ist. So sind nach den bisherigen Erfahrungen domestizierte Rinder gegenüber BKFV relativ resistent (METZLER, 1991). Auch in dieser Arbeit konnte bei keinem der 30, teilweise in Gemeinschaftshaltung mit Schafen und/ oder Ziegen lebenden domestizierten Rinder spezifische Antikörper gegen BKFV nachgewiesen werden (Streichelzoo-Rinder nicht mitgerechnet). Als besonders empfänglich gelten hingegen die Bisons (LI et al., 2005c). In der vorliegenden Arbeit wurden bei zwei von 14 untersuchten Bisons (14%) BKFV-spezifische Antikörper nachgewiesen. Bisons sind so genannte Sackgassenwirte, so dass von ihnen keine weitere Infektionsgefahr ausgeht (LI et al., 2005c). Auch Bantengs sind für BKFV besonders empfänglich (WIYONO et al., 1994), was in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt, aber auch nicht ausgeschlossen werden konnte, da kein Banteng untersucht wurde. Cerviden wird eine höhere Empfänglichkeit für BKFV zugeschrieben als Hausrindern (REID, 1992). In der vorliegenden Arbeit waren die Cerviden in 15,7% (20/127) der Fälle seropositiv. Andere Autoren geben Seroprävalenzen bei Cerviden zwischen 1 und 9% (LI et

al., 1996) bzw. zwischen 1 und 27% an (ZARNKE et al., 2002). Davidshirsche gelten als besonders empfänglich für BKFV (HEUSCHELE und REID, 2001). In dieser Arbeit wurden neun Davidshirsche untersucht und bei zwei Tieren Antikörper gegen BKFV nachgewiesen.

Die artspezifischen Unterschiede in der Seroprävalenz könnten auch durch eine unterschiedlich starke Exposition verursacht worden sein. Mögliche Ursachen für eine unterschiedliche Exposition werden in Abschnitt 5.4 diskutiert.

In der vorliegenden Studie wurde nicht unterschieden, welches BKFV (OvHV-2, AIHV-1, CpHV-2 oder WTD-MCFV) die Antikörperproduktion induziert hat. Es wird jedoch vermutet, dass die meisten seropositiven Tiere gegenüber OvHV-2 und/ oder CpHV-2 exponiert gewesen sind. Diese Vermutung basiert auf folgenden zwei Überlegungen:

- In allen Einrichtungen waren Schafe und Ziegen, die natürlichen Wirte von OvHV-2 und CpHV-2, untergebracht. Gnus hingegen, die natürlichen Wirte des AIHV-1, werden in Deutschland nur in sechs Einrichtungen gehalten (Allwetterzoo Münster, Zoo Landau, Opelzoo Kronberg, Safaripark Hodenhagen, Safaripark Stukenbrock und der Privatzoo Chiccoland Haslach). In allen Einrichtungen sind Streifengnus (*Connochaetes taurinus*) mit anderen Huftieren vergesellschaftet. Keine dieser Einrichtungen war jedoch in diese Arbeit einbezogen. Da auch keines der untersuchten Tiere aus einer dieser Einrichtungen stammte, konnten die Antikörperreaktionen nicht durch das AIHV-1 induziert worden sein. Andere Huftierspezies als Gnu sind Sackgassenwirte für das AIHV-1. Somit hätte auch der Import eines AIHV-1 positiven Tieres aus einer Einrichtung mit Gnu-Haltung keine weitere epidemiologische Bedeutung gehabt. Eine Einrichtung (Zoo Hannover) hält eine Zuchtgruppe Kuhantilopen (*Alcelaphus buselaphus*), die ebenfalls zu den natürlichen Wirten des AIHV-1 gehören. Diese Kuhantilopen sind nicht untersucht worden und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die seropositiven Huftiere dieser Einrichtung (auch) dem AIHV-1 exponiert gewesen sind. Gewissheit darüber könnte die Untersuchung der bei -80°C gelagerten *Buffy Coats* mittels PCR geben.
- Es ist bekannt, dass in allen rezenten Fällen von BKF in Zoos Schafe oder Ziegen die Hauptrolle als Infektionsquelle spielten (KIUPEL et al., 2004; LUNG et al., 1999; MENSINK et al., 1997; TANNER, 2007). Auch in einem der in dieser Studie untersuchten Zoos war es Mitte der neunziger Jahre zu einem BKF-Ausbruch gekommen, bei dem verschiedene Wildwiederkäuer ums Leben kamen. Als Infektionsquelle wurden neu eingestellte Wildschafe identifiziert. Die in der vorliegenden Studie ermittelte Seroprävalenz bei Schafen und Ziegen von 50% ist ein weiterer Hinweis, dass entweder das OvHV-2 oder das CpHV-2 oder beide zusammen in allen zoologischen

