

# Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albin<sup>1</sup>, H. Marti<sup>2</sup>, F. Imkamp<sup>3</sup>, N. Borel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nationales Referenzzentrum für Geflügel- und Kaninchenkrankheiten, Institut für Lebensmittelsicherheit und -hygiene, Vetsuisse Fakultät, Universität Zürich; <sup>2</sup>Nationales und internationales Referenzlabor für ovine Chlamydiose, Institut für Veterinärpathologie, Vetsuisse Fakultät, Universität Zürich; <sup>3</sup>Institut für Medizinische Mikrobiologie, Universität Zürich

## Zusammenfassung

Das Wissen um die obligat intrazellulären Bakterien aus der Familie der *Chlamydiaceae* hat sich in den letzten Jahren stark erweitert. Es wurden nicht nur neue Chlamydienarten wie zum Beispiel *Chlamydia avium* oder *C. buteonis* bei Vögeln beschrieben, sondern auch bereits bekannte Chlamydien in neuen Wirtstierarten dokumentiert, wie *C. psittaci* bei Pferden. Dieser Reviewartikel gibt eine aktuelle Übersicht zum Zoonosepotential von *C. psittaci*, *C. abortus*, *C. caviae* und *C. felis* und fasst aktuelle Erkenntnisse zu weiteren Chlamydienarten bei verschiedenen Tierarten zusammen; ergänzt durch Hinweise zur optimalen Probenentnahme und zum Erregernachweis.

**Schlüsselwörter:** *Chlamydia abortus*, *Chlamydia caviae*, *Chlamydia felis*, *Chlamydia psittaci*, *Chlamydiaceae*, Zoonose

## Update on the zoonotic potential of Chlamydia

Knowledge of the obligate intracellular bacteria from the *Chlamydiaceae* family has increased significantly in recent years. Not only new chlamydia species, such as *Chlamydia avium* or *C. buteonis* in birds have been described, but also known chlamydia in new host species, such as *C. psittaci* in horses. This review article provides an up-to-date overview of the zoonotic potential of *C. psittaci*, *C. abortus*, *C. caviae* and *C. felis* and summarizes current findings on other chlamydia species in different animal species; supplemented by information on optimal sampling and pathogen detection.

**Keywords:** *Chlamydia abortus*, *Chlamydia caviae*, *Chlamydia felis*, *Chlamydia psittaci*, *Chlamydiaceae*, zoonosis

<https://doi.org/10.17236/sat00387>

Eingereicht: 06.09.2022  
Angenommen: 07.01.2023

## Einleitung

Bakterien der Familie *Chlamydiaceae* sind 0.2 bis 1.5 µm grosse, gramnegative Organismen, die eine Wirtszelle benötigen um sich zu vermehren (obligat intrazellulär). Innerhalb der eukaryotischen Wirtszellen - meistens Epithelzellen - parasitieren sie in vakuolenartigen Einschlüssen.<sup>63</sup> Der Entwicklungszyklus von Chlamydien umfasst zwei morphologisch unterschiedliche Formen: die kleinen infektiösen Elementarkörperchen (EB) und die grösseren intrazellulären Retikularkörperchen (RB, Abbildung 1). EBs dringen mittels Endozytose in die Wirtszelle ein und wandeln sich zu teilungsfähigen RBs um.<sup>76</sup> Die sie umschliessende Membran wird in eine vakuolenartige Struktur umgewandelt. In Einschlüssen wird der endolysosomale Abbau des Erregers verhindert.<sup>44</sup> Durch Teilung der RBs wächst der Chlamydienabschluss im Zytoplasma der Zelle kontinuierlich an. Nach vollendeter Teilung differenzieren sich die RBs wieder zu EBs, um als infektiöse Chlamydien nach 48–72 h die Zelle durch Extrusion oder Ruptur derselben wieder zu verlassen.<sup>45</sup>

Die aktuelle Taxonomie der Familie *Chlamydiaceae* umfasst das einzige Genus *Chlamydia* (*C.*) mit 18 Spezies (14 anerkannte und 4 *Candidatus* Spezies). Neben den in den Tabellen 1 und 2 dargestellten, bei Tieren vorkommenden, Chlamydienarten<sup>78</sup> gehört auch *C. trachomatis* zum Genus *Chlamydia*. *C. trachomatis* kommt ausschliesslich beim Menschen vor und ist eine in der Schweiz gegenüber dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) meldepflichtige Krankheit.<sup>84</sup> *C. trachomatis* verursacht die meisten bakteriell bedingten sexuell übertragbaren Infektionen bei Männern und Frauen in der Schweiz, mit steigender Tendenz<sup>85</sup> auch weltweit.<sup>28</sup> Als *Candidatus*-Spezies werden Chlamydien bezeichnet, die nicht alle Anforderungen der Taxonomie-Vorgaben erfüllen,<sup>34</sup> zum Beispiel Chlamydien, welche noch nicht in der Zellkultur angezüchtet wurden und deren Isolate noch nicht in Stammbanken hinterlegt wurden.

Vier Chlamydienarten haben ein gesichertes zoonotisches Potential:<sup>78</sup> *C. psittaci* (Hauptwirt: Vögel), *C. abortus* (Hauptwirt: Wiederkäuer), *C. caviae* (Hauptwirt: Meerschweinchen) und *C. felis* (Hauptwirt: Katze). Die Spezies

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti,  
F. Imkamp, N. Borel

*C. pneumoniae* wurde mehrfach als Erreger von respiratorischen Infektionen beim Menschen beschrieben und auch bei Pferden, Beuteltieren, Reptilien und Amphibien (Tabelle 2) nachgewiesen. Während aber eine zoonotische Übertragung in der Evolution von *C. pneumoniae* vermutet wird, gibt es aktuell keine Hinweise auf durch tierische Stämme verursachte Infektionen beim Menschen. *C. pneumoniae* hat also vermutlich einen zoonotischen Ursprung, heutzutage wird die Infektion aber von Mensch zu Mensch übertragen.<sup>62,64,78</sup>

Dank neuer molekularer Methoden konnten in den letzten Jahren verschiedene neue Chlamydienspezies beschrieben oder bereits nachgewiesene «atypische» oder «intermediäre» Chlamydienspezies einer neuer Spezies zugeordnet werden (z. B. *C. buteonis*).<sup>52</sup> Zusätzlich wurden bereits bekannte Chlamydienspezies in neuen Wirten in Verbindung mit zoonotischen Ereignissen nachgewiesen (z. B. *C. psittaci* bei Pferden) und schwerwiegende Verlaufsformen nach zoono-

tischer Infektion bei Patienten mit *C. psittaci*/ *C. abortus*/ *C. caviae*-Infektionen dokumentiert (Abbildung 2).<sup>14,46,68,72</sup> Diese Studien wurden durch Untersuchungen zum Vorkommen von Chlamydien in Schweizer Meerschweinchen und Katzen komplementiert.<sup>12,21</sup> Der vorliegende Artikel fasst diese Ereignisse zusammen und liefert eine Übersicht zum aktuellen Wissenstand über Chlamydien und deren zoonotisches Potential.

## Chlamydien mit bestätigtem Zoonosepotential

Eine der häufigsten Manifestationen einer zoonotischen Chlamydieninfektion ist die ambulant erworbene Pneumonie (community-acquired pneumonia, CAP). Neben dem Haupterreger *Chlamydia psittaci* (Psittakose/Ornithose) kommen dabei auch *C. abortus* und *C. caviae* in Frage.<sup>78</sup> Infektionen mit *C. psittaci* und *C. abortus* sind in der Veterinärmedizin gemäss Tierseuchenverordnung meldepflichtig (BLV),<sup>87,88</sup> in der Humanmedizin (BAG) hingegen nicht.

### *Chlamydia psittaci* – Aviäre Chlamydiose bei Vögeln und neue Erkenntnisse bei Pferden

Der Begriff «Aviäre Chlamydiose» bezeichnet die Infektion von Vögeln mit *Chlamydiaceae*-Spezies, die in Vögeln nachgewiesen werden, also *C. psittaci*, *C. avium*, *C. gallinacea*, *C. buteonis* und *Candidatus (Ca.) Chlamydia ibidis* (siehe auch Kapitel «Weitere aviäre Chlamydien»). «Psittakose» oder «Ornithose» sind die Begriffe für *C. psittaci*-Infektionen beim Menschen.<sup>8</sup>

*C. psittaci* kommt weltweit bei mehr als 460 freilebenden oder in Gefangenschaft gehaltenen Vogelarten vor.<sup>49</sup> Zurzeit sind 9 Genotypen von *C. psittaci* anhand der Sequenz des Membranproteins «Outer Membrane Protein A» (*ompA*)

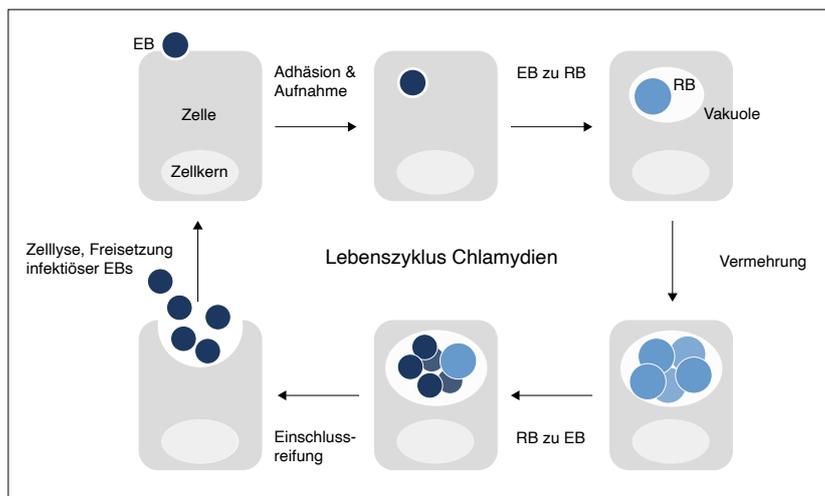


Abbildung 1: Schematischer intrazellulärer Entwicklungszyklus von Chlamydien.

Tabelle 1: *Chlamydia* spp. mit nachgewiesenem zoonotischem Potential, adaptiert nach<sup>78</sup>

Chlamydienspezies	Hauptwirte und [Nebenwirte]	Erkrankung Hauptwirt/e	Makroskopische Hauptbefunde Sektion	Erkrankung beim Menschen
<i>Chlamydia psittaci</i>	Vögel	Konjunktivitis, (atypische) Aerosacculitis und Pneumonie, Enteritis, Hepatitis	Aerosacculitis, Hepato- und Splenomegalie, miliare Herde in der Leber	Von Grippe-ähnlichen Symptomen bis zu schweren systemischen Erkrankungen, atypische Pneumonie
	[Pferd]	Abort, Pneumonie	Plazentitis	
<i>Chlamydia abortus</i> <sup>a</sup>	Schaf, Ziege, [Rind, Schwein, Pferd, Wildwiederkäuer]	Abort, Totgeburt, lebensschwache Jungtiere, (Vaginitis, Endometritis, Entzündung der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Mastitis)	Eitrig-nekrotisierende Plazentitis und Vaskulitis	vor allem bei schwangeren Frauen: Abort, atypische Pneumonie, schwere Allgemeinerkrankung mit Fieber und Organversagen (DIC)
<i>Chlamydia caviae</i>	Meerschweinchen, [Pferd]	Konjunktivitis, Keratitis, Pneumonie, Abort	Mukopurulente (akut) bis folliculäre (chronisch) Konjunktivitis	Konjunktivitis, atypische Pneumonie
<i>Chlamydia caviae</i>	Katze	Konjunktivitis, leichte Rhinitis	Mukopurulente (akut) bis folliculäre (chronisch) Konjunktivitis	Leichte (Kerato-)Konjunktivitis

DIC: disseminierte intravasale Gerinnung

<sup>a</sup>In der älteren Literatur auch als *Chlamydia psittaci* Serotyp 1 bezeichnet.

anerkannt (Tabelle 3). Verschiedene Genotypen von *C. psittaci* können verschiedenen Wirten zugeordnet werden. So kommt Genotyp A vorwiegend bei Papageienartigen (Psittaziden), Genotyp B bei Tauben und Genotyp C bei Wassergeflügel vor.<sup>74,79</sup> In der Schweiz ist die «Chlamydiose der Vögel» (*C. psittaci*) eine meldepflichtige, zu bekämpfende Tierseuche, mit 47 gemeldeten Fällen zwischen 2011 und 2021 bei Psittaziden, Ziervögeln und Tauben. Im Jahr 2021 waren 6 Bestände betroffen (Tabelle 4).

