

## 2 Bakteriologische Grundlagen

### 2.1 Taxonomie und Nomenklatur

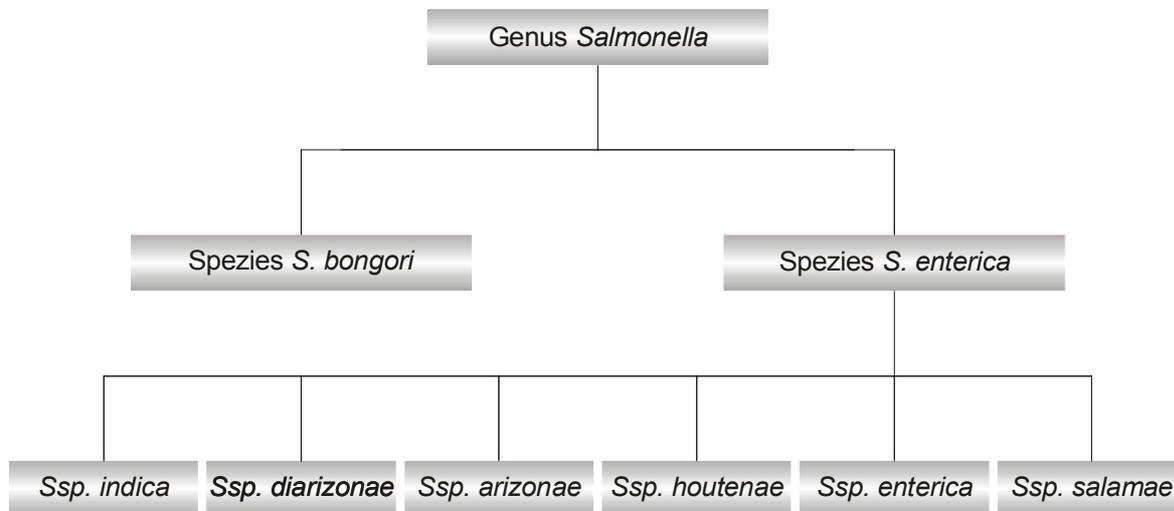
Die Gattung *Salmonella* Lignières 1900 zählt zu den wichtigsten Vertretern der Familie *Enterobacteriaceae*. In Bergey's Manual of Systematic Bacteriology wird dieses Genus dem Stamm *Gracilicutes* Gibbons u. Murray 1978 des Reiches *Procaryotes* Murray 1968 zugeordnet (LE MINOR, 1984).

Der taxonomische Status der *Salmonella*-Isolate war lange Zeit Gegenstand von Diskussionen. Es gab einige Versuche, die epidemiologisch wichtigen *Salmonellen* als eigene Art zu definieren; teilweise wurden andererseits sämtliche bekannten Isolate als eigene Spezies aufgefaßt (KAUFFMANN, 1961). Später teilte KAUFFMANN (1966) das Genus *Salmonella* auf der Basis biochemischer Charakteristiken in vier Subgenera ein, dies unter Beibehaltung seiner Theorie, jedes Serovar als Spezies anzusprechen.

DNA-Vergleichsuntersuchungen (CROSA, 1973; STOLERU, 1976) ermöglichten auf Grund enger DNA-Homologien die Beschreibung aller Serovaren als Angehörige einer Art (*S. choleraesuis*) mit insgesamt sieben Subspezies. Später wurde der Vorschlag angenommen, eine zweite *Salmonellenart* zu benennen (REEVES et al., 1989). Gegenwärtig werden die beiden *Salmonella*-Spezies *S. choleraesuis* und *S. bongori* anerkannt (POPOFF et al., 1994). *S. choleraesuis* beinhaltet sechs Subspezies: *S. choleraesuis*, *S. salamae*, *S. arizonae*, *S. diarizonae*, *S. indica* und *S. houtenae* (POPOFF et al., 1994). Da die Bezeichnung der Spezies *S. choleraesuis* durch die gleichzeitige Benennung einer Serovar mit diesem Namen zu Verwirrungen Anlaß gab, wurde von LE MINOR u. POPOFF (1987) der Vorschlag gemacht, die Spezies und die Subspezies *S. choleraesuis* in *S. enterica* umbenennen, was in der Praxis gängig ist, aber von dem International Committee of Systematic Bacteriology noch nicht anerkannt wurde. Im folgenden wird die in der Praxis übliche Bezeichnung der Spezies (*S. enterica*) verwendet.

Innerhalb der Subspezies lassen sich verschiedene Serovaren mit diversen Stämmen unterscheiden (Abb. 2.1). Ursprünglich wurden fast alle nachgewiesenen Serovaren, die im Kauffmann-White-Schema aufgeführt sind, mit Eigennamen belegt, aus Gründen der Übersicht jedoch nur die Eigennamen der zur Subspezies *S. enterica* zählenden Serovaren beibehalten. Die Vertreter der anderen Subspezies werden durch die Angaben der Antigenformel benannt.

Die sechs Subspezies der Spezies *S. enterica* lassen Beziehungen zu den früheren Subgenera nach Kauffmann erkennen. Die Subspezies *S. enterica* (früher Subgenus I) vereint die für Warmblüter bedeutsamen Vertreter. Die Subspezies *S. arizonae* und *S. diarizonae* haben ihren Standort bei wechselwarmen Tieren, wohingegen die übrigen Unterarten und *S. bongori* hauptsächlich in Umweltproben nachgewiesen werden (SELBITZ, 1992).

**Abb. 2.1: Taxonomie des Genus *Salmonella* (POPOFF et al., 2000)**

## 2.2 Charakteristische Eigenschaften

### 2.2.1 Morphologie

Bei den Salmonellen handelt es sich um gramnegative, gerade Stäbchenbakterien mit einer Größe von 0,7 - 1,5 x 2,0 - 5,0 µm. Sie sind fakultative Anaerobier und mit wenigen Ausnahmen (*S. gallinarum-pullorum*) beweglich (LE MINOR, 1984).

### 2.2.2 Serologie

Innerhalb der Familie der *Enterobacteriaceae* ist die Basis der serologischen Typisierung gleich. Wie alle Vertreter dieser Familie besitzen die Salmonellen Oberflächen- (O-) und Geißel- (H-) Antigene. Die Serovaren *S. typhi* und *S. paratyphi* weisen ein zusätzliches Hüllenantigen (K-Antigen) auf, das die O-Agglutination stören kann und als Vi-Antigen bezeichnet wird (FELIX u. PITT, 1934, 1936).