Gärten weit verbreitet sind. Erwachsene Schafe und Ziegen sind demnach als die wahrscheinlichste Infektionsquelle anzusehen, obwohl sie in keinem Fall mit Wildwiederkäuern vergesellschaftet waren. Gewissheit darüber kann die Untersuchung der bei -80°C gelagerten *Buffy Coats* mittels PCR geben. Interessant wäre in dieser Hinsicht auch der Vergleich mit einer zoologischen Einrichtung, die weder Schafe noch Ziegen hat. Eine solche gibt es in Deutschland jedoch nicht.

In Dvůr Králové waren Schafe und Ziegen vermutlich nicht die (einzige) Infektionsquelle. In dieser Einrichtung werden große Gruppen des Weißschwanzgnu (*Connochaetes gnou*) und der zwei Unterarten von *Connochaetes taurinus* (Streifengnu und Weißbartgnu) gehalten. Diese sind auf vier verschiedenen Anlagen mit anderen Wildwiederkäuern vergesellschaftet (siehe Anhang C, Tab. C5). In diesen Anlagen waren 9/12 (75%) Gnus und 2/23 (8,7%) andere Wildwiederkäuer (eine Oryxantilope und ein Impala) seropositiv. In dieser Einrichtung fanden bei allen Tieren die Geburten nach Spezies getrennt im Stall statt. Beim WA-BKF sind jedoch, im Gegensatz zum SA-BKF, nicht die erwachsenen Tiere während der peripartalen Zeit für den Infektionsdruck von Bedeutung, sondern die Gnakälber. Sie stellen während der ersten drei bis vier Lebensmonate die Hauptinfektionsquelle für WA-BKF dar (LI et al., 1998; MUSHI et al., 1980b; RWEYEMAMU et al., 1974). Da alle Jungtiere spätestens nach zwei bis drei Wochen vom Stall auf die Gemeinschaftsanlagen wechseln, kann der Infektionsdruck mit AIHV-1 auf diesen Anlagen zu diesem Zeitpunkt zunehmen. Es ist daher wahrscheinlich, dass zumindest in den oben genannten Gemeinschaftsanlagen Gnus die Infektionsquelle für die seropositiven Tiere waren. Vermutlich war auch ein BKF-Ausbruch, bei dem Mitte der 90er Jahre ein Drittel der Kaffernbüffelherde gestorben und die Infektionsquelle unbekannt geblieben war (JIŘÍ VÁHALA, Dvůr Králové, persönliche Mitteilung), von den Gnus ausgegangen. Ein ähnlicher Verlust ereignete sich im Jahr 1964 im Münchner Tierpark Hellabrunn: Fast die gesamten Bestände an Gaur und Banteng waren an einer BKF-Infektion gestorben, die von Streifen- und Weisschwanzgnu übertragen worden war (HÄNICHEN et al., 1998).

5.3.5.5 Einflussfaktor Alter

Das Alter hatte insbesondere in der Gruppe der Caprinae einen Einfluss auf die Seroprävalenz: Je älter die Tiere, desto höher der Anteil seropositiver Reagenten (siehe Abschnitt 4.3.5.6). Über zwei Jahre alte Caprinae hatten in über 60% (n=151) der Fälle Antikörper gegen BKFV. Das entspricht der heutigen Kenntnis über die Epidemiologie des SA-BKF,

wonach Lämmer nicht mit BKFV infiziert geboren, sondern erst im Laufe der ersten Lebenswochen infiziert werden und danach lebenslang latent infiziert bleiben. Ab dem fünften Lebensmonat scheiden die Schafe das Virus aus, wobei der Höhepunkt der Virusausscheidung zwischen dem siebten und neunten Monat liegt (LI et al., 2001c). Antikörper sind bereits ab dem dritten Lebensmonat nachweisbar. Im Gegensatz zu den natürlichen Wirten des SA-BKF infizieren sich die Wirte des WA-BKF (Gnukälber) bereits in der peripartalen Zeit horizontal oder vertikal durch intrauterine Übertragung mit AIHV-1 (MUSHI et al., 1980a). Entsprechend dieser Erkenntnis waren auch in der vorliegenden Studie alle vier untersuchten unter sechs Monate alten Gnus seropositiv.