*C. psittaci* wird unter Vögeln durch Inhalation oder Ingestion von infektiösen Staubpartikeln (Federn, Kot), Nasen- und Augenausfluss und Kot übertragen. Der Verlauf der Infektion wird durch Wirtsfaktoren (z. B. Alter, Immunstatus etc.) beziehungsweise Dosis und Pathogenität des Erregers bestimmt und verläuft bei jüngeren Vögeln eher akut/symptomatisch, bei älteren Tieren jedoch eher mild oder sogar asymptomatisch. Infizierte Vögel zeigen meist unspezifische Krankheitsanzeichen wie Husten und Dyspnoe, Konjunktivitis, mukopurulenten Ausfluss aus Nase und Augen und seltener grünlichen Durchfall.<sup>3,9</sup> Klinisch gesunde Vögel können Träger von *C. psittaci* sein und nach einer Re-Aktivierung der Infektion durch Stress oder andere Krankheiten den Erreger wieder ausscheiden.<sup>39</sup>

Eine kürzlich durchgeführte Metaanalyse der weltweiten Literatur von 1986 bis 2015 hat gezeigt, dass zirka 1% der CAP in der Humanmedizin durch eine Infektion mit *C. psittaci* verursacht wird.<sup>41</sup> Die zoonotische Infektion erfolgt meistens über Inhalation von erregerehaltigem Material (v.a. Staub von Federn, eingetrocknetem Kot) bei direktem oder indirektem Tierkontakt. Problematisch ist hierbei, dass Vögel oftmals keine offensichtlichen klinischen Anzeichen zeigen und deshalb nicht als infiziert erkannt werden.<sup>74</sup> Als besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen gelten TierhalterInnen, TierärztInnen, MitarbeiterInnen von Zoofachgeschäften oder Vogelpflegestationen, sowie (v.a. ausserhalb der Schweiz) auch Schlachthofpersonal.<sup>103</sup> Neben Kontakt zum lebenden Tier oder dessen Ausscheidungen muss im veterinärmedizinischen Labor auch berücksichtigt werden, dass eine Infektionsgefahr für Laborpersonal besteht, welches mit Chlamydien enthaltendem infektiösem Material hantiert. Bei der Psittakose/Ornithose können milde respiratorische Symptome auftreten, in schweren Fällen aber auch Fieber, Pneumonie, Myokarditis, Enzephalitis und Splenomegalie, was eine Hospitalisierung und intensivmedizinische Therapie erfordern kann.<sup>46</sup> Alle Genotypen haben ein zoonotisches Potential, aber Genotyp A wird am häufigsten in Zusammenhang mit Infektionen beim Menschen, vor allem CAP, nachgewiesen.<sup>15</sup> Die COVID-19 Pandemie hat zu intensiveren Abklärungen von Lungenerkrankungen geführt. In diesem Zusammenhang wurden sowohl in der Schweiz als auch in anderen europäischen Ländern mehrere Fälle von *C. psittaci*-induzierter CAP beschrieben.<sup>18,23,46</sup> Letztlich ist daher von einer hohen Dunkelziffer für *C. psittaci*-Infektionen beim Menschen auszugehen.

### Zoonotische *C. psittaci*-Infektionen – Psittaziden und Tauben

Historische Epidemien von humanen Psittakosefällen sind seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bis in die 1930er Jahre in Zusammenhang mit dem Handel exotischer Vögel bekannt.<sup>73</sup> Die schlechten Transport- und Haltungsbedingungen führten zu Seuchenzügen beim Tier und in Folge dessen zu vielen Fällen von atypischen Pneumonien bei Menschen.<sup>73</sup>

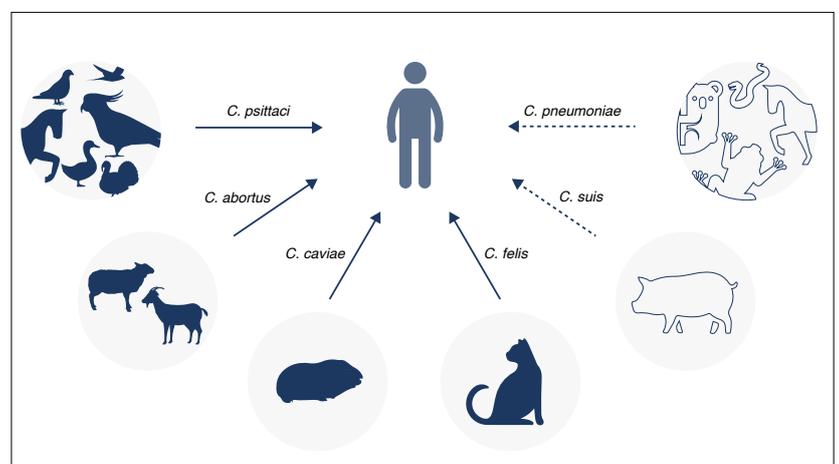
Auch wenn es heutzutage kaum mehr seuchenhafte Ausbrüche gibt, können in der Schweiz noch immer vor allem Psittaziden und Tauben als Quelle zoonotischer Infektionen bedeutsam sein. 2021 waren sechs Tierhaltungen von *C. psittaci*-Infektionen betroffen – in einem Fall mit einer tödlich verlaufenden Erkrankung des Besitzers (Tabelle 4).<sup>46</sup> Nicht nur bei Hobbytauben, sondern auch bei Stadttauben zeigten Untersuchungen der letzten Jahre eine Prävalenz von bis 27,5% in der Stadt Zürich,<sup>61</sup> mit dem Nachweis von *C. psittaci* Genotyp B und seltener Genotyp E oder *C. avium*. Obwohl *C. psittaci* bei einer Vielzahl von Wildvögeln nachgewiesen werden konnte,<sup>95</sup> gelang in einer Schweizer Studie der Nachweis von *C. psittaci* nur bei Tauben, aber nicht bei anderen Wildvogelarten, die in eine Vogelpflegestation gebracht wurden.<sup>91</sup>

### Zoonotische *C. psittaci*-Infektionen – Wassergeflügel, Truten, Hühner

Weltweit sind Infektionen mit *C. psittaci* beim Geflügel beschrieben, in Europa zum Beispiel bei Enten in Deutschland,<sup>37</sup> Frankreich<sup>42,105</sup> und Polen,<sup>100</sup> bei Gänsen in Polen<sup>99</sup> und bei Truten und Hühnern in Deutschland,<sup>31,94</sup> Frankreich,<sup>4</sup> Belgien<sup>25,27</sup> und Polen.<sup>99</sup> Allerdings wurden in den letzten Jahren neue aviäre Chlamydien beschrieben (siehe unten: «Weitere aviäre Chlamydien»), sodass unter Umständen die Nomenklatur älterer Studien nicht mehr dem ak-

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albin, H. Marti, F. Imkamp, N. Borel



**Abbildung 2:** Übertragung von zoonotischen Chlamydienarten und deren Wirte. Pfeil = zoonotisches Potential ist ausreichend belegt. Gestrichelter Pfeil = zoonotisches Potential wird vermutet, ist aber bisher nicht überzeugend bewiesen.

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti, F. Imkamp, N. Borel

tuellen Wissensstand entspricht. Tatsächlich weisen Studien ab 2017 bei Hühnern überwiegend *C. gallinacea* nach,<sup>26,36,40,54</sup> so dass davon ausgegangen werden muss, dass in früheren Untersuchungen *C. gallinacea* möglicherweise als *C. psittaci* fehlidentifiziert wurde. Weitere Analysen bestätigen dies: bei Schweizer Truten über den Zeitraum eines Jahres<sup>104</sup> und in Italien in reinen Hühnerherden<sup>60</sup> wurde nur *C. gallinacea*, nicht aber *C. psittaci* nachgewiesen.

In Studien bei gehaltenem Wassergeflügel wurden unterschiedliche Prävalenzen detektiert. In Polen war eine von 23 untersuchten Entenherden *C. psittaci*-positiv (4,3%),<sup>99</sup> in Frankreich 11 von 14 Herden (78,5 %, Genotypen C und E/B),<sup>105</sup> beziehungsweise 7/7 (100 %) in einer zweiten Studie.<sup>42</sup> Bei Gänsen in Polen war eine von 18 untersuchten Herden *C. psittaci*-positiv (5,8%).<sup>99</sup>

Bei wildlebenden Wasservögeln waren die detektierten *C. psittaci*-Prävalenzen ebenfalls verschieden: in Neuseeland überwiegte Genotyp C bei 69 von 224 getesteten Enten unterschiedlicher Arten (30,8%).<sup>90</sup> In Polen waren 22 von 529 Höckerschwänen, Stock- und Krickenten positiv (4,2 %; vor allem Genotyp C)<sup>99</sup> und in der Schweiz wurde

*C. psittaci* bei 0 von 262 getesteten Wildenten und Schwänen gefunden.<sup>91,110</sup>

In Zusammenhang mit der Zucht oder Schlachtung von Mastenten konnten in Frankreich zoonotische Infektionen mit *C. psittaci* beim Schlachthofpersonal festgestellt werden.<sup>43,105</sup> In der Schweiz hingegen kann davon ausgegangen werden, dass keine erhöhte Gefahr für eine zoonotische *C. psittaci*-Infektion durch Geflügel bei Geflügelhaltern und Schlachtpersonal besteht, da Enten und Gänse nur in kleinen Mengen gemästet und geschlachtet werden, und Hühnervögel mehrheitlich mit *C. gallinacea* infiziert sind.

### Zoonotische *C. psittaci*-Infektionen – Pferde

Dass *C. psittaci* einen Wirtswechsel vollziehen kann, zeigten Fälle zoonotischer Infektionen in Form von Pneumonien bei TierärztInnen nach Kontakt mit Pferdeaborten und lebensschwachen Fohlen in Australien.<sup>19</sup> *C. psittaci* kann bei Pferden Aborte und seltener Pneumonien auslösen.<sup>9</sup> In der Schweiz sind equine *C. psittaci*-Aborte mit einer Prävalenz von 0,6 % jedoch selten,<sup>6</sup> wohingegen in anderen Ländern deutlich höhere Prävalenzen beschrieben wurden, wie Studien aus Ungarn mit 14 % und Australien mit 20 %

Tabelle 2: *Chlamydia* spp. mit unklarem oder nicht nachgewiesenem zoonotischem Potential, adaptiert nach<sup>78</sup>

Chlamydienspezies	Hauptwirte	Erkrankung Hauptwirt/e	Erkrankung / Klinische Manifestation Hauptwirte <sup>a</sup>	Zoonosepotential
<b>Aviäre Chlamydien</b>				
<i>Chlamydia avium</i>	Tauben	Zuweisung zu einer Pathologie noch unklar: Enteritis, Krankheit des Respirationstrakts		Unklar
<i>Chlamydia buteonis</i>	Bussarde, Falken	Zuweisung zu einer Pathologie noch unklar: Konjunktivitis, Krankheit des Respirationstrakts, Enteritis		Unklar
<i>Chlamydia gallinacea</i>	Vögel	Bislang keine Pathologie beschrieben		Nein
Ca.* <i>Chlamydia ibidis</i>	Vögel	Bislang keine Pathologie beschrieben		Nein
<b>Chlamydien von (Haus-)Säugetieren</b>				
<i>Chlamydia muridarum</i>	Maus, Hamster	Pneumonitis, Ileitis		Nein
<i>Chlamydia pecorum</i>	Wiederkäuer	Enzephalitis, Polyarthrit, Pneumonie, Enteritis, Vaginitis, Endometritis		Nein
	Schwein	Polyarthrit, Serositis, Enteritis, Pneumonie		
	Koala	Keratokonjunktivitis, Vaginitis, zystische Ovarien, Unfruchtbarkeit		
<i>Chlamydia suis</i>	Schwein	Konjunktivitis, Pneumonie, Enteritis, Polyarthrit		Wird diskutiert
<b>Chlamydien von Reptilien</b>				
<i>Chlamydia poikilothermis</i>	Schlangen	Bislang keine Pathologie beschrieben		Nein
<i>Chlamydia serpentis</i>	Schlangen	Bislang keine Pathologie beschrieben		Nein
Ca.* <i>Chlamydia corallus</i>	Schlangen	Bislang keine Pathologie beschrieben		Nein
Ca.* <i>Chlamydia sanzina</i>	Schlangen	Bislang keine Pathologie beschrieben		Nein
Ca.* <i>Chlamydia testudinis</i>	Schildkröten	Zuweisung zu einer Pathologie noch unklar: Konjunktivitis, Nasenausfluss		Nein
<b>Chlamydien von (Haus-)Säugetieren und Reptilien und Amphibien</b>				
<i>Chlamydia pneumoniae</i>	Koala, andere Beuteltiere, Pferd	Rhinitis, Pneumonie, Konjunktivitis		Unklar
	Reptilien und Amphibien	Konjunktivitis, Enteritis, granulomatöse Entzündung der inneren Organe		Unklar

\*Ca.= *Candidatus*. Bezeichnung für eine molekularbiologisch gut charakterisierte Bakterienspezies, die noch nicht kultiviert/isoliert werden konnte.