Die Antigenformeln der gegenwärtig bekannten Serovaren sind im Kauffmann-White-Schema, das insgesamt 2464 Serovaren definiert (POPOFF et al., 2000), niedergelegt. In diesem Schema sind nur die diagnostisch wichtigen Antigene aufgeführt und die Formeln keineswegs als vollständig anzusehen (LE MINOR, 1984).

Die O-Antigene werden mit arabischen Ziffern bezeichnet; auf Grund gemeinsamer Haupt-O-Antigene werden Gruppen gebildet. Stämme mit identischen O- und H-Antigenen werden als gleiche Serotypen definiert.

O-Antigene, auch als somatische Antigene bezeichnet, sind thermostabile, formaldehydunbeständige, in der Zellwand lokalisierte Lipopolysaccharid-Protein-Komplexe, wobei die Polysaccharide die serologische Spezifität bestimmen (EDWARDS, 1986).

Die H-Antigene liegen in zwei Phasen vor. Jede einzelne Zelle exprimiert nur ein H-Antigen. Die Antigene der 1. Phase werden im Kauffmann-White-Schema mit lateinischen Buchstaben, die der 2. Phase mit arabischen Ziffern bezeichnet. Bestehend aus hitzestabilen Proteinstrukturen haben die H-Antigene ihren Sitz in der Geißel, weshalb sie auch als flagellare Antigene bezeichnet werden. Die Proteine bestehen aus Flagellinen, deren Aminosäureanordnung die serologische Spezifität bestimmt (EDWARDS, 1986).

### 2.2.3 Biochemie

Die Zuordnung von Keimen zur Familie *Enterobacteriaceae* und zur Gattung *Salmonella* erfolgt unter anderem auf Grund ihrer Stoffwechselleistungen.

Den Angehörigen der Familie *Enterobacteriaceae* sind die Fähigkeiten gemeinsam, Nitrat zu Nitrit zu reduzieren und Glucose unter Bildung von Säure oder Säure und Gas zu fermentieren (EDWARDS, 1986; BRENNER, 1984).

Die für Salmonellen charakteristischen biochemischen Eigenschaften sind in der Tab. 2.1 aufgeführt. Die einzelnen Subspezies unterscheiden sich in einigen Reaktionen. Lactose wird von den meisten Stämmen der Unterart *S. arizonae* fermentiert, die im Gegensatz zu den übrigen Subspezies Dulcitol nicht verstoffwechseln können. Inositol wird nur von den Angehörigen der Unterarten *S. enterica* und *S. salamae* fermentiert (LE MINOR, 1984).

**Tab. 2.1: Biochemische Eigenschaften von Salmonellen (LE MINOR, 1984; EDWARDS, 1986)**

Test/Substrat	Reaktion
Beweglichkeit	+
Indol-Bildung	-
Harnstoffspaltung	-
Zitratverwertung	+
Gasbildung (Glucose)	+
Lactosefermentation	-
H <sub>2</sub> S-Bildung	+
Lysindecaboxylierung	+
Ornithindecaboxylierung	+
Methylrot-Reaktion	+
Voges-Proskauer-Reaktion	-
Phenylalanin-Desaminierung	-

## 2.2.4 Tenazität in Lebensmitteln

In freier Natur sowie in verschiedenen Materialien einschließlich Lebens- und Futtermitteln können Salmonellen über eine erhebliche Zeit lebens- und infektiösfähig bleiben. Ihre Vermehrungsfähigkeit hängt jedoch von den Milieubedingungen ab, die von der Feuchtigkeit, Temperatur, pH-Wert, der Verfügbarkeit von Nährstoffen, evtl. vorhandener Konkurrenzflora und den im Medium enthaltenen Stoffen bestimmt werden.

### 2.2.4.1 Wasseraktivität

Die Wasseraktivität eines Substrates - ausgedrückt als  $a_w$ -Wert - dient als Maßzahl des den Mikroorganismen verfügbaren Wassers, d.h. des weder chemisch noch physikalisch gebundenen Teils des Gesamtwassers (RÖDEL et al., 1978). Sie ist als Quotient des Dampfdruckes über dem Lebensmittel und des Dampfdruckes über reinem Wasser definiert und nimmt somit Werte zwischen 0 und 1 an.

Alle Lebensäußerungen eines Mikroorganismus sind von der freien Verfügbarkeit von Wasser abhängig. Sinkt die Wasseraktivität, sind die Mikroorganismen einem steigenden osmotischen Druck ausgesetzt, der die Zellen zur Abgabe von Wasser zwingt, mit einem daraus folgenden Anstieg der intrazellulären Kaliumkonzentration, die die enzymatische Glutaminsynthese aktiviert. Über das Glutamat wird Wasser in die Zelle zurückgeführt und der normale Zellturnover wieder hergestellt (TROLLER, 1980).

Da Glutamat zum Ausgleich seiner negativen Ladung Kationen in Form von Kalium benötigt, welches in höheren Konzentrationen zahlreiche Enzymfunktionen blockiert, ist der beschriebene Regulationsmechanismus nicht unbegrenzt möglich. Im Gegensatz zu grampositiven Keimen besitzen gramnegative nicht die Fähigkeit, Glutamat in die ungeladene Aminosäure Prolin umzuwandeln und stellen ihr Wachstum bereits bei relativ hohen  $a_w$ -Werten ein (TROLLER, 1980). Dies trifft auch für Salmonellen zu, deren  $a_w$ -Bereich im Vergleich zu anderen Bakterien, die  $a_w$ -Werte zwischen 0,75 und 0,605 (SCOTT, 1957) tolerieren, deutlich enger gesteckt ist.

Aus der Arbeit von CHRISTIAN u. SCOTT (1953) zum Effekt des  $a_w$ -wertes auf das Wachstum von 15 beweglichen Serovaren bei 30°C geht eine deutliche Abhängigkeit vom Serovar und dem Nährmedium hervor. In flüssigen Medien vermögen *S. newport* und *S. oranienburg*, nicht jedoch *S. choleraesuis* bei einer  $a_w$  von 0,946 zu wachsen, wohingegen alle drei Serovaren bei 0,942 ihr Wachstum einstellen. Die Untersuchung zeigte weiter, daß die Vermehrung von *S. oranienburg* in getrocknetem Fleisch, Milch- und Suppenpulver mit einer Wasseraktivität von 0,93 nur in Milchpulver gehemmt wurde. In allen drei Lebensmitteln war bei einer  $a_w$  von 0,92 nach 21-tägiger Inkubation kein Wachstum möglich.