5.3.5.6 Einflussfaktor Jahreszeit

Es konnte kein jahreszeitlicher Einfluss auf den Anteil seropositiver Reagenten festgestellt werden (siehe Abschnitt 4.3.5.8). Auch in der Literatur existiert kein Hinweis darauf, dass die Jahreszeit bzw. das Klima einen Einfluss auf das Vorkommen von BKF bei Nutz- und Zootieren haben. Es ist aber auch denkbar, dass Zootiere allgemein einem weniger starken Jahreszyklus unterworfen sind als im Freiland lebende Wildtiere. Sie erhalten z.B. eine konstante Fütterung, haben bei schlechtem Wetter Deckungsmöglichkeiten (Unterstand, Stall) und können keine wesentlichen Unterschiede im Sozialverhalten zeigen (z.B. Absondern von der Herde bei der Geburt oder Abwandern von Junggesellen).

5.3.6 *Chlamydophila psittaci*

Dem retrospektiven Überblick der veterinärmedizinischen Befunde zufolge wurde seit 1998 bei 14,5% von 406 untersuchten Tieren eine Chlamydiose diagnostiziert (siehe Abschnitt 4.2). In der vorliegenden Studie konnten mittels ELISA bei 19,6% der 843 untersuchten Tiere spezifische Antikörper gegen Chlamydien nachgewiesen werden (siehe Abschnitt 4.3.6). Diese beiden Prozentzahlen können nicht direkt miteinander verglichen werden, da die retrospektiven Befunde vorrangig auf dem direkten Erregernachweis mittels Zellkultur oder auf der KBR basierten. Obwohl die KBR eine geringere Sensitivität als der ELISA besitzt, wird sie als Standardmethode in der Diagnostik bei Zooungulaten angewendet. Zum Teil basieren auch die Ergebnisse aktueller Studien auf der KBR (SCHRÖDER, 1999; TRÁVNÍČEK et al., 2001). Der verwendete Chekit-Chlamydia Antikörper ELISA besitzt laut Herstellerangaben für Hauswiederkäuer eine Spezifität von 100% und eine Sensitivität von 89-95%. Für Wildwiederkäuer steht die Messung der Bindungsaffinität des verwendeten Protein G noch aus (Veröffentlichung in Vorbereitung).

5.3.6.1 Einflussfaktor Herkunft

Tiere mit spezifischen Antikörpern gegen Chlamydien wurden in allen Einrichtungen nachgewiesen (siehe Abschnitt 4.3.6.1). Die Seroprävalenz schwankte zwischen 4% und 37%. Alle Tiere waren zum Zeitpunkt der Blutabnahme klinisch gesund. Dies spricht für ein Vorkommen klinisch inapparenter Chlamydien-Infektionen in allen untersuchten Zoos. Die Vermutung liegt nahe, dass Zooungulaten in Deutschland und teilweise auch in der Tschechischen Republik regelmäßig gegenüber *C. psittaci* exponiert sind. In den Niederlanden sind Zoowiederkäuer in rund 2% (n=227) der Fälle seropositiv (VERCAMMEN et al., 2004). Nach Aussage verschiedener Autoren werden durch Chlamydien verursachte Aborte bei Zoowiederkäuern unterschätzt (WHITTINGTON, 2001; LÉCU et al., 2004). Die große Verbreitung von Chlamydien in zoologischen Gärten hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass die bei Tieren vorkommenden Chlamydien wenig wirtsspezifisch sind. Sie können bei den verschiedensten Tierarten angetroffen werden (SACHSE und HOTZEL, 2000).