<sup>a</sup>Erwähnt sind die häufigsten klinischen Manifestationen. Daneben können praktische alle Chlamydieninfektionen asymptomatische Verläufe zeigen.

zeigten.<sup>98,101</sup> Die Krankheit manifestiert sich bei Stuten vor allem als Spätabort oder Totgeburten. *C. psittaci* kann in Nachgeburtmaterial oder fetalen Organen (Lunge, Leber) nachgewiesen werden.<sup>48,98</sup>

Über den Zeitraum von 25 Jahren (1994–2019) wurde bei Pferden mit Reproduktionsproblemen in Australien im Durchschnitt eine *C. psittaci*-Prävalenz von 6,5% ermittelt.<sup>2</sup> Es wurde überwiegend der Genotyp A<sup>47</sup> aber auch der taubenspezifische Genotyp B<sup>2,48</sup> nachgewiesen. Als mögliche Infektionswege wird ein Spill-Over von freilebenden Psittaziden auf Pferde (via Vogelkot-kontaminierte Weiden) vermutet.<sup>2</sup> Vermutlich handelt es sich bei diesen Fällen nicht um eine neue «emerging disease», sondern solche Fälle wurden in der Vergangenheit nicht auf Chlamydien untersucht und deshalb nicht diagnostiziert. In der Schweiz kommen im Gegensatz zu Australien freilebende Psittaziden nicht als Infektionsquelle in Frage, aber Tauben können als Überträger nicht ausgeschlossen werden.

### *Chlamydia abortus*

In Europa ist *C. abortus* die häufigste infektiöse Abortursache bei Schafen und Ziegen. In der Schweiz schätzt man die Prävalenz dieser zu überwachenden Tierseuche (Tierseuchenverordnung, TSV, Art. 5)<sup>87</sup> auf 20–40%, mit gehäuftem Vorkommen in den Kantonen Graubünden und Tessin.<sup>20</sup> Betrachtet man die Anzahl Fallmeldungen in der BLV-Datenbank, ist davon auszugehen, dass die effektiven Fallzahlen viel höher liegen, da viele Aborte nicht wie vorgeschrieben (TSV Art. 129) gemeldet und untersucht werden.<sup>87</sup> Chlamydienaborte kommen seltener bei Rindern, Schweinen, Pferden, Wildwiederkäuern und Yaks vor, verlaufen bei diesen Tierarten aber nicht seuchenhaft wie bei Schafen und Ziegen.<sup>6,11,51,81</sup>

Die Erregeraufnahme erfolgt oral und die Infektion verläuft beim Muttertier in aller Regel ohne klinische Anzeichen, mit Ausnahme von Metritis beim Schaf und Plazentaretention, Endometritis und Vaginitis bei der Ziege.<sup>75,108</sup> In der Trächtigkeit führt der Chlamydienaborte dann zu Aborten einschliesslich Spätaborten (letzte 2–3 Wochen der Trächtigkeit), Totgeburten oder Geburten von lebensschwachen Jungtieren, die meist in den ersten 48 Stunden versterben.<sup>57</sup> Mit dem Abort/Totgeburt/Geburt scheiden die Muttertiere den Erreger massenhaft mit der Plazenta (Abbildung 3) und der Lochialflüssigkeit aus und dienen als Ansteckungsquelle für andere Schafe/Ziegen und den Menschen. Da die Bakterien auch die Umwelt kontaminieren, kann eine indirekte Übertragung via Futter, Kleider und Gegenstände ebenfalls eine Rolle spielen.<sup>57</sup> Die infektiösen Elementarkörperchen können Wochen bis Monate in der Umwelt überleben, vor allem in trockener und kühler Umgebung mit wenig Sonneneinstrahlung.<sup>57</sup> Dringt der Erreger in eine immunologisch naive Herde ein, verwerfen 30–60% der Tiere, wobei der eigentliche Abortsturm erst in der folgenden Ablammsaison auftritt.<sup>57</sup> Dies ist damit begründet, dass Tiere, die sich in der 2. Trächtigkeitshälfte infizieren, erst in der nachfolgenden Saison einen Abort erleiden.<sup>1</sup> Nach dem Abort entwickeln die Muttertiere eine belastbare Immunität und nur noch Remonten oder neu zugekaufte Tiere abortieren.<sup>66</sup> Die Übertragung durch den Bock und die Milch spielen epidemiologisch kaum eine Rolle.<sup>5</sup> Tiere, die abortiert haben, können in der Herde verbleiben, die Gefahr der erneuten Erregerausscheidung während des nachfolgenden Östrus oder Geburt ist minimal.<sup>66</sup> Zur Prophylaxe ist in der Schweiz ein Totimpfstoff zugelassen,<sup>7,87</sup> der aber nicht flächendeckend eingesetzt wird. Ein verfügbarer Lebendimpfstoff ist aktuell in der Schweiz nicht zugelassen und wird auch nicht empfohlen, da er wieder Virulenz erlangen und Aborte auslösen kann.<sup>17</sup>

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albin, H. Marti,  
F. Imkamp, N. Borel

**Tabelle 3:** Die häufigsten Genotypen von *Chlamydia psittaci* basierend auf dem Membranprotein «Outer Membrane Protein A» (*ompA*)<sup>33, 79, 93, 95</sup>

Genotyp <sup>a</sup>	Anzahl Subgenotypen	Hauptwirte	Nebenwirte
A	3	Psittaziden	Trute, Taube, Huhn, Finken
B		Taube, Psittaziden	Trute, Huhn, Ente
C		Ente, Gans	Taube, Huhn
D	2	Trute	Taube, Reiher, Möwen
E		[Kein eigentlicher Hauptwirt]	Taube, Laufvögel, Ente, Trute
E/B	3	Ente	Psittaziden, Trute, Taube
F		Psittaziden	Trute
M56		Nagetiere, Raubvögel	–
WC		Rind	–
1V <sup>b</sup>		Krähenvögel	–

<sup>a</sup>Des Weiteren gibt es nicht näher charakterisierte, provisorische Genotypen (6N, Mat116, R54, YP84, CPX308), die noch nicht mehrfach beschrieben wurden<sup>79</sup>

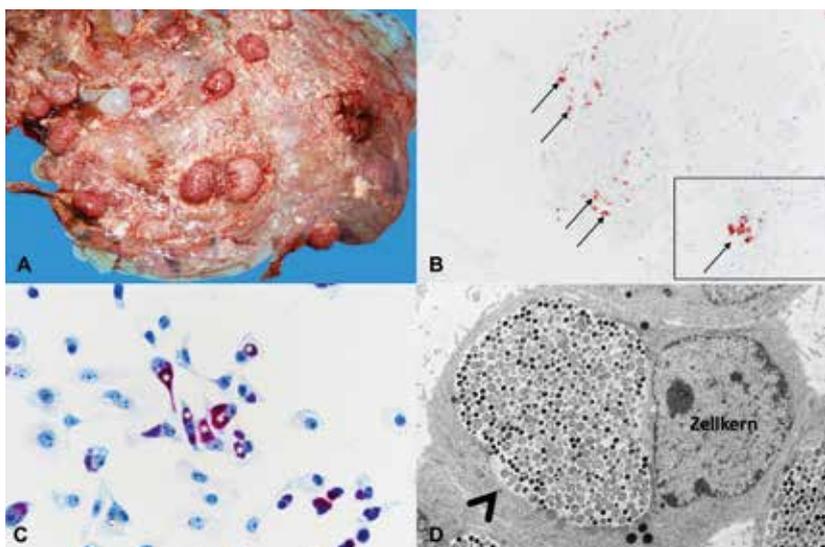
<sup>b</sup>provisorischer aber mehrfach detektierter Genotyp; es handelt sich um eine intermediäre Spezies zwischen *C. psittaci* und *C. abortus*

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti,  
F. Imkamp, N. Borel

Eine Zoonosegefahr besteht vor allem für schwangere Frauen, welche direkten oder indirekten Kontakt zu infizierten Kleintierwiederkäuern sowie Totgeburten und Abortmaterial (Plazenta, Lochialflüssigkeit, Fötus) haben.<sup>102</sup> *C. abortus*-induzierte schwere Allgemeinerkrankungen und Aborte bei schwangeren Frauen nach Kontakt zu Schaf- und seltener Ziegenaborten sind mehrfach in der Schweiz und Europa beschrieben.<sup>14,69,102</sup> Kürzlich konnte bei einer schwangeren Frau mit SARS-CoV2-negativer Pneumonie ebenfalls *C. abortus* nachgewiesen werden.<sup>46</sup> Diese Patientin erlitt glücklicherweise keinen Abort, hatte aber anamnestisch ebenfalls Kontakt zu einer Schaf- und Ziegenhaltung mit Abortproblemen. Ein weiterer unlängst beschriebener Fall war derjenige eines 65-jährigen Mannes, der eine Pneumonie und einen septischen Schock erlitt mit Nachweis von *C. abortus*, allerdings ohne dass anamnestisch ein Tierkontakt eruiert werden konnte.<sup>56</sup>

Es gilt zu bedenken, dass schwangere Frauen durch trüchtige Schaf- und Ziegenherden direkt und indirekt weiteren Zoonoseerregern wie *Coxiella burnetii*, *Listeria monocytogenes* und *Toxoplasma gondii* ausgesetzt sein können.<sup>20</sup> In der Humanmedizin steht bei gynäkologischen Untersuchungen die Chlamydienspezies *C. trachomatis* im Fokus; zoonotisch relevante Erreger und deren Gefährdungspotential werden wenig beachtet. TierärztInnen haben deshalb eine entscheidende Aufklärungs- und Beratungsfunktion. Zudem werden humane Abortfälle im Gegensatz zur Veterinärmedizin meist nicht weiterführend untersucht, weswegen allfällige Infektionserreger verpasst werden können. Bei Pneumonien in der Humanmedizin ist *C. abortus* kein differentialdiagnostisch wichtiger Erreger und viele Humanlabore bieten keine *C. abortus*-spezifischen Tests an.