Die Wasseraktivität von Fleisch- und Milcherzeugnissen läßt sich durch direkten Wasserentzug (Trocknung) und durch Zusatz löslicher Stoffe wie Zucker und vor allem Kochsalz verringern (LEISTNER u. RÖDEL, 1976; PΑPODOPOLOUS et al., 1991). Die  $a_w$ -Werte einiger Lebensmittel sind der Tab. 2.2 zu entnehmen. Jedoch haben alle technologischen Verfahren zur Senkung der Wasseraktivität lediglich eine hemmende und keine bakterizide Wirkung (LEISTNER u. RÖDEL, 1976).

**Tab. 2.2:  $a_w$ -Werte verschiedener Lebensmittel**

Erzeugnis	$a_w$ -Wert
Frisches Fleisch	0,98 - 0,99
Gepökelte gegarte Stücke	0,96 - 0,99
Brühwurst	0,95 - 0,98
Leberwurst	0,94 - 0,98
Rohe Pökelfleisch	0,83 - 0,97
Gereifter Hartkäse	0,60 - 0,92
Hart gesalzener Fisch	0,70 - 0,81
Parmesan, Trockenobst	0,60 - 0,76
Schokolade	0,40 - 0,61
Eipulver, Trockenmilch	0,20 - 0,40

In mehreren Arbeiten wird konstatiert, daß sich Salmonellen in getrockneten Lebensmitteln sowohl vermehren als auch lange Zeit halten können (GOEPFERT et al., 1970; CHRISTIAN u. STEWARD, 1973; SMITH et al., 1975a; BRYAN et al., 1979; SPERBER, 1983; IHNOT et al., 1998). In Milch- und Kakaopulver mit  $a_w$ -Werten zwischen 0,43 und 0,75 bleiben *S. heidelberg* und *S. montevideo* bis zu 14 Wochen vermehrungsfähig (JUVEN et al., 1984).

#### 2.2.4.2 pH-Wert

Die Verwendung von Säuren hat eine lange Tradition bei der Herstellung von Lebensmitteln. Der Einsatz von Essigsäure für eingelegtes Gemüse oder die Bildung von Milchsäure durch die fermentative Aktivität der Starterkulturen und nativer Flora in verschiedenen Milch- und Fleischprodukten sind bekannt (BRYAN et al., 1979; SMITH u. PALUMBO, 1973).

Der optimale pH-Bereich für das Wachstum von Salmonellen liegt zwischen 6,5 und 7,5 mit Vermehrungsmöglichkeiten bei pH-Werten von 4,5 bis 9,0 und langsamem Absterben bei extremeren Bedingungen (McDERMID, 1996).

Ein ebenso entscheidender Faktor für das Wachstum von Salmonellen wie die Azidität des Mediums ist die verwendete Säure. Der Tab. 2.3 sind die minimalen pH-Werte, bei denen sich Salmonellen vermehren, in Abhängigkeit von der Säure zu entnehmen (CHUNG u. GOEPFERT, 1970). Die dort aufgeführten pH-Werte stellen Minimalwerte dar, die unter sonst für Salmonellen optimalen Lebensbedingungen hinsichtlich Temperatur, Sauerstoff- und Nährstoffangebot ermittelt wurden.

Organische Säuren entwickeln ihre antimikrobielle Wirkung nur im dissoziierten Zustand (EL-GAZZAR et al., 1987), da das Molekül nur als Anion in die Zelle eindringen kann (RUBIN et al., 1982). Der Dissoziationsgrad einer Säure wird entscheidend vom pH-Wert bestimmt. Wird Milch mit Salzsäure auf einen pH von 3,85 eingestellt, wird *S. typhimurium* am Wachstum gehindert, Milchsäure hingegen schädigt den Keim irreversibel bei ansonsten gleichem pH-Wert. Bei einem pH-Wert von 6,5 wirkt auch Milchsäure lediglich

bakteriostatisch (RUBIN u. VAUGHAN, 1979). Der antibakterielle Effekt von Ameisen-, Essig-, und Propionsäure gegen *S. typhimurium* sinkt bei steigendem pH-Wert und zunehmender Länge der Fettsäuren (GOEPFERT u. HICKS, 1969). Diese Ergebnisse werden von ROSSO et al. (1997) bestätigt, die eine einfache Beziehung zwischen dem Dissoziationsgrad einer Säure und dem minimalen pH-Wert ermittelten. Diese Erkenntnis liegt dem Konzept der Konservierungsstoffe bei Lebensmitteln mit niedrigem pH-Wert zugrunde.

**Tab. 2.3: Minimale pH-Werte von Salmonellen in Abhängigkeit von der verwendeten Säure (nach CHUNG u. GOEPFERT, 1970)**

Säure	Minimaler pH-Wert
Salzsäure	4,05
Zitronensäure	4,05
Weinsäure	4,10
Gluconsäure	4,20
Ameisensäure	4,30
Apfelsäure	4,30
Milchsäure	4,40
Bernsteinsäure	4,60
Glutarsäure	4,70
Argidinsäure	5,10
Essigsäure	5,40
Propionsäure	5,70

Die Konsistenz des Nährmediums übt ebenfalls einen gewissen Einfluß auf die pH-Toleranz der Salmonellen aus. *S. heidelberg* wächst auf Tryptose-Soja-Agar zwischen pH 5,0 und 9,0 und in der entsprechenden Bouillon bei Werten von 6,0 - 8,0 (MATCHES u. LISTON, 1972b).

Über die Fähigkeit der Salmonellen, sich an ein saures Milieu zu adaptieren, existieren widersprüchliche Berichte. CHUNG u. GOEPFERT (1970) beobachteten keinen Effekt einer Subkultivierung bei niedrigem pH auf die Steigerung der Säuretoleranz.

Eine Exposition mit pH 3,0 überlebten 42 % der untersuchten *S. typhimurium*-Zellen nach einstündiger Inkubation in einem mit Propionat auf pH 7,0 eingestellten Nährmedium, während weniger als 1 % ohne vorherige Anpassung an pH 7,0 vermehrungsfähig blieben. (KWON u. RICKE, 1998). Diese durch flüchtige Fettsäuren induzierte Säureresistenz konnte durch Sauerstoffentzug, niedrigere pH-Bedingungen und längere Inkubationszeiten deutlich gesteigert werden.

In Käse zeigen bei pH 5,8 an HCl adaptierte *S. typhimurium*-Zellen erhöhte Überlebensraten über eine zweimonatige Reifeperiode im Vergleich zu nicht angepaßten Stämmen (LEYER u. JOHNSON, 1992).