5.3.6.2 Einflussfaktor Haltungsform

In 45% der 177 untersuchten Anlagen wurde mindestens ein Tier mit Antikörpern gegen *C. psittaci* nachgewiesen (siehe Abschnitt 4.3.6.2). Dieser hohe Anteil an betroffenen Anlagen unterstreicht die Bedeutung der indirekten Übertragung für die Verbreitung von Chlamydien innerhalb einer zoologischen Einrichtung. Den höchsten Anteil an Anlagen mit mindestens einem seropositiven Tier besaßen mit 53% (n=15) bzw. 48% (n=54) Gemeinschaftsanlagen mit Spezies derselben bzw. unterschiedlicher Familien. Die Infektionsketten sind innerhalb eines Geheges teilweise nachvollziehbar. Zum Beispiel waren in einer Gemeinschaftsanlage zwei Trampeltiere seropositiv. Zwei Jahre später war dies auch bei einem weiteren Trampeltier sowie zwei Yaks der Fall. Es besteht demnach die Möglichkeit, dass in diesem Falle die Infektion von den Trampeltieren auf die Yaks übertragen worden ist. Erwachsene Tiere können über einen langen Zeitraum klinisch inapparent infiziert bleiben (TSCHIRCH, 2002). Deshalb sind die Infektionsketten nicht immer offensichtlich, insbesondere wenn verschiedene Gehege betroffen sind. Die höchste Seroprävalenz wurde mit 29% (n=62) bei Streichelzoo-Tieren nachgewiesen. Wie bereits für BKF in Abschnitt 5.3.2 besprochen, könnte dies durch den zusätzlichen indirekten Kontakt der Tiere durch die Besucherhände bedingt sein. Bei den Neuweltkamelen, die mit 35,3% (n=51) die höchste Seroprävalenz aufwiesen, wurden keine haltungsbedingten Unterschiede festgestellt. Das hängt vermutlich damit zusammen, dass bei den Neuweltkamelen weniger der aerogene als vielmehr der koitale und intrauterine Infektionsweg im Vordergrund stehen (GÖPNER et al., 1999).

5.3.6.3 Einflussfaktoren Gehegegröße und Populationsdichte

Aus epidemiologischer Sicht wäre zu erwarten, dass mit zunehmender Populationsdichte die Expositionswahrscheinlichkeit gegenüber *C. psittaci* ansteigt. Insbesondere wenn die Tiere, wie unter Zoobedingungen, zu jeder Jahreszeit auf relativ engem Raum zusammenleben. In dieser Arbeit konnte jedoch weder für den Faktor Gehegegröße noch für den Faktor Populationsdichte ein signifikanter Einfluss auf die Exposition gegenüber *C. psittaci* nachgewiesen werden (siehe Abschnitt 4.3.6.3 und 4.3.6.4). Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass im Zoo die Geburten in der Regel im Stall stattfinden und Mutter und Jungtier die ersten Tage *post partum* hier verbringen. Chlamydien werden insbesondere mit infizierten Nachgeburten ausgeschieden. Wenn der Stall nach der Geburt entmistet wird, bevor andere Tiere in Kontakt mit den Geburtsprodukten kommen, könnte dies bereits ausreichen, um auch in dicht besiedelten Anlagen unabhängig von der Populationsdichte den Infektionsdruck von Chlamydien zu reduzieren.

5.3.6.4 Einflussfaktor taxonomische Klassifizierung

Den höchsten Anteil an seropositiven Reagenten wiesen die Cameliden auf (siehe Abschnitt 4.3.2.4.5). Bei fast jedem Dritten (32%) der 74 untersuchten Cameliden wurden spezifische Antikörper gegen Chlamydien nachgewiesen. Innerhalb der Cameliden stellten die Kleinkamele mit 35,3% (n=51) und hierunter die Vikugnas mit 50% (n=10) den größten Anteil seropositiver Tiere dar. In einer mittels KBR durchgeführten Studie an verschiedenen Zoowiederkäuern wurde die höchste Seroprävalenz mit 80% (n=15) ebenfalls bei den Cameliden nachgewiesen (SCHRÖDER et al., 1998). Der erste Bericht über das Auftreten von Chlamydien-Infektionen speziell bei Cameliden datiert von 1968, als im Bukarester Zoo neugeborene Lamas an einer Chlamydien-Infektion mit ZNS-Symptomatik verendeten (POPOVICI et al., 1970). GÖPNER et al. (1999) berichten von einer endemischen Chlamydiose bei Alpakas im Leipziger Zoo, bei der innerhalb von drei Jahren 32 von 53 Fohlen starben. Insbesondere die hohe Seroprävalenz innerhalb der Gattung Lama (35,3%; n=51) bei der vorliegenden Studie untermauert die Vermutung von GÖPNER et al. (1999), dass Neuwelt-Kamele empfänglicher für *C. psittaci* sind als andere Tierfamilien. Sie können demnach für andere, in derselben Einrichtung untergebrachte Spezies eine Infektionsquelle darstellen.

5.3.6.5 Einflussfaktor Alter

Da mit Ausnahme der Kamele der aerogene und orale Infektionsweg eine größere Rolle spielen als der intrauterine (BAZALA und RENDA, 1992), steigt mit dem Lebensalter der Tiere auch die Wahrscheinlichkeit, gegenüber Chlamydien exponiert gewesen zu sein und spezifische Antikörper gebildet zu haben. Diese Aussage spiegelt sich auch in dem Ergebnis dieser Arbeit wieder, wonach die Seroprävalenz von Antikörpern gegen Chlamydien in signifikantem Maße mit dem Alter der Tiere zunahm (siehe Abschnitt 4.3.6.6). Bei den Kamelen wurden nur zwei Tiere im Alter von unter sechs Monaten untersucht, diese waren negativ. Auch in dieser Tierfamilie kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit einer Exposition mit dem Alter zunimmt.