**Abbildung 3:** Chlamydienabort (*Chlamydia abortus*) beim Schaf. A. Eitrig-nekrotisierende Plazentitis. B. Immunohistochemischer Nachweis von Chlamydieneinschlüssen im Trophoblastenepithel der Plazenta (Pfeile), Vergrößerung 200x bzw. 400x. C. Stamp-Färbung; Zellkultur von Plazenta mit *C. abortus*-Einschlüssen (Sterne), Vergrößerung 400x. D. Transmissionselektronenmikroskopie, *C. abortus*-Einschluss (Pfeilspitze) in Epithelzelle.

### *Chlamydia caviae*

Der Hauptwirt von *C. caviae* ist das Meerschweinchen, nur in Einzelfällen wurde der Erreger auch bei Kaninchen, Hunden, Katzen und Pferden nachgewiesen.<sup>32,59,65</sup> Infizierte Meerschweinchen zeigen eine meist innert 3–4 Wochen selbstlimitierende, milde bis hochgradige Keratokonjunktivitis mit serösem bis purulentem Ausfluss.<sup>59</sup> Weiter können Rhinitis, Pneumonie, Genitaltraktinfektionen und Aborte vorkommen.<sup>9</sup> Erste Berichte von *C. caviae*-Infektionen in der Schweiz stammen aus dem Jahr 2006 und betrafen einen Meerschweinchenbestand, der hochgradig durchseucht war (48 % Prävalenz). Die Tiere litten an Konjunktivitis und Pneumonie und es kam zu Aborten.<sup>59</sup> Der Meerschweinchenbesitzer erkrankte ebenfalls an einer milden Konjunktivitis mit serösem Augenausfluss. Eine grössere Studie untersuchte die *C. caviae*-Prävalenz in gesunden Meerschweinchen aus der Schweiz (2,7 %, 7/260) und den Niederlanden (8,9 %, 78/878). *C. caviae*-positive Proben fanden sich sowohl in Konjunktival- als auch in Rektaltupfern.<sup>21</sup>

Berichte von atypischen *C. caviae*-Pneumonien beim Menschen wurden 2013 in den Niederlanden beschrieben:<sup>72</sup> die Patienten hatten Fieber, Malaise, Husten, Kopf- und Gliederschmerzen. Einzelne mussten gar hospitalisiert und beatmet werden, aber bei allen war die Therapie mit Doxzyklin erfolgreich. Der kausale Zusammenhang einer direkten Übertragung vom Meerschweinchen auf die Tierbesitzer konnte mittels Sequenzierung des *ompA*-Genes von *C. caviae* bestätigt werden. In einem weiteren Fall bestand jedoch kein Kontakt zu Meerschweinchen, so dass die Infektionsquelle unklar blieb.

### *Chlamydia felis*

*Chlamydia felis* verursacht bei Katzen eine akute, meist zunächst unilaterale Konjunktivitis, die sich häufig auf das andere Auge ausbreitet. Sie ist charakterisiert durch Augenausfluss, konjunktivale Chemosis, Blepharospasmus und gerötete Nickhaut.<sup>96</sup> Einige Katzen zeigen neben Augenbefunden auch Fieber, Apathie, Inappetenz, Niesen und Nasenausfluss.<sup>96</sup> Meist sind junge Katzen betroffen. Historisch wurde *C. felis* auch als Pneumonieerreger beschrieben, dies konnte jedoch in nachfolgenden Studien nicht bestätigt werden.<sup>13</sup> Eine spontane Remission ist möglich, aber unbehandelte oder nur kurzzeitig behandelte Katzen entwickeln eine chronische Konjunktivitis.<sup>24,35</sup> Die Prophylaxe erfolgt durch eine Impfung, die Therapie mit Doxzyzyklin.<sup>35</sup>

Streunende Katzen sind häufiger Träger von *C. felis* als Hauskatzen.<sup>38</sup> Weltweit schwankt die Prävalenz bei klinisch gesunden Hauskatzen zwischen 0–10 %.<sup>12</sup> Bei streunenden Katzen beträgt die Prävalenz bis zu 35,7 %, beziehungsweise in Untergruppen von symptomatischen Katzen mit Konjunktivitis sogar bis zu 65,8 %.<sup>97,107</sup> Eine neue Studie aus der Schweiz wies *C. felis* bei knapp 20 % der streunenden Katzen nach.<sup>12</sup> Diese Tiere wurden im Rahmen einer Kastrationsaktion (Network for Animal Protection, NetAP)

beprobte und auf *C. felis* untersucht. Parallel wurden symptomatische und asymptomatische Hauskatzen in Kleintierpraxen und der Abteilung für Ophthalmologie der Vetsuisse Fakultät, Universität Zürich beprobt, wovon 12% positiv für *C. felis* waren. Katzen mit Konjunktivitis waren signifikant häufiger positiv als symptomlose Tiere, und Konjunktivaltupfer waren häufiger positiv als Rektaltupfer.

Fallberichte zu zoonotischen *C. felis*-Infektionen sind eher spärlich. Meist handelt es sich um Konjunktividen bei Katzenbesitzern infolge einer Übertragung durch engen Tierkontakt.<sup>13</sup> Pneumonien oder anderweitige schwere Verläufe mit molekularbiologischem Erregernachweis sind bis dato nicht beschrieben worden.<sup>13,109</sup> Trotz geringem Risiko für den Menschen ist bei Streunerkatzen Vorsicht geboten.

## Chlamydien ohne bestätigtes Zoonosepotential

Die weiteren veterinärmedizinisch relevanten Chlamydienpezies sowie die eingangs erwähnten 4 *Candidatus* Spezies sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Das breiteste Wirtsspektrum der tierischen Chlamydien haben *C. pneumoniae* (Vorkommen bei Reptilien, Amphibien, Pferden, Koalas und anderen Beuteltieren) und *C. pecorum*.<sup>78</sup> *C. pecorum* infiziert Haus- und Wildwiederkäuer, Schweine und

Koalas, wobei noch nie zoonotische Infektionen nachgewiesen wurden. Ein enges Wirtsspektrum haben zum Beispiel *C. buteonis* (Greifvögel), *C. muridarum* (Maus, Hamster) und *C. suis* (Schwein).<sup>78</sup>

### Weitere aviäre Chlamydien

Bis vor einigen Jahren war *C. psittaci* als einzige Chlamydienpezies beim Vogel bekannt. Das erweiterte Chlamydienpektrum bei der aviären Chlamydiose ist deshalb besonders erwähnenswert.<sup>8</sup> Früher als «atypisch» oder «intermediär» bezeichnet, verursachen *C. avium*, *C. gallinacea*, *C. buteonis* und *Candidatus C. ibidis* keine oder nur milde klinische Anzeichen in den betroffenen Vogelarten und zoonotische Infektionen wurden bis dato noch nicht schlüssig nachgewiesen.<sup>78</sup> Einige der nicht-*C. psittaci*-Chlamydienpezies scheinen bevorzugt in gewissen Vogelarten aufzutreten, zum Beispiel *C. buteonis* in Bussarden und Falken<sup>52,92</sup> oder *C. gallinacea* in verschiedenen Hühnervögeln.<sup>80</sup> Bei Geflügelhaltern in Italien konnte *C. gallinacea*-DNA in respiratorischen Proben nachgewiesen werden, alle Tiere und Menschen waren vor oder während der Probenahme symptomfrei.<sup>60</sup> Zurzeit ist keine Pathologie in Zusammenhang mit einer *C. gallinacea*-Infektion bekannt, weder bei Vögeln noch beim Menschen.<sup>78</sup>

Einschränkend muss hier erwähnt werden, dass die epidemiologische Datenlage bei den aviären Chlamydien, mit

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albin, H. Marti, F. Imkamp, N. Borel

**Tabelle 4:** Nachweis von *Chlamydia psittaci* mittels real-time PCR bei Ziervögeln, Tauben und Umgebungsproben aus den Volieren, 2021 (Quelle: Nationales Referenzzentrum für Geflügel- und Kaninchenkrankheiten, Zürich)

Bestand	Kanton	Spezies	Proben positive / getestete		Bemerkung	Genotyp ( <i>ompA</i> ) [Probenherkunft]
1	ZH	Psittaziden, (Hühner, Wachteln) <sup>a</sup>	4	35	Besitzer an Chlamydiose verstorben	A [Papagei, Tierhalter]
<p>Der Tierhalter wurde Ende Dezember 2020 aufgrund einer schweren SARS-CoV 2-negativen Lungenerkrankung hospitalisiert und verstarb trotz korrekter Diagnose und intensivmedizinischer Behandlung innert Tagen.<sup>46</sup> Das kantonale Veterinäramt verhängte eine Sperre über den Betrieb. Tupferproben verschiedener Vogelarten und von Staub aus den Volieren wurden mittels real-time PCR positiv auf <i>C. psittaci</i> getestet. In der Probe eines Mohrenkopfpapageis und des an der Psittakose verstorbenen Tierhalters wurde mittels <i>ompA</i>-PCR und Sequenzierung der Genotyp A nachgewiesen.</p> <p>Therapie der Vögel:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Drei Mohrenkopfpapageien mit stark positivem Testresultat wurden separiert und wöchentlich parenteral mit Doxzyklin über 45 Tage behandelt.</li> <li>• Alle anderen Vögel täglich Doxzylin via Trinkwasser über 45 Tage.</li> </ul> <p>Nach Therapie der Vögel und Reinigung und Desinfektion (R&amp;D) des Bestandes wurden erneut Proben untersucht, wobei noch einige positiv waren. Deshalb wurde nochmals therapiert gefolgt von R&amp;D. Die Aufhebung der Sperre erfolgte schliesslich im September 2021.</p>						
2	ZH	Ziervögel	31	122	Gemeindezentrum mit Tierhaltung	n.d.
3	SO	Psittaziden, Tauben	8	18		B [Papagei, Taube]
4	ZH	Tauben, (Hühner) <sup>a</sup>	21	69	Illegale Kadaverentsorgung im Wald	n.d.
5	ZH	Tauben	3	10		n.d.
6	ZH	Tauben	1	19		n.d.
<b>Total</b>			<b>68</b>	<b>273</b>		

n.d. = nicht durchgeführt

<sup>a</sup>Spezies in runden Klammern mit entweder negativen oder sehr schwach positiven Proben, die nicht als Infektion gedeutet wurden, da Umgebungsproben (Staub aus Volieren) auch schwach positiv waren.

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti,  
F. Imkamp, N. Borel

Ausnahme von *C. psittaci* noch dünn ist, da in der veterinärmedizinischen Diagnostik meistens *C. psittaci*-spezifische Tests angewendet werden und darüber hinaus die Durchführung von Studien in Wildvogelpopulationen eine Herausforderung ist.<sup>91,95</sup> Zusätzlich ist bis anhin in der Schweiz nur *C. psittaci* meldepflichtig und die Untersuchung auf andere aviäre Chlamydienspezies wird nur in den Referenzlaboren durchgeführt.

Es gibt zudem Hinweise, dass das Spektrum der Chlamydienspezies und deren (Vogel)Wirtsarten grösser ist als bisher angenommen: in Studien werden öfters «*C. psittaci*/*C. abortus* intermediäre Spezies» gefunden,<sup>93</sup> die vermutlich noch nicht genauer charakterisierte neue Chlamydienspezies darstellen, ähnlich wie die relativ neue Spezies *C. buteonis*, die zuvor als eine solche intermediäre Spezies bezeichnet wurde.<sup>92</sup> Seit neustem wurden auch aviäre *C. abortus* Stämme beschrieben, die sich nur wenig von den Wiederkäuferstämmen unterscheiden.<sup>58,99</sup>

### Weitere Chlamydien bei (Haus-)Säugetieren

Neben *C. pecorum* und *C. pneumoniae* mit einem breiten Wirtsspektrum und unterschiedlichen Pathologien bei verschiedenen Tierarten, kommen bei Säugetieren zwei weitere Chlamydienspezies mit engem Wirtsspektrum vor: *C. muridarum* bei Mäusen und Hamstern und *C. suis* bei Schweinen. *C. muridarum* spielt vor allem als Modellorganismus in experimentellen Infektionen eine Rolle.<sup>78</sup> *C. suis* ist in der Schweizer Mastschweinpopulation weit verbreitet, kommt meistens ohne klinische Anzeichen im Darm vor und wird mit dem Kot ausgeschieden.<sup>83</sup> Dies ist insofern bedeutsam, da *C. suis* die einzige Chlamydienspezies ist, die ein Antibiotikaresistenzgen, das Tetrazyklin-resistenzgen *tetA(C)*, in ihr Chromosom integriert hat.<sup>29</sup> Tetrazyklin-resistente *C. suis* Stämme sind in Europa, in den USA und in China verbreitet und eine Übertragung des Resistenzgens auf andere Bakterien ist nicht ausgeschlossen.<sup>10,30,53,55,67,82,106</sup> *C. suis* konnte in den Niederlanden und Belgien in Proben von Tierhaltern und Schlachthofpersonal nachgewiesen werden. Diese Personen waren aber symptomlos und alle Stämme, die nachgewiesen wurden, waren bis dato Tetrazyklin-sensitiv.<sup>50,70,71</sup> Das zoonotische Potential von *C. suis* wird deshalb weiter debattiert (Abbildung 2).