### 2.2.4.3 Salzgehalt

Kochsalz und andere Salze finden zur Haltbarmachung von Lebensmitteln eine breite Anwendung. Der bakteriostatische Wirkmechanismus ist nicht vollständig geklärt, jedoch bindet Kochsalz das von den Bakterien zum Wachstum benötigte freie Wasser, tritt mit bakteriellen Enzymen in Interaktion und erhöht den zellulären Energiebedarf zur Aufrechterhaltung der Homöostase bei hohen Salzgehalten (D'AOUST, 1989a).

Über das Verhalten von Salmonellen bei völligem Salzzug gibt es widersprüchliche Aussagen. Aus der Arbeit von MATCHES u. LISTON (1972a) geht hervor, daß bei Fehlen von Kochsalz kein Wachstum stattfindet. SCHMEISSER (1988) stellte in frischen Mettwürsten auch ohne NaCl-Zugabe eine deutliche Vermehrung der Salmonellen fest.

Steigende Kochsalzgehalte ab 1 % bewirken ein langsames Sinken der Wachstumsraten (MATCHES u. LISTON, 1972a) und über 4 % findet keine Vermehrung mehr statt (THOMAS et al., 1991, 1992; McKAY u. PETERS, 1995).

Einige Untersuchungen zeigen, daß die Hemmwirkung auf verschiedene Serovaren in Tryptose-Soja-Bouillon mit steigender Kochsalzkonzentration (2 - 8 %) zunimmt (ALFORD u. PALUMBO, 1969) und sich die zur Hemmung der Keime notwendige Menge NaCl mit steigender Bebrütungstemperatur erhöht (MATCHES u. LISTON, 1972a) (Tab. 2.4).

Bei einem pH-Wert von 6,5 zeigen Salmonellen im Temperaturbereich zwischen 20°C und 30°C größere Kochsalztoleranz im Vergleich zu pH 5,0 (ALFORD u. PALUMBO, 1969).

**Tab. 2.4: Salztoleranz von Salmonellen in Abhängigkeit von der Bebrütungstemperatur (nach MATCHES u. LISTON, 1972a)**

Bebrütungstemperatur (°C)	Salzgehalt (%)
8	1 - 2
12	0 - 4
22	1 - 5
37	0 - 8

### 2.2.4.4 Pökelfstoffe

Bei der Herstellung von Fleischerzeugnissen werden häufig Pökelfstoffe (Nitritpökelsalz, Salpeter) zur Konservierung und Aromabildung verwendet. Die wirksame Verbindung dieser Pökelfstoffe ist das Nitrit, das zu salpetriger Säure hydrolysiert und weiter zu Stickoxid (NO) reduziert wird. Durch Reaktion mit dem Myoglobin entstehen die typische Färbung und der charakteristische Geschmack gepökelter Ware.

Außerdem bewirkt der Zusatz von Pökelfstoffen eine Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität und durch antioxidative Effekte eine längere Haltbarkeit der vorhandenen Fette (LINKE 1981; WIRTH, 1973).

Der Zusatz von Nitrit zu Fleischerzeugnissen hat nach den meisten Untersuchungen eine hemmende Wirkung auf Salmonellen.

SIRVIÖ et al. (1977) berichten über eine Verminderung der Salmonellenzahl durch Nitritzusatz, wohingegen sich die Keime ohne Nitrit vermehren konnten.

Im Vergleich zu reinem Kochsalz werden Salmonellen in Aufgußlaken durch Nitritpökelsalz stärker gehemmt (LEISTNER et al., 1973a). In einer ähnlichen Untersuchung stark kontaminierter Brühwurst beobachteten LEISTNER und Mitarbeiter (1973b) mit steigendem Nitritgehalt eine deutlich geringere Vermehrung von Salmonellen.

Unter Zusatz von 3 % NaCl und bei einem pH von 5,0 vermögen Salmonellen in Anwesenheit von 100 - 200 ppm Natriumnitrit zu wachsen, wobei die Vermehrungsraten deutlich unter denen in Abwesenheit von Nitrit liegen (GOEPFERT u. CHUNG, 1970).

Das Wachstum von Salmonellen in frischen Mettwürsten kann mit steigenden Nitritpökelsalzkonzentrationen (NPS) bis 3,5 % bei Lagertemperaturen von 35°C verhindert werden (SCHMIDT, 1987). Zur Vermeidung der Vermehrung bei 10°C sind mindestens 2 % NPS notwendig. Durch eine Verminderung des Nitritgehaltes im zugefügten NPS von 120 ppm auf 50 ppm verbesserten sich die Wachstumsbedingungen für Salmonellen in frischen Mettwürsten nicht. Eine Erhöhung des Nitritzusatzes von 120 ppm auf 750 ppm führte im Verlauf einer 6-tägigen Lagerung bei 20°C zu einem deutlichen Rückgang der Salmonellenzahlen (SCHMIDT, 1987).

Die antimikrobielle Wirkung in Wurstwaren beruht jedoch nicht allein auf dem Zusatz von Nitrat bzw. Nitrit, da im Wurstbrät vorhandene Bakterien, v.a. in nicht gekochter Ware, das Nitrit in Ammonium umwandeln können, welches keine Hemmwirkung auf Keime besitzt (LEISTNER, 1985). Die Wirkung des NPS auf Bakterien in Wurstwaren ist stets nur im Zusammenwirken mit anderen technologischen Einflüssen (Temperatur, pH-Wert, Wasseraktivität) zu bewerten (LEISTNER, 1984; LINKE, 1985) und kann je nach Milieu stärker oder geringer ausgeprägt sein.

#### 2.2.4.5 Hitze

Die Empfindlichkeit von Salmonellen gegenüber feuchter Hitze ist allgemein bekannt (GOEPFERT et al. 1970). Als Maß für die Hitzeresistenz eines Mikroorganismus dient der D-Wert, der die Zeit angibt, die bei einer bestimmten Temperatur ( $D_{Temp.}$ ) notwendig ist, um die Keimzahl auf 10 % des Ausgangswertes zu reduzieren („decimale reduction time“).

Temperaturen von 63°C bzw. 60°C für 6 bzw. 8 Sekunden führen in flüssiger Milch zu einer Reduktion der *S. muenster*-Zellen um 5 bzw. 2 Zehnerpotenzen (D'AOUST et al., 1987). *S. senftenberg* 775W bedurfte zur vollständigen Inaktivierung 69°C über 7 Sekunden.

READ et al. (1968) ermittelten für sechs *Salmonella* ssp. in Trockenmilch D-Werte von 3,6 - 5,7 Sekunden bei 62,8°C.

Für ein Gemisch verschiedener Serovaren berechneten D'AOUST et al. (1987) bei 61,5°C D-Werte von 2,34 - 3,54 Sekunden. Bei der Untersuchung eines Gemisches verschiedener Serovaren ist zu bedenken, daß Unterschiede zwischen den Serovaren hinsichtlich ihrer Hitzeresistenz bestehen, die sich bei der Berechnung des D-Wertes niederschlagen.