5.3.6.6 Einflussfaktor Jahreszeit

Die in dieser Studie festgestellte höhere Seroprävalenz in den warmen Jahreszeiten Frühling (24%; n=206) und Sommer (24%; n=212) (siehe Abschnitt 4.3.6.8) hängt vermutlich damit zusammen, dass Chlamydien mit Geburtsflüssigkeiten sowie abortierten Feten, also zur Geburtssaison, vermehrt ausgeschieden werden (GERBERMANN, 1991). *Chlamydothila psittaci* kann an Federn oder Kotstaub gebunden, wochenlang infektiös bleiben (STORZ und KRAUSS, 1985). Demzufolge sind die Tiere während der Geburtenphase eher Chlamydien ausgesetzt als im Herbst oder Winter. Die Tiere besitzen demzufolge im Frühling und Sommer höhere und somit messbare Antikörpertiter. Die humorale Immunantwort gegen *C. psittaci* scheint nicht lange belastbar zu sein (RODOLAKIS und SOURIAU, 1980). Das könnte der Grund für einen niedrigeren und dadurch nicht mehr nachweisbaren Antikörpertiter im kalten Winterhalbjahr (15%; n=411) sein.

5.3 Weitere mögliche epidemiologische Faktoren

Zusätzlich zu den bislang diskutierten Haltungsbedingungen haben möglicherweise noch weitere Faktoren einen Einfluss auf die Expositionswahrscheinlichkeit gegenüber Infektionserregern. Einige von ihnen werden im Folgenden erläutert.

5.4.1 Direkter Kontakt

Ein Tier ist gegenüber einem Infektionserreger exponiert, wenn es direkten oder indirekten Kontakt zu einem anderen, den infektiösen Erreger ausscheidenden Tier hat. Häufigkeit und Intensität der Kontakte mit dieser Infektionsquelle bestimmen die Stärke der Exposition (LI et al., 2003a). Je nach vergesellschafteten Tierarten werden qualitativ und quantitativ unterschiedliche interspezifische Kontakte beobachtet. Insbesondere Huftiere fressen häufig zusammen (Abb. 47) und beschnuppern und belecken sich gegenseitig am ganzen Körper. Als ein Beispiel unter vielen sei die Afrika-Anlage im Zoo Landau erwähnt, auf der Streifen- gnus, Rotducker (*Cephalophus natalensis*) und Zebras (*Equus zebra hartmannae*) miteinander in Kontakt treten (HONIGS, 2006). Im Folgenden einige weitere Beobachtungen, die während dieser Studie im Hinblick auf interspezifischen Kontakt gemacht wurden:

- Strauße und Kraniche picken Kraftfutter aus der Raufe der Huftiere und Huftiere fressen aus dem Trog der Vögel (Abb. 48);
- Antilopen und Zebras fressen aus dem Maul der Giraffen gefallenes Futter (Abb. 49);
- Kraniche waschen ihre Futterfische im Wassertrog der Hirschziegenantilopen;
- Vögel picken den Kot verschiedener Huftiere auf (Abb. 50);
- Vögel picken am Fellkleid der Huftiere (Abb. 51);
- Wasserschweine koten in den Teich, aus dem die Huftiere trinken;
- Männliche Tiere nehmen Urin von Weibchen anderer Arten auf (Abb. 52).

Durch diese eigenen Beobachtungen und Berichte der Reviertierpfleger wurden Informationen über Häufigkeit und Art der zwischenartlichen Kontakte zusammengetragen, die in die Rekonstruktion möglicher Ansteckungswege miteinbezogen werden könnten. Statistisch waren diese Daten jedoch nicht auswertbar.

5.4.2 Indirekter Kontakt

In zoologischen Gärten kommen verschiedene Tierarten auf engem Raum zusammen vor. Sie können sowohl als Wirte als auch als Vektoren dienen. Bei den Übertragungsmöglichkeiten sollte auch an die natürlich vorkommenden oder frei lebenden (Wild-) Tiere gedacht werden, die mit Zootieren in Kontakt kommen können: In Dortmund und Nürnberg sind (nicht reviertreue) Pfaue (*Pavo cristatus*) und im Tierpark Hagenbeck Pfaue und Maras (*Dolichotis patagonum*) Freigänger. Prinzipiell können in allen Einrichtungen in unterschiedlichem Maße auch Stockenten (*Anas platyrhynchos*), Graureiher (*Ardea cinerea*), Elstern (*Pica pica*), Tauben (*Columbidae*) und andere Wildvögel sowie Füchse (*Vulpes vulpes*) und Nager (*Rodentia*) als Vektoren fungieren (Abb. 53).