### Weitere Chlamydien bei Reptilien und Amphibien

Chlamydieninfektionen sind bei freilebenden und in Gefangenschaft gehaltenen Reptilien wie Schlangen (z. B. Puffottern, Boas), Chamäleons, Krokodilen, Alligatoren, Land- und Wasserschilddröten beschrieben.<sup>9</sup> Infektionen mit *C. pneumoniae* kommen häufig bei Reptilien vor und manifestieren sich meist als granulomatöse Entzündungen der inneren Organe wie Herz, Lunge, Milz und Leber. Schlangen können aber auch inapparent mit Chlamydien

infiziert sein.<sup>9</sup> Humane Stämme von *C. pneumoniae* sind weltweit verbreitet und rufen beim Menschen respiratorische Infektionen hervor.<sup>77</sup> Ob eine Infektionsgefahr von *C. pneumoniae*-infizierten Reptilien ausgeht, ist bislang noch unklar (Abbildung 2).

Auch bei Reptilien wurden mehrere neue Chlamydienspezies nachgewiesen (Tabelle 2), deren Verbreitung, Pathogenität und zoonotisches Potential jedoch noch unbekannt ist. Vergleichbar zur Chlamydien-situation bei Vögeln, gilt auch bei Reptilien, dass wahrscheinlich noch viele weitere unbekannte Chlamydienspezies in verschiedenen Wirtstierarten vorkommen. Kürzlich wurden Todesfälle auf einer Alligatorenfarm in Louisiana, USA, mit Hepatitis, Myokarditis und Konjunktivitis beschrieben, hervorgerufen durch eine bisher unbekannte Chlamydienspezies.<sup>16</sup>

## Diagnose von Chlamydien in der Veterinärmedizin

### Probenentnahme und direkte Nachweismethoden

Der intrazelluläre Lebenszyklus der Chlamydien, das grosse Wirtsspektrum mit den unterschiedlichen Organpathologien sowie die Vielzahl der betroffenen Tierarten stellen die Diagnostik vor mehrere Herausforderungen. Diese beginnen mit der Probenentnahme, wobei die Tierart und die nachzuweisende Chlamydienspezies entscheidend für die anatomische Lokalisation der Probenentnahme ist. Bei der Tierseuche Chlamydienabort von Schafen und Ziegen sehen die «Technischen Weisungen über die Entnahme von Proben und deren Untersuchung zur amtlichen Abort-Untersuchung bei Rindern, kleinen Wiederkäuern und Schweinen» die Entnahme von Plazenta, Labmagen oder Vaginaltupfern des Muttertieres als geeignetes Probenmaterial (in absteigender Reihenfolge) vor.<sup>86</sup> Für den Nachweis von *C. psittaci* werden Dreifachtupfer (Auge, Choane, Kloake) oder Choanen/Kloakentupfer empfohlen. Die Entnahme von entsprechenden Tupferproben ist auch empfohlen bei Konjunktivitis oder zur Abklärung einer rektalen Ausscheidung (z. B. *C. suis* beim Schwein oder *C. pecorum* beim Wiederkäuer).

Da sich Chlamydien ausschliesslich in Zellen vermehren werden sogenannte «Flocked Swabs» (Copan, Brescia, Italien) empfohlen. Diese Tupfer bestehen aus sehr feinen Bürstchen am Tupferende und kommen auch in der Humanmedizin als Zervixtupfer bei Frauen zum Nachweis von *C. trachomatis* zur Anwendung. Eine Alternative sind sogenannte Zytobrushes, die vergleichbare Probenentnahmen und -qualität erlauben.<sup>12</sup> Beide Tupferarten sind gegenüber den standardmässig verwendeten Wattetupfern (Cotton Swabs) zu bevorzugen. Für den molekularen Nachweis von Chlamydien können die Tupferproben problemlos trocken (ohne Transportmedium) ans Labor verschickt werden.

Angekommen im Labor bedeutet die obligat intrazelluläre Lebensweise der Chlamydien auch, dass sie nicht wie andere Bakterien auf festen (Agarplatten) oder in flüssigen Medien angezüchtet werden können. Kultivierung in Zellkulturen oder embryonierten Hühnereiern ist möglich, doch diese aufwändigen Techniken kommen mehrheitlich in der Forschung zur Anwendung. Der Goldstandard in der heutigen Diagnostik ist eine DNA-Extraktion gefolgt von einer (real-time) PCR. Je nach Fragestellung haben sich in der veterinärmedizinischen Diagnostik ein- und mehrstufige Verfahren etabliert: a) einstufig: direkter Nachweis einer bestimmten Chlamydienspezies mittels spezies-spezifischer real-time PCRs (z. B. Nachweis von *C. abortus*, *C. psittaci*);<sup>65</sup> b) mehrstufig: Familien-spezifische *Chlamydiaceae*-PCR und weiterführende Analysen zur Speziesbestimmung.<sup>61,91</sup> Welches Verfahren gewählt wird ist von der Fragestellung, der Tierart, der Chlamydienspezies sowie der klinischen Symptomatik abhängig.

Die amtliche Diagnostik des Chlamydienabortes der Schafe und Ziegen gemäss den «Technischen Weisungen über die Entnahme von Proben und deren Untersuchung zur amtlichen Abort-Untersuchung bei Rindern, kleinen Wiederkäuern und Schweinen» schreibt eine *C. abortus*-spezifische real-time PCR vor.<sup>86</sup> Die Diagnostik der aviären Chlamydiose erfolgt mittels einer *C. psittaci*-spezifische real-time PCR. Diese Methoden sind in Schweizer Laboren etabliert, welche über die entsprechende Anerkennung für die Tierseuchendiagnostik verfügen. Andere nicht Tierseuchen-relevante Untersuchungen umfassen in der Routinediagnostik oft den Nachweis von *C. felis* aus Konjunktival-tupferproben von Katzen (als Einzeldiagnostik oder in Kombination mit viralen Erregern) oder ausserhalb der Routine in spezialisierten Laboren weitere Chlamydienspezies-spezifische PCR-Tests (*C. pecorum* beim Wiederkäuer, *C. suis* beim Schwein) sowie Screening-PCR Methoden gefolgt von Sequenzierung. Ebenso wird die Genotypisierung von Chlamydienspezies in spezialisierten Labors angeboten, z. B. im Falle von *C. psittaci* in Ausbruchsfällen und zoonotischen Infektionen (Tabelle 4).

Weitere Verfahren wie Antigennachweise (Immunhistochemie, Immunfluoreszenz), vorwiegend an Organproben verstorbener/euthanasierter Tiere (z. B. Reptilien), sind ebenfalls möglich und erleichtern den direkten Erregernachweis in Organläsionen.

### Serologische Nachweismethoden

ELISA-basierte, kommerziell erhältliche serologische Tests sind für den Nachweis von Antikörpern gegen *C. abortus* bei Wiederkäuern vorhanden, eignen sich jedoch nicht für die Diagnose Chlamydienaborte auf Einzeltierebene. Die «Technischen Weisungen über die Entnahme von Proben und deren Untersuchung zur amtlichen Abort-Untersuchung bei Rindern, kleinen Wiederkäuern und Schweinen»<sup>86</sup> sehen zur Abortabklärung (basierend auf Artikel 129

der TSV)<sup>87</sup> den Nachweis von *C. abortus* mittels real-time PCR aus Plazenta, fötalem Labmageninhalt oder Vaginaltupfern vor. Die Serologie kann allenfalls auf Bestandesebene hilfreich sein um den Immunstatus der Herde zu ermitteln oder für den Tierverkehr. Einige ELISA-Tests können zudem nicht deutlich zwischen einer Infektion mit *C. abortus* oder *C. pecorum* unterscheiden. Serologische Tests für andere Chlamydienspezies haben in der Schweiz eine untergeordnete Bedeutung und/oder sind nicht kommerziell erhältlich.

### Schlusswort CAP in der Humanmedizin

Community-acquired pneumonia (CAP) oder ambulant erworbene Pneumonie in der Humanmedizin beschreibt eine Pneumonie, die im normalen Umfeld erworben wurde, d.h. nicht im Zusammenhang mit anderen Erkrankungen oder Krankenhausaufenthalten steht. *Streptococcus pneumoniae* und *Haemophilus influenzae* sind die häufigsten Ursachen einer typischen, bakteriellen CAP.<sup>89</sup> Hiervon abzugrenzen ist die atypische CAP. Diese kann nicht-zoonotischen Ursprunges sein, wobei als bakterielle Erreger *Chlamydia pneumoniae*, *Mycoplasma pneumoniae* und *Legionella pneumophila* in Erscheinung treten. Die möglichen zoonotischen Erreger von atypischen CAP-Fällen sind vor allem *C. psittaci*, *Francisella tularensis* und *Coxiella burnetii*, aber auch *C. abortus* und *C. caviae*.<sup>22</sup> Die zoonotischen CAP-Erreger werden seltener diagnostiziert, da sie nicht zum Routinediagnostik-Spektrum von Humanlaboren gehören und deshalb oft unerkannt bleiben. Wie bereits erwähnt sind bei den Chlamydien nur *C. trachomatis* gegenüber dem BAG meldepflichtig.<sup>84</sup> Bei den zoonotischen CAP-Ursachen sind lediglich *Francisella tularensis*, *Coxiella burnetii* und *C. abortus* meldepflichtig, wobei *Coxiella burnetii* und *C. abortus* häufige Aborterreger bei Schafen und Ziegen sind. Dem BAG werden jährlich zirka 50–100 Coxiellose-Fälle gemeldet, 2021 waren es sogar 108 Fälle. Eine verstärkte «One-Health»-Zusammenarbeit von Human- und Veterinärmedizin in Zukunft wäre wünschenswert und würde die Früherkennung und die Diagnostik zoonotischer Infektionen fördern, wie kürzlich geschehen bei der Aufarbeitung von Chlamydien-bedingten Pneumonien.<sup>46</sup>

### Schlussfolgerungen

- Das grösste zoonotische Potential haben *C. psittaci* und *C. abortus*. Sie verursachen Pneumonien und *C. abortus* auch Aborte. Beides sind meldepflichtige Tierseuchen.
- In der Humanmedizin ist nur *C. trachomatis* meldepflichtig. Die Einführung einer Meldepflicht für *C. psittaci* und *C. abortus* wäre wünschenswert.
- *C. caviae* und *C. felis* haben ebenfalls ein zoonotisches Potential, wobei *C. caviae* bei humanen atypischen Pneumonien und *C. felis* bei Konjunktividen bei

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti,  
F. Imkamp, N. Borel

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti,  
F. Imkamp, N. Borel

- Menschen nachgewiesen wurden.
- TierärztInnen haben die Sorgfaltpflicht TierbesitzerInnen im direkten Gespräch über das zoonotische Potential der verschiedenen Chlamydienspezies (Tabelle 1) zu informieren.
  - Insbesondere schwangere Frauen sollten in der Ablammsaison den Kontakt zu kleinen Wiederkäuern vermeiden, um sich vor Infektionen mit *C. abortus* zu schützen.
  - Aborte bei Wiederkäuern müssen gemäss Artikel 129 der Tierseuchenverordnung gemeldet und untersucht werden. Informationen zum Chlamydienabort bei Schaf und Ziege sind auf einem Merkblatt des Beratungs- und Gesundheitsdienstes für Kleinwiederkäuer (BGK) in drei Landessprachen erhältlich (<https://www.kleinwiederkäuer.ch>).
  - Bei Chlamydien mit unbekanntem oder nicht bestätigtem Zoonosepotenzial sollten im Falle einer ungeklärten humanen Chlamydieninfektion Tiere als Infektionsquelle in Betracht gezogen werden.