Die Hitzeresistenz der Salmonellen wird von verschiedenen Faktoren mehr oder weniger stark beeinflusst.

Aus der Menge des verfügbaren Wassers während der Erhitzung von Lebensmitteln resultieren deutliche Differenzen in der Hitzeresistenz von Mikroorganismen. GOEPFERT und Mitarbeiter (1970) stellten einen Zusammenhang zwischen der Hitzeempfindlichkeit von 8 *Salmonella*-Serovaren und dem  $a_w$ -Wert des behandelten Lebensmittels fest. Die Hitzeempfindlichkeit wird jedoch insofern mehr von der kompositionellen Zusammensetzung des Mediums beeinflusst als von der tatsächlichen Wasseraktivität (GOEPFERT et al., 1970), als z.B. Saccharose höheren Schutz gegen Hitze bietet als andere Stoffe. In Mehl verläuft die Inaktivierungskurve von *S. weltevreden* unter Einwirkung von 60 - 77°C zweiphasig. Einer initial hohen Absterberate in den ersten 10 Minuten der Erhitzung folgt eine langsamere, lineare Reduktion der Keimzahlen, wobei der  $a_w$ -Wert des Nahrungsmittels vor der Hitzebehandlung und nicht die Wasseraktivität während der Erhitzung den entscheidenden Parameter für die Hitzeresistenz der Salmonellen darstellt (ARCHER et al., 1998).

In sauren Milchprodukten steigt die Überlebensdauer von Salmonellen unter Hitzeeinwirkung mit zunehmender Casein-Konzentration an, so daß RUBIN (1985) von einer Schutzwirkung des Caseins gegen hohe Temperaturen ausgeht.

Über einen nicht unerheblichen Einfluß der Feuchtigkeit auf die Überlebenszeiten von *S. typhimurium* in Magermilchpulver bei einer Hitzeeinwirkung von 85°C berichten auch McDONOUGH u. HARGROVE (1968). Eine Erhitzungszeit von zwei Stunden reichte bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 4 % und 7 % nicht aus, um den Testkeim zu inaktivieren. Bei 25 % Feuchtigkeit waren nach 30 Minuten keine Bakterien im Milchpulver nachzuweisen.

In ihrem optimalen pH-Bereich sind Mikroorganismen am wenigsten empfindlich gegen Hitzeeinwirkung (KRÄMER, 1997; STIEBING, 1984). In einem Modellversuch zum Verhalten von *E. coli* und *S. typhimurium* in Lebanon Bologna, einer italienischen Rohwurst, beobachteten ELLUJOSYULA und Mitarbeiter (1998) eine deutlich stärkere Reduktion der *E. coli*-Konzentrationen im Temperaturbereich 43,3 - 48,9°C bei pH 4,7 im Vergleich zu pH 6,0. Nach Meinung der Autoren dürfte sich *S. typhimurium* ähnlich verhalten, je mehr sich der pH-Wert des Mediums dem Neutralpunkt nähert.

In Abhängigkeit von der Temperatur und der Kochsalzkonzentration liegt der optimale pH-Wert für das Überleben von *S. enteritidis* unter Hitzeeinwirkung zwischen 5,9 und 6,5 (BLACKBORNE et al., 1997).

In 5 von 8 Einzeluntersuchungen über den Effekt der Anheftung an Schweinefleisch auf die Hitzetoleranz von drei *S. typhimurium* DT 104 Stämmen zeigten die Testkeime signifikant längere Überlebenszeiten. Zur Reduktion der freien Zellen um den Faktor 10 waren zwei Minuten nötig, wohingegen an Schweinefleisch angeheftete Bakterienzellen über 10 Minuten auf 58°C erhitzt werden mußten, um die gleiche Verringerung zu erzielen (HUMPHREY et al., 1997).

Sauerstoffabschluß führt zu einer bis zu 8mal höheren Resistenz von *S. enteritidis* gegen Hitzeeinwirkung als unter aeroben Bedingungen. Unter Verwendung eines anaeroben Gasgemisches wurden zur 6-fachen dezimalen Reduktion bei 59°C 19 - 24 Minuten benötigt, bei einer O<sub>2</sub>-Konzentration von 0,5 - 1 % 5 - 17 Minuten. Eine Erhöhung des Sauerstoffgehaltes auf 2 - 4 % ermöglichte in 3 Minuten die entsprechende Inaktivierung (GEORGE et al., 1998).

#### **2.2.4.6 Niedrige Temperaturen**

Exposition bei niedrigen Temperaturen zwingt Bakterienzellen zur Reduktion ihrer Stoffwechselaktivität und verursacht Veränderungen der Integrität des Zytoplasmas, wodurch das Wachstum bei für jedes Bakterium spezifischen Grenzwerten eingestellt wird.

MICHENER u. ELLIOTT (1964) geben in ihrer Übersichtsarbeit die minimale Temperatur für das Wachstum von Salmonellen mit 6,7°C an, wohingegen SCHMIDT (1988b) bei seinen Untersuchungen eine Wachstumseinstellung bei Temperaturen unter 5°C registrierte.

In Zwiebelmettwurst vermögen sich Salmonellen bei 4°C und 10°C nicht zu vermehren, während bei 20°C nach anfänglicher Zunahme eine Reduktion der Keimzahlen zu beobachten ist (SCHMIDT, 1983).

*S. enteritidis* verfügt offensichtlich über ein deutliches Potential, auch bei Kühlschranktemperaturen zu überleben und zu wachsen. Nach einer 16-stündigen Bebrütung bei 37°C und anschließender Exposition von 10°C setzt *S. enteritidis* sein exponentielles Wachstum fort und erreicht nach 50 Stunden die gleiche Zelldichte wie nach weiterer Inkubation bei 37°C. Eine Kälteschockbehandlung bei 5°C bewirkt signifikant niedrigere Vermehrungsraten (JEFFREYS et al., 1998).

Auf Agaroberflächen ermittelten MATCHES u. LISTON (1972b) durchschnittliche Minimaltemperaturen verschiedener Serovaren von 5,2°C bis 9,5°C in deutlicher Abhängigkeit vom pH-Wert des Mediums. Die untersuchten Serovaren begannen bei pH 5,0 ab 9,5°C zu wachsen, und die minimale Temperatur sank zum Neutralpunkt hin auf 5,2°C, um bei pH 9,0 auf 6,4°C anzusteigen.