Auch der indirekte Kontakt über Wassertröge, Futterraufen und Salzlecksteine sowie über Zoopersonal und Stallwerkzeug hat einen Einfluss auf die Stärke der Exposition gegenüber Infektionserregern. In den meisten Einrichtungen sind die Tierpfleger bestimmten, fest definierten und räumlich voneinander getrennten Revieren zugeteilt. Es kommt jedoch in allen Einrichtungen vor, dass Pfleger (z.B. bei Krankheits- oder Urlaubsvertretung), Lehrlinge, Zootierarzt, Zooleitung und pädagogisches Personal die Reviere wechseln. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass drei der untersuchten Einrichtungen über Außenstationen verfügen, die für Besucher zugänglich sind und von unterschiedlichen Tierpflegern aber vom selben veterinärmedizinischen Personal betreut werden (Karlsruhe - Oberwald; Leipzig - Langenleuba und Stuttgart - Tennhof). Diese Beobachtungen unterstützen die Vermutung, dass in den meisten Fällen nicht das einzelne Gehege, sondern die einzelne zoologische Einrichtung als eine epidemiologische Einheit angesehen werden sollte.

5.4.3 Umwelt

Da mit Ausnahme der BVDV alle in dieser Arbeit untersuchten Infektionserreger unter günstigen Bedingungen mehrere Wochen, im Falle von *M.pt.* sogar mehrere Monate in der Umwelt überleben und infektiös bleiben können, spielen auch die mikroklimatischen und hygienischen Verhältnisse in den Innenställen sowie die Bodenbeschaffenheit der Außenanlagen eine wichtige Rolle für den Expositionsgrad: Gefälle, Untergrundmaterial, Drainage und Bepflanzung beeinflussen die Reinigungs- und Desinfektionsmöglichkeiten und verhindern bzw. fördern die Pfützen- oder Morastbildung.

5.4.4 Quarantäne

Um eine Verschleppung und Ausbreitung von verschiedenen Infektionserregern zu verhindern, werden Neuzugänge im Allgemeinen zunächst in Quarantäne gehalten. Die Dauer der Quarantäne variiert, je nach erhobenem klinischem, koprologischen oder serologischem Befund, zwischen 14 Tagen und sechs Wochen. Die Quarantänebedingungen sind je nach Einrichtung unterschiedlich. Zwei der untersuchten Einrichtungen verfügen über eine separate Quarantänestation mit angegliederter Krankenstation, die von eigenen Tierpflegern betreut werden. In manchen Einrichtungen gibt es keine speziellen Quarantäneställe und die Neuzugänge werden direkt im Stall untergebracht. Nach OLAF BEHLERT, Köln (persönliche Mitteilung) werden in Einzelfällen die Quarantäneställe zur Unterkunft für Junggesellen oder zum Winterquartier für Wassergeflügel umgewidmet. Die Einhaltung einer Quarantäne wird mitunter auch von der „Zuverlässigkeit“ des Herkunftsbestandes abhängig gemacht (MICHAEL FLÜGGER, Hamburg, persönliche Mitteilung).



Abb. 47: Damhirsche und Mufflons fressen gemeinsam (Zoo Schwerin)



Abb. 48: Nilgauantilope frisst aus dem Trog der Kraniche (Tierpark Hellabrunn)



Abb. 49: Grantzebras fressen unter den Giraffen (Zoo Arnheim, Niederlande)



Abb. 50: Strauss frisst Kot von einem Zebra (Tiergarten Nürnberg)



Abb. 51: Strauss pickt Zebra am Fell (Zoo Valencia, Spanien)



Abb. 52: Hirschziegenantilopen-Bock beim Flehmen, nachdem er Urin vom Axishirsch-Weibchen aufgenommen hat (Tierpark Hellabrunn, München)



Abb. 53: Nebelkrähe zupft Mähnschaf am Fell (Zoo Berlin)