## Danksagung

Wir danken dem technischen und akademischen Personal der beteiligten Institutionen für ihre Arbeit in der Chlamydiendiagnostik und -forschung, sowie dem Veterinäramt Zürich für die zur Verfügung gestellten Informationen zum Fall im Dezember 2020 (Tabelle 4, Bestand 1). Abbildungen 1 und 2 wurden von Corina Maritz erstellt ([hello@maviz.ch](mailto:hello@maviz.ch)).

## Le point sur le potentiel zoonotique des Chlamydies

Les connaissances sur les bactéries intracellulaires obligatoires de la famille des *Chlamydiaceae* ont considérablement augmenté ces dernières années. Non seulement de nouvelles espèces de Chlamydies, telles que *Chlamydia avium* ou *C. buteonis* chez les oiseaux, ont été décrites, mais également des Chlamydies déjà connues ont été mises en évidence chez de nouvelles espèces hôtes, telles que *C. psittaci* chez les chevaux. Cet article de synthèse fournit une vue d'ensemble actualisée du potentiel zoonotique de *C. psittaci*, *C. abortus*, *C. caviae* et *C. felis* et résume les connaissances actuelles sur d'autres espèces de Chlamydies chez différentes espèces animales ; il est complété par des informations sur l'échantillonnage optimal et la détection des agents pathogènes.

**Mots clés:** *Chlamydia abortus*, *Chlamydia caviae*, *Chlamydia felis*, *Chlamydia psittaci*, *Chlamydiaceae*, zoonose

## Aggiornamento sul potenziale zoonotico delle clamidie

La conoscenza dei batteri intracellulari obbligati della famiglia delle *Chlamydiaceae* è stata ampliata notevolmente negli ultimi anni. Sono state documentate non solo nuove specie di clamidia, come la *Chlamydia avium* o la *C. buteonis* negli uccelli, ma anche clamidie note in nuove specie ospiti, come la *C. psittaci* nei cavalli. Questo articolo di revisione mostra una panoramica aggiornata sul potenziale zoonotico di *C. psittaci*, *C. abortus*, *C. caviae* e *C. felis* e riassume le attuali scoperte su altre specie di clamidia ritrovate in diverse specie animali, ed è completato da informazioni sul campionamento ottimale e sul rilevamento dei patogeni.

**Parole chiave:** *Chlamydia abortus*, *Chlamydia caviae*, *Chlamydia felis*, *Chlamydia psittaci*, *Chlamydiaceae*, zoonosi

## Literaturnachweis

- <sup>1</sup> Aitken ID. Chlamydial abortion. In: *Diseases of Sheep*. 3rd ed. Blackwell Science; 2000.
- <sup>2</sup> Akter R, Sansom FM, El-Hage CM, Gilkerson JR, Legione AR, Devlin JM. A 25-year retrospective study of *Chlamydia psittaci* in association with equine reproductive loss in Australia. *J Med Microbiol*. 2021;70(2):1284. doi:10.1099/jmm.0.001284
- <sup>3</sup> Albicker-Rippinger P, Fraefel D, Wunderwald C, Hatt JM, Hoop RK. Welche Diagnose stellen Sie? *Schweiz Arch Tierheilkd*. 2001;143(3):155–157. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11293935> (accessed 19.07.2022).
- <sup>4</sup> Andral B, Louzis C, Trap D, Newman JA, Bennejean G, Gaumont R. Respiratory disease (rhinotracheitis) in turkeys in Brittany, France, 1981–1982. I. Field observations and serology. *Avian Dis*. 1985;29(1):26–34. doi:10.2307/1590691
- <sup>5</sup> Appleyard WT, Aitken ID, Anderson IE. Attempted venereal transmission of *Chlamydia psittaci* in sheep. *Vet Rec*. 1985;116(20):535–538. doi:10.1136/VR.116.20.535
- <sup>6</sup> Baumann S, Gurtner C, Marti H, Borel N. Detection of *Chlamydia* species in 2 cases of equine abortion in Switzerland: a retrospective study from 2000 to 2018. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. Published online June 11, 2020:104063872093290. doi:10.1177/1040638720932906
- <sup>7</sup> Borel N. Chlamydienabort bei Schaf und Ziege: Die unterschätzte Gefahr? *Forum für Kleinwiederkäuer*. Published November 2020. <https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/201909/> (accessed 21.07.2022)
- <sup>8</sup> Borel N, Greub G. International Committee on Systematics of Prokaryotes (ICSP) Subcommittee on the taxonomy of Chlamydiae, minutes of the closed meeting, 10 September 2020, via Zoom. *Int J Syst Evol Microbiol*. 2021;71(2):1–3. doi:10.1099/ijsem.0.004620
- <sup>9</sup> Borel N, Polkinghorne A, Pospischil A. A review on chlamydial diseases in animals: still a challenge for pathologists? *Vet Pathol*. 2018;55(3):374–390. doi:10.1177/0300985817751218
- <sup>10</sup> Borel N, Regenscheit N, di Francesco A, et al. Selection for tetracycline-resistant *Chlamydia suis* in treated pigs. *Vet Microbiol*. 2012;156(1–2):143–146. doi:10.1016/j.vetmic.2011.10.011
- <sup>11</sup> Borel N, Thoma R, Spaeni P, et al. *Chlamydia*-related abortions in cattle from Graubünden, Switzerland. *Vet Pathol*. 2006;43(5):702–708. doi:10.1354/vp.43-5-702
- <sup>12</sup> Bressan M, Rampazzo A, Kuratli J, Marti H, Pesch T, Borel N. Occurrence of Chlamydiaceae and *Chlamydia felis* pmp9 typing in conjunctival and rectal samples of Swiss stray and pet cats. *Pathogens*. 2021;10(8):951. doi:10.3390/pathogens10080951
- <sup>13</sup> Browning GF. Is *Chlamydia felis* a significant zoonotic pathogen? *Aust Vet J*. 2004;82(11):695–696. doi:10.1111/J.1751-0813.2004.TB12160.X
- <sup>14</sup> Burgener AV, Seth-Smith HMB, Kern-Baumann S, et al. A case study of zoonotic *Chlamydia abortus* infection: diagnostic challenges from clinical and microbiological perspectives. *Open Forum Infect Dis*. 2022;9(10). doi:10.1093/ofid/ofac524
- <sup>15</sup> Cadario ME, Frutos MC, Arias MB, et al. Epidemiological and molecular characteristics of *Chlamydia psittaci* from 8 human cases of psittacosis and 4 related birds in Argentina. *Rev Argent Microbiol*. 2017;49(4):323–327. doi:10.1016/j.ram.2017.04.001
- <sup>16</sup> Carossino M, Nevarez JG, Sakaguchi K, et al. An outbreak of systemic chlamydiosis in farmed American alligators (*Alligator mississippiensis*). *Vet Pathol*. Published online May 3, 2022:3009858221095269. doi:10.1177/03009858221095269
- <sup>17</sup> Caspe SG, Livingstone M, Frew D, et al. The 1B vaccine strain of *Chlamydia abortus* produces placental pathology indistinguishable from a wild type infection. *PLoS One*. 2020;15(11):e0242526. doi:10.1371/journal.pone.0242526
- <sup>18</sup> Chaber AL, Jelocnik M, Woolford L. Undiagnosed Cases of Human Pneumonia Following Exposure to *Chlamydia psittaci* from an Infected Rosella Parrot. *Pathogens*. 2021;10(8):968. doi:10.3390/pathogens10080968
- <sup>19</sup> Chan J, Doyle B, Branley J, et al. An outbreak of psittacosis at a veterinary school demonstrating a novel source of infection. *One Health*. 2017;3:29–33. doi:10.1016/J.ONEHLT.2017.02.003
- <sup>20</sup> Chanton-Greutmann H, Thoma R, Corboz L, Borel N, Pospischil A. Aborte beim kleinen Wiederkäuer in der Schweiz: Untersuchungen während zwei Ablammperioden (1996–1998) unter besonderer Beachtung des Chlamydienabortes. *Schweiz Arch Tierheilkd*. 2002;144(9):483–492. doi:10.1024/0036-7281.144.9.483
- <sup>21</sup> Ciuria S, Brouwer MSM, de Gier MM, et al. *Chlamydia caviae* in Swiss and Dutch guinea pigs—occurrence and genetic diversity. *Pathogens*. 2021;10(10):1230. doi:10.3390/pathogens10101230
- <sup>22</sup> Cunha BA. The atypical pneumonias: clinical diagnosis and importance. *Clinical Microbiology and Infection*. 2006;12(SUPPL. 3):12–24. doi:10.1111/j.1469-0691.2006.01393.x
- <sup>23</sup> Dai N, Li Q, Geng J, Guo W, Yan W. Severe pneumonia caused by *Chlamydia psittaci*: report of two cases and literature review. *J Infect Dev Ctries*. 2022;16(6):1101–1112. doi:10.3855/jidc.16166
- <sup>24</sup> Dean R, Harley R, Helps C, Caney S, Gruffydd-Jones T. Use of quantitative real-time PCR to monitor the response of *Chlamydia felis* infection to doxycycline treatment. *J Clin Microbiol*. 2005;43(4):1858–1864. doi:10.1128/JCM.43.4.1858-1864.2005
- <sup>25</sup> Dickx V, Geens T, Deschuyffeleer T, et al. *Chlamydia psittaci* zoonotic risk assessment in a chicken and turkey slaughterhouse. *J Clin Microbiol*. 2010;48(9):3244. doi:10.1128/JCM.00698-10
- <sup>26</sup> Donati M, Laroucau K, Guerrini A, et al. Chlamydiosis in backyard chickens (*Gallus gallus*) in Italy. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2018;18(4):222–225. doi:10.1089/vbz.2017.2211
- <sup>27</sup> van Droogenbroeck C, Beeckman DSA, Verminnen K, et al. Simultaneous zoonotic transmission of *Chlamydia psittaci* genotypes D, F and E/B to a veterinary scientist. *Vet Microbiol*. 2009;135(1–2):78–81. doi:10.1016/J.VETMIC.2008.09.047
- <sup>28</sup> Du M, Yan W, Jing W, et al. Increasing incidence rates of sexually transmitted infections from 2010 to 2019: an analysis of temporal trends by geographical regions and age groups from the 2019 Global Burden of Disease Study. *BMC Infect Dis*. 2022;22(1):574. doi:10.1186/s12879-022-07544-7
- <sup>29</sup> Dugan J, Rockey DD, Jones L, Andersen AA. Tetracycline resistance in *Chlamydia suis* mediated by genomic islands inserted into the *Chlamydia inv*-like gene. *Antimicrob Agents Chemother*. 2004;48(10):3989–3995. doi:10.1128/AAC.48.10.3989-3995.2004

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albin, H. Marti, F. Imkamp, N. Borel