Die Länge der Inkubationszeit beeinflusst die Kälteempfindlichkeit deutlich. *S. heidelberg* tritt bei 7,5°C nach 5 Tagen in die Vermehrungsphase, bei ausreichend langer Inkubationszeit (> 12 Tage) ist ein Wachstum auch unter 6°C möglich. Zahlreiche andere Serovaren zeigen ein ähnliches Verhalten (MATCHES u. LISTON, 1968).

Obwohl Salmonellen bei Temperaturen unter 5 - 7°C ihr Wachstum einstellen, sind sie in der Lage, auch bei Gefriertemperaturen vermehrungsfähig zu bleiben (MICHENER u. ELLIOT, 1964).

In einem Propylenglykol-Wasser-Gemisch, einem Kühlmittel in Milchverarbeitungsanlagen, vermag *S. typhimurium* bei -1°C bis zu 14 Tage zu überleben (ZOTTOLA u. SMITH, 1986). GHONIEM (1971) prüfte die Überlebenszeiten von 7 verschiedenen Salmonella Serovaren in ägyptischem Joghurt bei -1°C, +4°C und 30 - 32°C. *S. typhi* erwies sich mit einer Nachweisbarkeit von 30, 16 bzw. 11 Tagen als empfindlichster Serotyp, während *S. typhimurium* 68, 23 bzw. 19 Tage überlebte.

JEFFREYS et al. (1998) schließen aus ihren Untersuchungen über das Verhalten von *S. enteritidis* bei Gefrierlagerung (-78°C) nach 30minütiger Bebrütung bei 10°C, daß kältebehandelte Kulturen einen Überlebensvorteil unter Einwirkung extrem niedriger Temperaturen gegenüber unbehandelten Keimen besitzen und die Proteine, die während der Vorbehandlung produziert werden, das Überleben während des Einfrierens verlängern. Kältebehandelte *S. enteritidis*-Zellen zeigten nach initialer Reduktion in den ersten zwei Stunden des Einfrierens eine konstante Keimzahl über 144 Stunden.

## 2.3 Diagnostik

### 2.3.1 Diagnostik nach amtlicher Vorschrift

#### Untersuchung von Lebensmitteln

Der Nachweis von Salmonellen in Lebensmitteln erfolgt nach der Methode L 00.00.20 der amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (ANONYM, 1990). In dieser Sammlung werden detaillierte Anweisungen zur Herstellung der zu verwendenden Nährmedien und Reagenzien und zur Durchführung der Untersuchung gegeben.

Die Untersuchung wird in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten durchgeführt und beginnt mit einer Voranreicherung des Probenmaterials in gepuffertem Peptonwasser (Tab. 2.5), da Salmonellen im Probenmaterial häufig in geringer Zahl, vorgeschädigt oder mit anderen Mikroorganismen vergesellschaftet vorkommen.

**Tab. 2.5: Untersuchung von Lebensmitteln auf Salmonellen nach der amtlichen Methode L 00.00.20**

Untersuchungsschritt	Nährmedium / Reaktion
Voranreicherung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gepuffertes Peptonwasser</li> </ul>
Anreicherung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnesiumchlorid-Malachitgrün-Medium (Lösung) nach Rappaport-Vassiliadis (RV-Medium)</li> <li>• Selenit-Cystein-Nährboden</li> </ul>
Isolierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brillantgrün-Phenolrot-Agar n. Edel u. Kampelmacher</li> <li>• fester, selektiver Nährboden nach eigener Wahl</li> </ul>
Identifizierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nähragar</li> <li>• Halbfester Nähragar</li> <li>• Dreizucker-Eisen-Agar <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Umsetzung von</i></li> <li><i>Glucose</i></li> <li><i>Lactose</i></li> <li><i>Saccharose</i></li> <li><i>H<sub>2</sub>S-Bildung</i></li> </ul> </li> <li>• Harnstoff-Agar n. Christensen <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Harnstoffspaltung</i></li> </ul> </li> <li>• Lysin-Decarboxylase-Nährboden <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Lysin-Decarboxylierung</i></li> </ul> </li> <li>• Voges-Proskauer-Reaktion</li> <li>• Indol-Reaktion</li> </ul>

Nach der Anreicherung und Isolierung auf Selektivnährböden werden salmonellaverdächtige Kolonien mit omni- oder polyvalenten Salmonellenantigenen auf ihre Zugehörigkeit zur Gattung *Salmonella* vorgeprüft und einer biochemischen Analyse unterzogen.

Mit amtlich geprüften Salmonella-Faktoren-Seren bzw. physiologischer Kochsalzlösung werden verdächtige Kolonien auf Selbstagglutination und Anwesenheit von Salmonellaantigenen untersucht. Die Reaktionen werden als positiv gewertet, wenn Agglutinationen auftreten, die weitere Identifikation erfolgt nach dem Kauffmann-White-Schema.

In speziellen Fällen sind zum Nachweis von Salmonellen in Lebensmitteln andere wissenschaftlich validierte Methoden gestattet.

### **Bakteriologische Fleischuntersuchung nach der Allg. Verwaltungsvorschrift zum Fleischhygienegesetz (VwVFIHG)**

Bei Vorliegen bestimmter Indikationen schreibt die Fleischhygiene-Verordnung eine Bakteriologische Fleischuntersuchung (BU) zwingend vor. Dies gilt vor allem für Hinweise auf Infektionen, krankhafte Veränderungen oder sonstige Verdachtsmomente, die die Unbedenklichkeit des Fleisches in Frage stellen können.

Die BU erfolgt nach den Durchführungsvorschriften der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Fleischhygienegesetz (VwVFIHG) (Tab. 2.6).

Der Tierkörper, bei dem eine BU eingeleitet worden ist, muß mit allen Organen und sonstigen Teilen bis zum Abschluß der BU räumlich getrennt von anderem Fleisch aufbewahrt werden. Die Entnahme der Proben hat mit durch Hitze entkeimten Instrumenten zu erfolgen. Die entnommenen Proben müssen möglichst gekühlt und auf schnellstem Wege mit beigefügtem Vorbericht, Antrag auf BU und ggf. Vermerk besonderer Verdachtsmomente versandt werden. Zur Untersuchung sind die Proben so aufzubereiten, daß Binde- und Fettgewebe entfernt und die Oberfläche durch Hitze in einer Tiefe von 1 - 2 mm denaturiert wird.

Alle eingesandten Proben werden im direkten Ausstrichverfahren und in der Salmonellenanreicherung untersucht, die Muskelproben zusätzlich auf Anaerobier. Für den Hemmstofftest, der der Absicherung v.a. von Negativergebnissen und dem Nachweis von Medikamentenrückständen dient, finden Muskulatur- und Nierenproben Verwendung.