5.4.5 Stress

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Infektionsrate und somit auf die Prävalenz von Antikörpern sind verschiedene Formen mittel- und langfristiger außergewöhnlicher Belastung (Stress). Dazu können zum Beispiel Neuzugänge in einer Gruppe zählen. Neuzugänge spielen nicht nur im Hinblick auf die mögliche Gefahr der Einschleppung neuer Keime eine Rolle, sondern sie sind auch durch den Transport besonders stark belastet. Insofern wären auch Daten zur individuellen Lebensgeschichte der Tiere für die Beurteilung der einzelnen Ergebnisse wichtig gewesen. Ob in einer Gemeinschaftshaltung die Belastung der Tiere höher ist als in einer Einzelhaltung ist bislang nur auf Basis von Verhaltensbeobachtungen untersucht worden. Diese sind jedoch nicht immer zuverlässige Indikatoren (HOFER und EAST, 1998). Es gibt Gemeinschaftshaltungen, in denen die Belastung der unterlegenen Tierart höher ist als dies in einer Einzelhaltung der Fall wäre (siehe Abschnitt 2.1.3.1). Dabei spielt es eine wichtige Rolle ob eine Anlage so konstruiert ist, dass die Tiere Konflikten aus dem Weg gehen können oder ob sie durch ungenügende Rückzugsmöglichkeiten daran gehindert werden. Individuen mit sozialem Geschick, Erfahrung und sozialer Unterstützung können den Ausgang von sozialen Interaktionen besser abschätzen und zeigen in Konfliktsituationen niedrigere Glucocorticoidspiegel (SAPOLSKY, 1990). Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese Zusammenhänge nur für intraspezifische Bedingungen etabliert wurden. Eine Übertragung auf die Situation in Gemeinschaftsanlagen ist nicht ohne weiteres möglich. Man kann jedoch davon ausgehen, dass für ein Tier, das von Geburt an in einer Gemeinschaftsanlage gelebt hat, eine solche Haltung zu einem anderen Maß von Belastung führt als für ein Tier, das an eine solche Situation erst neu gewöhnt werden muss. Von HOLST (1993) weist darauf hin, dass hierbei die Populationsdichte eine entscheidende Rolle spielen kann, wobei hohe Individuenzahlen auf engem Raum und instabile soziale Beziehungen die Belastung erhöhen.

5.5 Mehrfachinfektionen

Bei 63 Tieren (19,6%) wurden Antikörper gegen mindestens zwei verschiedene Infektionserreger nachgewiesen (siehe Abschnitt 4.3.7). Die Hälfte dieser Tiere stammte aus Anlagen mit einer hohen Populationsdichte (maximal 70m² pro Tier) (siehe Tab. 32). Eine hohe Tierdichte erhöht bekanntermaßen die Übertragungswahrscheinlichkeit von Infektionserregern. Deshalb waren die Tiere wahrscheinlich einem hohen Infektionsdruck ausgesetzt.

In der Literatur ist das simultane Auftreten von Coxiellen und Chlamydien im Zusammenhang mit gehäuften Aborten bei Ziegen (SCHÖPF et al., 1991) und Schafen (MÖLLE et al., 1995)

beschrieben worden. In der vorliegenden Arbeit konnten jedoch keine statistisch gesicherten Zusammenhänge nachgewiesen werden, dass Antikörper gegen diese beiden Erreger vermehrt gemeinsam auftraten.

Auch über das Auftreten von Mischinfektionen mit BVD/MD und IBR beim Rind ist berichtet worden, die mit der immunsuppressiven Wirkung dieser Infektionskrankheiten begründet werden (BAKER, 1987). Dieser Zusammenhang konnte in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt, aber auch nicht ausgeschlossen werden, da nur 14 Tiere einen positiven BHV-1 Antikörper-Titer hatten und nur ein Tier auch einen positiven BVDV Antikörper-Titer.

Bei zwei Gauren wurden gleichzeitig Antikörper gegen BHV-1, CHV-1 und HVC-1 nachgewiesen. Hier liegt der Verdacht nahe, dass es zu Kreuzreaktionen zwischen den Antikörpern gegen die drei Alphaherpesviren gekommen ist. Bei verschiedenen Herpesviren sind Äquivalente des Glykoproteins B bekannt, die an serologischen Kreuzreaktionen beteiligt sind (BORCHERS et al., 1990). In diesem Fall wäre es von Interesse, diese Viren aus den eingefrorenen *Buffy coats* zu isolieren und mittels PCR zu charakterisieren.