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti,  
F. Imkamp, N. Borel

- <sup>30</sup> di Francesco A, Donati M, Rossi M, et al. Tetracycline-resistant *Chlamydia suis* isolates in Italy. *Veterinary Record*. 2008;163(8):251–252. doi:10.1136/vr.163.8.251
- <sup>31</sup> Gaede W, Reckling KF, Dresenkamp B, et al. *Chlamydia psittaci* infections in humans during an outbreak of psittacosis from poultry in Germany. *Zoonoses Public Health*. 2008;55(4):184–188. doi:10.1111/J.1863-2378.2008.01108.X
- <sup>32</sup> Gaede W, Reckling KF, Schliephake A, Missal D, Hotzel H, Sachse K. Detection of *Chlamydia caviae* and *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* in horses with signs of rhinitis and conjunctivitis. *Vet Microbiol*. 2010;142(3–4):440–444. doi:10.1016/j.vetmic.2009.10.011
- <sup>33</sup> Geens T, Desplanques A, van Loock M, et al. Sequencing of the *Chlamydia psittaci* *ompA* gene reveals a new genotype, E/B, and the need for a rapid discriminatory genotyping method. *J Clin Microbiol*. 2005;43(5):2456. doi:10.1128/JCM.43.5.2456-2461.2005
- <sup>34</sup> Greub G, Bavoil P. International Committee on Systematics of Prokaryotes Subcommittee on the taxonomy of Chlamydiae. Minutes of the closed meeting, 7 September 2016, Oxford, UK. *Int J Syst Evol Microbiol*. 2018;68(11):3683–3684. doi:10.1099/ijsem.0.003049
- <sup>35</sup> Gruffydd-Jones T, Addie D, Belák S, et al. *Chlamydia felis* infection ABCD guidelines on prevention and management. *J Feline Med Surg*. 2009;11(7):605–609. doi:10.1016/j.jfms.2009.05.009
- <sup>36</sup> Guo W, Li J, Kaltenboeck B, Gong J, Fan W, Wang C. *Chlamydia gallinacea*, not *C. psittaci*, is the endemic chlamydial species in chicken (*Gallus gallus*). *Sci Rep*. 2016;6. doi:10.1038/srep19638
- <sup>37</sup> Haas WH, Swaan CM, Meijer A, et al. A Dutch case of atypical pneumonia after culling of H5N1 positive ducks in Bavaria was found infected with *Chlamydia psittaci*. *Euro Surveill*. 2007;12(11):3320. doi:10.2807/ESW.12.48.03320-EN/CITE/PLAINTEXT
- <sup>38</sup> Halánová M, Sulínová Z, Cisláková L, et al. *Chlamydia felis* in cats--are the stray cats dangerous source of infection? *Zoonoses Public Health*. 2011;58(7):519–522. doi:10.1111/j.1863-2378.2011.01397.x
- <sup>39</sup> Harkinezhad T, Geens T, Vanrompay D. *Chlamydia psittaci* infections in birds: A review with emphasis on zoonotic consequences. *Vet Microbiol*. 2009;135(1–2):68–77. doi:10.1016/j.vetmic.2008.09.046
- <sup>40</sup> Heijne M, van der Goot JA, Fijten H, et al. A cross sectional study on Dutch layer farms to investigate the prevalence and potential risk factors for different *Chlamydia* species. *PLoS One*. 2018;13(1):e0190774. doi:10.1371/journal.pone.0190774
- <sup>41</sup> Hogerwerf L, de Gier B, Baan B, van der Hoek W. *Chlamydia psittaci* (psittacosis) as a cause of community-acquired pneumonia: a systematic review and meta-analysis. *Epidemiol Infect*. 2017;145(15):3096–3105. doi:10.1017/S0950268817002060
- <sup>42</sup> Hulin V, Bernard P, Vorimore F, et al. Assessment of *Chlamydia psittaci* shedding and environmental contamination as potential sources of worker exposure throughout the mule duck breeding process. *Appl Environ Microbiol*. 2015;82(5):1504–1518. doi:10.1128/AEM.03179-15
- <sup>43</sup> Hulin V, Oger S, Vorimore F, et al. Host preference and zoonotic potential of *Chlamydia psittaci* and *C. gallinacea* in poultry. *Pathog Dis*. 2015;73(1):1–11. doi:10.1093/FEMSPD/FTV005
- <sup>44</sup> Hybiske K, Heuer D. The Chlamydial Inclusion. In: Tan M, Hegeman JH, Sütterlin C, eds. *Chlamydia Biology: From Genome to Disease*. 1st ed. Caister Academic Press; 2020:85–110. doi:10.21775/9781912530281.04
- <sup>45</sup> Hybiske K, Stephens RS. Mechanisms of host cell exit by the intracellular bacterium *Chlamydia*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2007;104(27):11430. doi:10.1073/PNAS.0703218104
- <sup>46</sup> Imkamp F, Albini S, Karbach M, et al. Zoonotic *Chlamydiae* as rare causes of severe pneumonia. *Swiss Med Wkly*. 2022;152(1–2). doi:10.4414/smw.2022.w30102
- <sup>47</sup> Jelocnik M, Branley J, Heller J, et al. Multilocus sequence typing identifies an avian-like *Chlamydia psittaci* strain involved in equine placentitis and associated with subsequent human psittacosis. *Emerg Microbes Infect*. 2017;6(1):1–3. doi:10.1038/emi.2016.135
- <sup>48</sup> Jenkins C, Jelocnik M, Micallef ML, et al. An epizootic of *Chlamydia psittaci* equine reproductive loss associated with suspected spillover from native Australian parrots. *Emerg Microbes Infect*. 2018;7(1):88. doi:10.1038/s41426-018-0089-y
- <sup>49</sup> Kaleta EF, Taday EMA. Avian host range of *Chlamydia* spp. based on isolation, antigen detection and serology. *Avian Pathology*. 2003;32(5):435–462. doi:10.1080/03079450310001593613
- <sup>50</sup> Kieckens E, van den Broeck L, van Gils M, Morré S, Vanrompay D. Co-Occurrence of *Chlamydia suis* DNA and *Chlamydia suis*-Specific Antibodies in the Human Eye. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. 2018;18(12):677–682. doi:10.1089/vbz.2017.2256
- <sup>51</sup> Koschwanez M, Meli M, Vögtlin A, et al. *Chlamydiaceae* family, *Parachlamydia* spp., and *Waddlia* spp. in porcine abortion. *J Vet Diagn Invest*. 2012;24(5):833–839. doi:10.1177/1040638712452729
- <sup>52</sup> Laroucau K, Vorimore F, Aaziz R, et al. *Chlamydia buteonis*, a new *Chlamydia* species isolated from a red-shouldered hawk. *Syst Appl Microbiol*. 2019;42(5):125997. doi:10.1016/j.syapm.2019.06.002
- <sup>53</sup> Lenart J, Andersen AA, Rockey DD. Growth and Development of Tetracycline-Resistant *Chlamydia suis*. *Antimicrob Agents Chemother*. 2001;45(8):2198–2203. doi:10.1128/AAC.45.8.2198-2203.2001
- <sup>54</sup> Li L, Luther M, Macklin K, et al. *Chlamydia gallinacea*: a widespread emerging *Chlamydia* agent with zoonotic potential in backyard poultry. *Epidemiol Infect*. 2017;145(13):2701–2703. doi:10.1017/S0950268817001650
- <sup>55</sup> Li M, Jelocnik M, Yang F, et al. Asymptomatic infections with highly polymorphic *Chlamydia suis* are ubiquitous in pigs. *BMC Vet Res*. 2017;13(1):370. doi:10.1186/s12917-017-1295-x
- <sup>56</sup> Liu M, Wen Y, Ding H, Zeng H. Septic shock with *Chlamydia abortus* infection. *Lancet Infect Dis*. 2022;22(6):912. doi:10.1016/S1473-3099(21)00756-8
- <sup>57</sup> Longbottom D, Coulter LJ. Animal chlamydioses and zoonotic implications. *J Comp Pathol*. 2003;128(4):217–244. doi:10.1053/jcpa.2002.0629
- <sup>58</sup> Longbottom D, Livingstone M, Ribeca P, et al. Whole genome de novo sequencing and comparative genomic analyses suggests that *Chlamydia psittaci* strain 84/2334 should be reclassified as *Chlamydia abortus* species. *BMC Genomics*. 2021;22(1):159. doi:10.1186/s12864-021-07477-6
- <sup>59</sup> Lutz-Wohlgroth L, Becker A, Brugnera E, et al. *Chlamydiae* in Guinea-pigs and Their Zoonotic Potential. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 2006;53(4):185–193. doi:10.1111/j.1439-0442.2006.00819.x