In Verdachtsfällen kann die Untersuchung auf weitere Methoden ausgedehnt werden, um auch Erreger außerhalb der Routinenachweise erfassen zu können.

Die Platten sind auf das Wachstum von Salmonellen, anderen Krankheitserregern, insbesondere Milzbrand- und Rotlauferrger sowie Listerien und saprophytische Keime zu untersuchen.

Bei Verdacht auf Salmonellen erfolgt zunächst eine orientierende serologische Überprüfung typischer Kolonien mit amtlich geprüften omni- bzw. polyvalenten Salmonellaantiseren. Bei positiver Agglutination ist anschließend eine Subkultivierung und Reinzüchtung der verdächtigen Kolonien vorzunehmen. Zur weiteren Bestätigung erfolgt eine Untersuchung der Reinkulturen mittels amtlich geprüfter Faktorensereen.

**Tab. 2.6: Bakteriologische Fleischuntersuchung  
(Kap. III Nr. 3 VwVFIHG)**

<b>obligatorische Proben</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Muskulatur aus Extremitäten ganzer Muskelbauch mit Fascien</li> <li>– Bug- oder großer innerer Darmbeinlymphknoten</li> <li>– Milz</li> <li>– Leber faustgroßes Stück aus dem Bereich der Leberpforte</li> </ul>
<b>Zusatzproben</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– veränderte Teile mit Lymphknoten</li> <li>– bei Salmonellen-Ausscheidungsverdacht: 10 cm Dünndarm mit Lymphknoten</li> </ul>
<b>Untersuchung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Direktausstrich Pepton-Fleischextrakt-Agar Brillantgrün-Phenolrot-Laktose-Agar Selektiv-Indikatorplatte für Salmonellen</li> <li>– Leberbrühe-Anreicherung obligat anaerobe grampositive Stäbchen</li> <li>– Salmonellenanreicherung: Tetrathionat Selenit-Bouillon Rappaport-Vassiliadis-Medium</li> <li>– Voranreicherung in Pepton-Wasser: bei gefrorenen, getrockneten oder zubereiteten Proben</li> </ul>
<b>Weitere Differenzierung der nachgewiesenen Keime</b>	

### Untersuchung von Stuhlproben

Für die Untersuchung von Stuhlproben zur Diagnose menschlicher Salmonelleninfektionen sind keine Methoden detailliert vorgeschrieben. Die Auswahl der Anreicherungs- und Selektivnährböden bezieht sich auf die DIN-Norm 58942-5 (1995). Diese Norm gilt für alle Kulturmedien, die im humanmedizinischen Bereich für die bakteriologische Stuhluntersuchung eingesetzt werden.

Zweck der Norm ist es, die mikrobiologischen Anforderungen an Kulturmedien für die Stuhluntersuchung festzulegen sowie die Auswahl der geeigneten Kulturmedien für die gestufte Untersuchung zu ermöglichen. Eine rechtliche Fixierung der Untersuchungsmethoden ist nicht gegeben.

Auf folgende Mikroorganismen muß im Rahmen der bakteriologischen Stuhluntersuchung mit Hilfe von Kulturmedien entsprechender Selektivität untersucht werden:

*Salmonella* ssp.

*Shigella* ssp.

*Yersinia enterocolitica*

enteropathogene, enterohämorrhagische *Eschericia coli* Stämme

*Campylobacter* ssp.

*Vibrio* ssp.

*Staphylococcus aureus*

*Pseudomonas aeruginosa*

*Aeromonas hydrophila*

*Mycobacterium* ssp.

*Clostridium difficile*

Um eine gezielte Diagnostik enteropathogener Mikroorganismen aus der Stuhlflora zu ermöglichen, ist das Verfahren der gestuften Stuhldiagnostik anzuwenden.

Die Prinzipien der gestuften Stuhluntersuchung und Beispiele für Kulturmedien sind im Beiblatt 1 zu DIN 58942 Teil 5 (1995) dargestellt.

Stufe 1 gilt als Basisuntersuchung für alle geformten Stuhlproben, zu denen der Arzt keine gezielten Hinweise gegeben hat oder bei Untersuchungen zum Ausschluß der genannten Erreger (u.a. *Salmonella*).

Bei auffälliger Stuhlbeschaffenheit, bei ärztlichen Angaben zum Bild einer Enteritis, entsprechender Anamnese und bei nachfolgenden Untersuchungen sind zusätzliche Untersuchungen durchzuführen.

Zur Untersuchung auf Salmonellen stehen als Anreicherungsmedien Selenit-Bouillon und Tetrathionat-Bouillon zur Auswahl.

Die in der DIN 58942-5 (1995) aufgeführten Isolierungsmedien für Salmonellen sind der Tab. 2.7 zu entnehmen.

**Tab. 2.7: Kulturmedien mit Selektivitätsgrad zur Isolierung und Differenzierung von Salmonellen aus Stuhlproben (DIN 58942-5, 1995)**

	Selektivitätsgrad			
	ohne 0	mäßig 1	2	hoch 3
<b>Selektivmedien aus der Anreicherung</b>				
XLD-Agar			x	
BPLS-Agar				x
MacConkey-Agar		x		
<b>Kulturmedien für die direkte Kultur</b>				
Desoxycholat-Agar			x	
SS-Agar				x
BPLS-Agar				x
XLD-Agar			x	

### 2.3.2 Weitere Differenzierungsverfahren

Neben den klassischen Diagnoseverfahren stehen neuere Methoden zur Identifizierung und Differenzierung von Salmonellen zur Verfügung, die sich die unterschiedlichen Reaktionen der Keime auf Bakteriophagen sowie ihre genetischen Eigenschaften zunutze machen.

#### Lysotypie

Mittels der Lysotypie durch Bakteriophagen ist eine Unterscheidung von Stämmen innerhalb der Serovaren möglich. Für epidemiologisch wichtige Salmonella-Serovaren sind verschiedene Typisierungsmethoden nötig, da jeder Bakteriophage nur bestimmte Stämme lysiert. Durch die Unterscheidung der Lysisbilder lassen sich die Stämme bestimmten Lysotypen zuordnen (KÜHN, 1982).

Gegenwärtig stehen für fast alle epidemiologisch wichtigen Salmonella-Serovaren gebräuchliche Lysotypiesysteme zur Verfügung (RABSCH, 1996).

#### Molekularbiologie

Unter molekularbiologischen Untersuchungsverfahren versteht man Methoden, mit denen Isolate auf Grund ihrer genetischen Eigenschaften unterschieden werden können. Dadurch wird die Charakterisierung von erregerspezifischen Nukleotidsequenzen möglich (GERLACH, 1994).