5.6 Vergleich der ermittelten Seroprävalenz mit den Archivbefunden

Im Vergleich zu den Archivbefunden der Jahre 1998 bis 2003 sind die in der eigenen Untersuchung ermittelten Seroprävalenzen für BKFV, BVDV und *C. burnetii* niedrig (siehe Tab. 33, Abschnitt 4.3.8). Dabei muss berücksichtigt werden, dass ein Vergleich der Archivbefunde mit den eigenen Untersuchungen aus folgenden Gründen nur eingeschränkt möglich ist:

- Wie in Abschnitt 4.2 erläutert, basieren die Ergebnisse der Archivbefunde auf anderen als in der eigenen Untersuchung verwendeten diagnostischen Methoden.
- Die sampling-Regeln, auf denen die Archivbefunde basieren, entsprechen nicht den in Abschnitt 5.2.2.1 erläuterten sampling-Regeln der eigenen Untersuchung. In den Archivbefunden war das Stratum „klinisch kranke Tiere“ im Vergleich zu den eigenen Untersuchungen wahrscheinlich stärker repräsentiert.

5.7 Bedeutung ausgewählter Infektionserreger für vergesellschaftete Zoungulaten

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, die Exposition von Zoungulaten gegenüber interspezifisch übertragbaren Infektionserregern zu untersuchen. Sie sollte als Pilotstudie eine Grundlage für weiterführende bakteriologische und virologische Untersuchungen bilden. Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Zoungulaten sowohl gegenüber BKFV als auch

C. psittaci in bedeutendem Maße exponiert waren. Hingegen schienen in den untersuchten Einrichtungen BHV-1, CHV-1, HVC-1, BVDV und *C. burnetii* eine untergeordnete Rolle zu spielen. Bezüglich *M.pt.* wurde in den untersuchten Einrichtungen eine niedrige Seroprävalenz festgestellt.

Weiterhin sollte die Arbeit die taxonomische Identität der seropositiven Tiere feststellen und epidemiologische Faktoren wie Haltungsform, Gehegegröße und Populationsdichte auf ihren Einfluss auf die Prävalenz von spezifischen Antikörpern überprüfen. Als entscheidender Faktor wurde die taxonomische Zugehörigkeit identifiziert. Die hohe Prävalenz von Antikörpern gegen BKFV bei Schafen und Ziegen gibt Anlass, folgende prophylaktische Maßnahmen zu empfehlen:

- Schafe und Ziegen sollten nicht mit Wildwiederkäuern vergesellschaftet werden.
- Insbesondere in Streichelzoos (Zusammenleben von Schafen und Ziegen in hoher Populationsdichte) sollten während der Ablammzeit die betreuenden Tierpfleger andere Reviere meiden bzw. nur mit vollständig gewechselter Kleidung inklusive Schuhwerk betreten. Während dieser Zeit sollte das Stallwerkzeug regelmäßig desinfiziert und die Einstreu separat entsorgt werden.

Nach einem Ausbruch von SA-BKF in einem Wildpark in den USA mit zahlreichen Todesfällen unter den Cerviden und Hirschziegenantilopen wurde der Versuch unternommen, einen OvHV-2 freien Bestand zu gründen. Dafür wurden alle Ziegen und Schafe inklusive der Mufflons aus dem Park entfernt. Anschließend wurden die Mufflon-Lämmer, die vorzeitig von der Mutter abgesetzt wurden und dadurch virusfrei blieben, in den Park zurückgeführt. Danach war kein weiterer Fall von BKF im Wildpark aufgetreten (COOLEY et al., 2006).

Die hohe Seroprävalenz von Antikörpern gegen *C. psittaci* vor allem innerhalb der Gattung Lama gibt Anlass zur Empfehlung, Kleinkamele ebenfalls nicht mit anderen Wildwiederkäuern zu vergesellschaften.

Nichtsdestotrotz muss davon ausgegangen werden, dass Infektionserreger, die in der Lage sind, Speziesbarrieren zu überspringen, auch Gehegegrenzen überwinden. Diese Erfahrung wurde in der Vergangenheit mehrmals mit der Übertragung von BKFV zwischen verschiedenen Huftierarten (LI et al., 2005c) sowie mit der Übertragung verschiedener Infektionserreger zwischen Primatenspezies gemacht (LOWENSTINE, 1999). Deshalb sollte jeder zoologische Garten als eine epidemiologische Einheit betrachtet werden, wobei in Gemeinschaftshaltungen nicht generell von einer höheren Expositionswahrscheinlichkeit auszugehen ist. Um das allgemeine Risiko, Infektionserreger zwischen verschiedenen zoologischen Gärten zu verschleppen, so gering wie möglich zu halten, sollten die Tiere vor jeder Translokation auf BKFV, *C. psittaci* und *M.pt.* untersucht werden.