- <sup>60</sup> Marchino M, Rizzo F, Barzanti P, et al. Chlamydia Species and Related Risk Factors in Poultry in North-Western Italy: Possible Bird-to-Human Transmission for *C. gallinacea*. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(4). doi:10.3390/IJERPH19042174/S1
- <sup>61</sup> Mattmann P, Marti H, Borel N, Jelocnik M, Albini S, Vogler BR. Chlamydiaceae in wild, feral and domestic pigeons in Switzerland and insight into population dynamics by Chlamydia psittaci multilocus sequence typing. *Yildirim A, ed. PLoS One*. 2019;14(12):e0226088. doi:10.1371/journal.pone.0226088
- <sup>62</sup> Mitchell CM, Hutton S, Myers GSA, Brunham R, Timms P. Chlamydia pneumoniae is genetically diverse in animals and appears to have crossed the host barrier to humans on (at least) two occasions. *Dykhuizen D, ed. PLoS Pathog*. 2010;6(5):e1000903. doi:10.1371/journal.ppat.1000903
- <sup>63</sup> Moulder JW. Interaction of chlamydiae and host cells in vitro. *Microbiol Rev*. 1991;55(1):143–190. doi:10.1128/MMBR.55.1.143-190.1991
- <sup>64</sup> Myers GSA, Mathews SA, Eppinger M, et al. Evidence that human Chlamydia pneumoniae was zoonotically acquired. *J Bacteriol*. 2009;191(23):7225–7233. doi:10.1128/JB.00746-09
- <sup>65</sup> Pantchev A, Sting R, Bauerfeind R, Tyczka J, Sachse K. Detection of all Chlamydomphila and Chlamydia spp. of veterinary interest using species-specific real-time PCR assays. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*. 2010;33(6):473–484. doi:10.1016/j.cimid.2009.08.002
- <sup>66</sup> Papp JR, Shewen PE, Gartley CJ. Abortion and subsequent excretion of chlamydiae from the reproductive tract of sheep during estrus. *Infect Immun*. 1994;62(9):3786–3792. doi:10.1128/iai.62.9.3786-3792.1994
- <sup>67</sup> Peisker M, Berens C, Schnee C. Understanding tetracycline resistance in Chlamydia suis. In: 5th European Meeting on Animal Chlamydiosis and Zoonotic Implications (EMAC-5). ; 2018.
- <sup>68</sup> Polkinghorne A, Greub G. A new equine and zoonotic threat emerges from an old avian pathogen, Chlamydia psittaci. *Clinical Microbiology and Infection*. 2017;23(10):693–694. doi:10.1016/j.cmi.2017.05.025
- <sup>69</sup> Pospischil A, Thoma R, Hilbe M, Grest P, Gebbers JO. Abortion in woman caused by caprine Chlamydomphila abortus (Chlamydia psittaci serovar 1). *Swiss Med Wkly*. 2002;132(5–6):64–66. doi:2002/05/smw-09911
- <sup>70</sup> de Puyseleer K, de Puyseleer L, Dhondt H, et al. Evaluation of the presence and zoonotic transmission of Chlamydia suis in a pig slaughterhouse. *BMC Infect Dis*. 2014;14(1):560. doi:10.1186/s12879-014-0560-x
- <sup>71</sup> de Puyseleer L, de Puyseleer K, Braeckman L, Morré SA, Cox E, Vanrompay D. Assessment of Chlamydia suis Infection in Pig Farmers. *Transbound Emerg Dis*. 2017;64(3):826–833. doi:10.1111/tbed.12446
- <sup>72</sup> Ramakers BP, Heijne M, Lie N, et al. Zoonotic Chlamydia caviae presenting as community-acquired pneumonia. *New England Journal of Medicine*. 2017;377(10):992–994. doi:10.1056/NEJMc1702983
- <sup>73</sup> Ramsay EC. The Psittacosis Outbreak of 1929–1930. *J Avian Med Surg*. 2003;17(4):235–237. doi:10.1647/1082-6742(2003)017[0235:TPOO]2.0.CO;2
- <sup>74</sup> Ravichandran K, Anbazhagan S, Karthik K, Angappan M, Dhayananth B. A comprehensive review on avian chlamydiosis: a neglected zoonotic disease. *Trop Anim Health Prod*. 2021;53(4):414. doi:10.1007/s11250-021-02859-0
- <sup>75</sup> Rodolakis A, Boulet C, Souriau A. Chlamydia psittaci experimental abortion in goats. *Am J Vet Res*. 1984;45(10):2086–2089. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6497108> (accessed 22.07.2022).
- <sup>76</sup> Romero MD, Mölleken K, Hegemann JH, Carabeo RA. Chlamydia adhesion and invasion. In: Tan M, Hegeman JH, Sütterlin C, eds. *Chlamydia Biology: From Genome to Disease*. 1st ed. Caister Academic Press; 2020:59–84. doi:10.21775/9781912530281.03
- <sup>77</sup> Roulis E, Polkinghorne A, Timms P. Chlamydia pneumoniae: modern insights into an ancient pathogen. *Trends Microbiol*. 2013;21(3):120–128. doi:10.1016/j.tim.2012.10.009
- <sup>78</sup> Sachse K, Borel N. Recent advances in epidemiology, pathology and immunology of veterinary Chlamydiaceae. In: Tan M, Hegeman JH, Sütterlin C, eds. *Chlamydia Biology: From Genome to Disease*. 1st ed. Caister Academic Press; 2020:403–428. doi:10.21775/9781912530281.17
- <sup>79</sup> Sachse K, Laroucau K, Hotzel H, Schubert E, Ehrlich R, Slickers P. Genotyping of Chlamydomphila psittaci using a new DNA microarray assay based on sequence analysis of ompA genes. *BMC Microbiol*. 2008;8(1):63. doi:10.1186/1471-2180-8-63
- <sup>80</sup> Sachse K, Laroucau K, Riege K, et al. Evidence for the existence of two new members of the family Chlamydiaceae and proposal of Chlamydia avium sp. nov. and Chlamydia gallinacea sp. nov. *Syst Appl Microbiol*. 2014;37(2):79–88. doi:10.1016/j.syapm.2013.12.004
- <sup>81</sup> Salinas J, Ortega N, Borge C, et al. Abortion associated with Chlamydia abortus in extensively reared Iberian sows. *Vet J*. 2012;194(1):133–134. doi:10.1016/J.TVJL.2012.03.002
- <sup>82</sup> Schautteet K, de Clercq E, Miry C, et al. Tetracycline-resistant Chlamydia suis in cases of reproductive failure on Belgian, Cypriote and Israeli pig production farms. *J Med Microbiol*. 2013;62(2):331–334. doi:10.1099/jmm.0.042861-0
- <sup>83</sup> Schautteet K, Vanrompay D. Chlamydiaceae infections in pig. *Vet Res*. 2011;42(1):29. doi:10.1186/1297-9716-42-29
- <sup>84</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft. Bundesamt für Gesundheit (BAG). Krankheiten (Chlamydiose). Bern, CH. Published 2022. <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/krankheiten-im-ueberblick/chlamydiose.html> (accessed 19.07.2022).
- <sup>85</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft. Bundesamt für Gesundheit (BAG). Zahlen für Infektionskrankheiten (Chlamydiose). Bern, CH. Published 2022. [https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-zu-infektionskrankheiten.exturl.html/aHR0cHM6Ly9tZWxkZXN5c3RlbnWUuYmFnYXBwcy5ja-C9pbmZyZX/BvcnRpbmVZGF0ZW5kZXRhaWxzL2Q-vY2hsYW15ZGlhLmh0bWw\\_/d2ViZ3JhYj1pZ25vcU.html](https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-zu-infektionskrankheiten.exturl.html/aHR0cHM6Ly9tZWxkZXN5c3RlbnWUuYmFnYXBwcy5ja-C9pbmZyZX/BvcnRpbmVZGF0ZW5kZXRhaWxzL2Q-vY2hsYW15ZGlhLmh0bWw_/d2ViZ3JhYj1pZ25vcU.html) (accessed 19.07.2022).
- <sup>86</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen. Überwachung von Aborten. «Technische Weisungen über die Entnahme von Proben und deren Untersuchung zur amtlichen Abort-Untersuchung bei Rindern, kleinen Wiederkäuern und Schweinen» vom 20.08.2021. Published 2022. <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/tiere/tiergesundheit/ueberwachung/ueberwachung-von-aborten.html> (accessed 03.12.2022).
- <sup>87</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft. Tierseuchenverordnung vom 27. Juni 1995 (Stand am 1. November 2022), SR 916.401, Art. 51. / Art. 129. Berne, CH. Published 2022. [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1995/3716\\_3716/de](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1995/3716_3716/de) (accessed 03.12.2022).

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti, F. Imkamp, N. Borel

Update zum Zoonosepotential von Chlamydien

S. Albini, H. Marti, F. Imkamp, N. Borel

- <sup>88</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft. Tierseuchenverordnung vom 27. Juni 1995 (Stand am 1. November 2022), SR 916.401, Art. 250 – 254. Berne, CH. Published 2022. [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1995/3716\\_3716\\_3716\\_de](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1995/3716_3716_3716_de) (accessed 03.12.2022).
- <sup>89</sup> Shoar S, Musher DM. Etiology of community-acquired pneumonia in adults: a systematic review. *Pneumonia*. 2020;12(1):11. doi:10.1186/s41479-020-00074-3
- <sup>90</sup> Soon XQ, Gartrell B, Gedye K. Presence and shedding of *Chlamydia psittaci* in waterfowl in a rehabilitation facility and in the wild in New Zealand. *N Z Vet J*. 2021;69(4):240–246. doi:10.1080/00480169.2021.1915212
- <sup>91</sup> Stalder S, Marti H, Borel N, et al. Detection of Chlamydiaceae in Swiss wild birds sampled at a bird rehabilitation centre. *Vet Rec Open*. 2020;7(1):e000437. doi:10.1136/vetreco-2020-000437
- <sup>92</sup> Stalder S, Marti H, Borel N, et al. Falcons from the United Arab Emirates infected with *Chlamydia psittaci*/ *C. abortus* intermediates specified as *Chlamydia buteonis* by polymerase chain reaction. *J Avian Med Surg*. 2021;35(3):333–340. doi:10.1647/20-00050
- <sup>93</sup> Stalder S, Marti H, Borel N, Sachse K, Albini S, Vogler BR. Occurrence of Chlamydiaceae in raptors and crows in Switzerland. *Pathogens*. 2020;9(9):724. doi:10.3390/pathogens9090724
- <sup>94</sup> Sting R, Lerke E, Hotzel H, Jodas S, Popp C, Hafez HM. Vergleichende Untersuchungen zum Nachweis von *Chlamydia psittaci* und *Chlamydia abortus* in Putenmastbetrieben mittels Zellkultur, ELISA und PCR. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift: wissenschaftliche Zeitschrift für die Veterinärmedizin*. 2006;113(2):50–54. [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00012311](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00012311)
- <sup>95</sup> Stokes HS, Berg ML, Bennett ATD. A review of chlamydial infections in wild birds. *Pathogens*. 2021;10(8):948. doi:10.3390/pathogens10080948
- <sup>96</sup> Sykes JE. Feline Chlamydiosis. *Clin Tech Small Anim Pract*. 2005;20(2):129–134. doi:10.1053/J.CTSAP.2004.12.018
- <sup>97</sup> Sykes JE, Anderson GA, Studdert VP, Browning GF. Prevalence of feline *Chlamydia psittaci* and feline Herpesvirus 1 in cats with upper respiratory tract disease. *J Vet Intern Med*. 1999;13(3):153–162. doi:10.1111/J.1939-1676.1999.TB02172.X
- <sup>98</sup> Szeredi L, Hotzel H, Sachse K. High prevalence of chlamydial (*Chlamydia psittaci*) infection in fetal membranes of aborted equine fetuses. *Veterinary Research Communications* 2005 29:1. 2005;29(1):37–49. doi:10.1007/S11259-005-0835-1
- <sup>99</sup> Szymańska-Czerwińska M, Mitura A, Niemczuk K, et al. Dissemination and genetic diversity of chlamydial agents in Polish wildfowl: Isolation and molecular characterisation of avian *Chlamydia abortus* strains. *PLoS One*. 2017;12(3). doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0174599
- <sup>100</sup> Szymańska-Czerwińska M, Mitura A, Zaręba K, Schnee C, Koncicki A, Niemczuk K. Poultry in Poland as Chlamydiaceae carrier. *J Vet Res*. 2017;61(4):411–419. doi:10.1515/jvetres-2017-0072
- <sup>101</sup> Taylor KA, Durrheim D, Heller J, et al. Equine chlamydiosis—An emerging infectious disease requiring a one health surveillance approach. *Zoonoses Public Health*. 2018;65(1):218–221. doi:10.1111/zph.12391
- <sup>102</sup> Turin L, Surini S, Wheelhouse N, Rocchi MS. Recent advances and public health implications for environmental exposure to *Chlamydia abortus*: from enzootic to zoonotic disease. *Vet Res*. 2022;53(1):37. doi:10.1186/s13567-022-01052-x
- <sup>103</sup> Vanrompay D. Avian chlamydiosis. *Diseases of Poultry*. Published online January 1, 2019:1086–1107. doi:10.1002/9781119371199.CH24/FORMAT/CHAPTER-EPUB
- <sup>104</sup> Vogler BR, Trinkler M, Marti H, et al. Survey on Chlamydiaceae in cloacal swabs from Swiss turkeys demonstrates absence of *Chlamydia psittaci* and low occurrence of *Chlamydia gallinaceae*. *Yildirim A, ed. PLoS One*. 2019;14(12):e0226091. doi:10.1371/journal.pone.0226091
- <sup>105</sup> Vorimore F, Thébault A, Poisson S, et al. *Chlamydia psittaci* in ducks: a hidden health risk for poultry workers. *Pathog Dis*. 2015;73(1):1–9. doi:10.1093/FEMSPD/FTU016
- <sup>106</sup> Wanninger S, Donati M, di Francesco A, et al. Selective pressure promotes tetracycline resistance of *Chlamydia suis* in fattening pigs. *Vaughan L, ed. PLoS One*. 2016;11(11):e0166917. doi:10.1371/journal.pone.0166917
- <sup>107</sup> Wills JM, Gruffydd-Jones TJ, Richmond SJ, Gaskell RM, Bourne FJ. Effect of vaccination on feline *Chlamydia psittaci* infection. *Infect Immun*. 1987;55(11):2653–2657. doi:10.1128/iai.55.11.2653-2657.1987
- <sup>108</sup> Wittenbrink MM, Mrozek M, Bisping W. Isolation of *Chlamydia psittaci* from a chicken egg: evidence of egg transmission. *Zentralbl Veterinärmed B*. 1993;40(6):451–452. doi:10.1111/j.1439-0450.1993.tb00162.x
- <sup>109</sup> Wons J, Meiller R, Bergua A, Bogdan C, Geissdörfer W. Follicular conjunctivitis due to *Chlamydia felis*—case report, review of the literature and improved molecular diagnostics. *Front Med (Lausanne)*. 2017;4(JUL):105. doi:10.3389/fmed.2017.00105
- <sup>110</sup> Zweifel D, Hoop R, Sachse K, Pospischil A, Borel N. Prevalence of *Chlamydia psittaci* in wild birds—potential risk for domestic poultry, pet birds, and public health? *Eur J Wildl Res*. 2009;55(6):575–581. doi:10.1007/s10344-009-0275-2

## Korrespondenzadresse

Sarah Albini  
Nationales Referenzzentrum für Geflügel- und Kaninchenkrankheiten  
Winterthurerstrasse 270  
CH-8057 Zürich  
Telefon: +41 44 635 86 31  
E-Mail: salbini@vetbakt.uzh.ch