Neben den Chromosomen verfügen Bakterien über Plasmide, die autonome extrachromosomale Informationsträger der Zelle darstellen. Plasmide stellen den Bakterien ein Potential von besonderen StoffwechsellLeistungen genetisch zur Verfügung. Auf diesen Plasmiden sind u. a. Virulenzfaktoren und Gene für Antibiotikaresistenzen codiert. Die Kombination der Plasmide innerhalb einer Bakterienzelle ermöglicht die Ausbildung eines individuellen, qualifizierten Phänotypes, der unter bestimmten Umweltverhältnissen selektiert wird, so daß dieser sich als Klon erhalten kann (KÜHN et al., 1989). Die Untersuchung dieser Plasmide erlaubt eine Feindifferenzierung der Salmonellen an Hand ihrer genetischen Determinanten.

## 2.4 Epidemiologische Kreisläufe

Das epidemiologische Geschehen der Salmonellose zeichnet sich durch eine beachtliche Breite aus, mit vielfältigen ökologischen Zusammenhängen und sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren (MAYR, 1990). Es wird charakterisiert durch die Erreger, die Wirte, die Reservoir, die Übertragungswege und die Umwelt. Abb. 2.2 veranschaulicht die in der Umwelt bestehenden Ketten und Kreisläufe, die zu einer steten Erneuerung der Kontamination der einzelnen Bereiche führen.

Ein wichtiger Infektionskreis für Salmonellen ist der landwirtschaftliche Nutztierbestand, in den die Keime sowohl über kontaminierte Futtermittel, Weiden, den Zukauf infizierter Tiere als auch über belebte Vektoren eingetragen werden. Da der fäkal-orale Übertragungsweg der Regelfall ist, spielt in diesem Zusammenhang das Überleben fäkal ausgeschiedener Salmonellen im Stall eine beachtliche Rolle. Während auf glatten, relativ sauberen Metalloberflächen *S. enteritidis* bei 50 % relativer Luftfeuchte und 10°C Umgebungstemperatur nur 2 Tage bzw. *S. typhimurium* unter gleichen Bedingungen ca. 14 Tage überleben (McDODE u. HALL, 1964), ist bei Vorhandensein eines schützenden Mediums wie Staub, eingetrocknetem Kot u.ä. mit erheblich längeren Überlebenszeiten zu rechnen (ENKIRI u. ALFORD, 1971).

Ausgehend von tierischen Ausscheidungen können sich über belebte Vektoren, wirtschafts-eigenes Futter, Verschleppung in das Grundwasser oder Weideüberschwemmungen verschiedene epidemiologische Kreisläufe schließen.

Für Flüssigmist macht STRAUCH (1987) eine Reihe von Angaben zu mittleren Überlebenszeiten verschiedener Serovaren, die von 12 Tagen für *S. dublin* in Kälbergülle bis 210 Tagen für *S. anatum* in Rindergülle reichen. MUNCH et al. (1987) und ERREBO LARSON u. MUNCH (1990) geben für *S. enteritidis* in unbelüftetem Flüssigmist einen D-Wert bei 7°C von 4,4 Wochen und für *S. typhimurium* einen D-Wert bei 20°C von 1 - 3 Wochen an.

Auf mit Flüssigmist gedüngten Pflanzen scheinen Salmonellen unterschiedlich lange überleben zu können. Ausgehend von  $8 \times 10^6$  KbE/cm<sup>2</sup> werden für *S. typhimurium* einerseits Überlebenszeiten von 42 - 56 Tagen (TANNOCK u. SMITH, 1971) andererseits für experimentell kontaminierte Wiesenflächen 4 - 11 Wochen angegeben (PLATZ, 1981).

In bezug auf die Verschleppung durch den Boden in das Grundwasser liegen nur sporadisch Erkenntnisse vor. In einem intakten Bodengefüge werden Salmonellen in den oberen 15 cm festgehalten, während bei gestörter Bodenstruktur ein tieferes Eindringen möglich ist (TACHTLER, 1991).

Ein weiteres Reservoir sind Gewässer, die durch Zulauf aus unterschiedlichen Quellen mit Salmonellen belastet werden können. Situationsbedingt stehen menschliche Ausscheidungen im Vordergrund, aber auch Abwässer aus Schlacht- und fleischverarbeitenden Betrieben sind von Bedeutung (GAREIS, 1995). So können sich über das Abwasser, den kommunalen Klärschlamm und landwirtschaftliche Nutzflächen, auf die dieser ausgebracht wird, epidemiologische Kreisläufe schließen. Ebenso sind entsprechende Wege über das Abwasser und den Vorfluter möglich, da es beim üblichen Klärprozeß nur zu einer unbedeutenden Keimreduktion kommt (TEIGTE et al., 1986).

Speziell in organisch hochbelasteten Abwässern können sich Salmonellen vermehren, so daß zusätzlich eine Anreicherung stattfindet (TEITGE et al., 1986; TIEFENBRUNNER u. NIEDERHAUSER, 1988). KAYSER et al. (1987) konnten Zusammenhänge zwischen der Schlachtaktivität, dem Salmonellenaufkommen sowie den Zeiten, in denen eine Vermehrung der Keime möglich ist, nachweisen.

*S. typhimurium* hat ein natürliches Reservoir in Schadnagern. Bei Ratten muß je nach Biotop mit Befallsraten zwischen 4 % und 30 % gerechnet werden (AMTSBERG, 1981). Nagetiere spielen eine besondere Rolle bei der Verschleppung des Erregers von Einstallung zu Einstallung, da die Keime häufig im Stall und in der Stallumgebung auch nach Desinfektionsmaßnahmen überleben können (BAXTER-JONES u. WILDING, 1982; SIMONSEN et al., 1987).

Von großer Bedeutung scheinen Wasservögel, insbesondere Möwen als Reservoir und Vektor für Salmonellen zu sein, die durch den ständigen Kontakt mit kontaminiertem Oberflächen- oder Abwasser permanent geringe Dosen an Salmonellen aufnehmen und latente Infektionen ausbilden (LORENZ, 1989).

Wenn auch bei Insekten nicht in vergleichbarem Maß ein Salmonellengeschehen abläuft wie bei Schadnagern oder Wassergeflügel, können sie doch an epidemiologischen Kreisläufen beteiligt sein. Über sie können Salmonellen von Tier zu Tier oder von Tier über Nahrungsmittel auf Menschen übertragen werden (STEIN, 1977).

Abb. 2.2: Epidemiologie der Salmonellen (mod. nach ROLLE u. MAYR, 1993)

