Zeitschrift: Schweizer Archiv für Tierheilkunde SAT : die Fachzeitschrift für Tierärztinnen und Tierärzte = Archives Suisses de Médecine Vétérinaire ASMV : la revue professionnelle des vétérinaires

Herausgeber: Gesellschaft Schweizer Tierärztinnen und Tierärzte

Band: 114 (1972)

Heft: 3

Artikel: Praxisbeobachtungen zum Problem der aerogenen Übertragung des MKS-Virus : ein Beitrag zur Epizootologie der MKS

Autor: Bischofberger, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-590865

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.10.2025

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

Praxisbeobachtungen zum Problem der aerogenen Übertragung des MKS-Virus – Ein Beitrag zur Epizootologie der MKS

Von A. Bischofberger

Einleitung

Dr. med. vet. h.c. Bartholomäus Höhener[1], von 1910 bis 1943 Kantonstierarzt des Kantons St. Gallen, stellte vor über vier Jahrzehnten auf Grund seiner langjährigen Beobachtungen bei der praktischen Bekämpfung der Maul- und Klauenseuche (MKS) die Hypothese auf,

daß die MKS beim Vorliegen eines Virusstammes von überdurchschnittlicher Infektiosität nicht nur durch direkten oder indirekten Kontakt (Vektorenübertragung) von einem Tier auf ein anderes übertragen werde, sondern daß darüber hinaus unter besonders gelagerten Verhältnissen auch eine Übertragung auf aerogenem Wege – durch Windströmungen – erfolgen könne,

wobei er mit besonderem Nachdruck auf die unter Umständen schwerwiegenden epizootologischen Auswirkungen dieses Übertragungsmodus hinwies. Diese Ansicht fand damals in der Fachwelt nur geringes Echo und wurde von einzelnen Vertretern der Tierseuchenpolizei bekämpft. Der Grund der Ablehnung war ein zweifacher: von wissenschaftlicher Seite wurde eingewendet, daß diese Hypothese «bloß» auf praktischen Beobachtungen beruhe und ihr die experimentelle Beweiskraft fehle, und andererseits wurde befürchtet, daß ihre Anerkennung die Durchführung der bisherigen Bekämpfungsmaßnahmen erschweren oder verunmöglichen könnte. Die jahrelangen teils heftigen Kontroversen flauten erst ab, als im Jahre 1938 in den Forschungsanstalten Riems eine Vakzine hergestellt werden konnte, deren konsequente Anwendung in Verbindung mit seuchenpolizeilichen Maßnahmen größere MKS-Epizootien zu verhindern versprach. Dadurch verlor die «Hypothese Höhener» ihre Aktualität und schien höchstens noch akademisches Interesse zu verdienen.

Dies änderte sich im Jahre 1965 grundlegend, und zwar in zwei Richtungen: Einerseits entwickelten sich beim Auftreten eines extrem virulenten Virusstammes – oder einer durch die bisher verwendeten Vakzinen nur ungenügend «abgedeckten» Typvariante – trotz konsequenter Anwendung der genannten Bekämpfungsmethoden ganze Länder überziehende Epizootien, und andererseits gelang es Hyslop [1, 2], den experimentellen Nachweis zu erbringen, daß sich das MKS-Virus an in der Luft schwebende Aerosole bindet und daß diese durch Luftströmungen verbreitet werden können. Dadurch erhielt die Hypothese Höheners zum erstenmal die ihr bisher fehlende experimentell-virologische Grundlage.

[1] 1877–1947, Nachruf Schweiz. Arch. Tierheilk. *89*, 563–566 (1947).

Dies veranlaßte uns, auf das umstrittene Problem der aerogenen Virusausbreitung zurückzukommen und die seinerzeitigen Ansichten Höheners mit den neuesten Erkenntnissen der meteorologischen und virologischen Forschung zu konfrontieren. Unsere Darstellung dieser Konfrontation ist in erster Linie für den in der Seuchenbekämpfung tätigen Praktiker gedacht.

Grundlage dieser Abhandlung sind Praxisbeobachtungen zur Epizootologie der MKS. Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung wurden nur so weit herangezogen, als sie für das Verständnis der biologischen Zusammenhänge wichtig sind. Darstellung sowohl wie Zitation verwendeter Literatur sind entsprechend ausgerichtet. Als moderne Referenzwerke für die virologischen Aspekte verwendeten wir das Lehrbuch von Rolle und Mayr [3] und das Handbuch von Röhrer [4]. Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf die entsprechenden Nummern des Literaturverzeichnisses.

ALLGEMEINER TEIL

A. Die Grundlagen der « Hypothese Höhener»

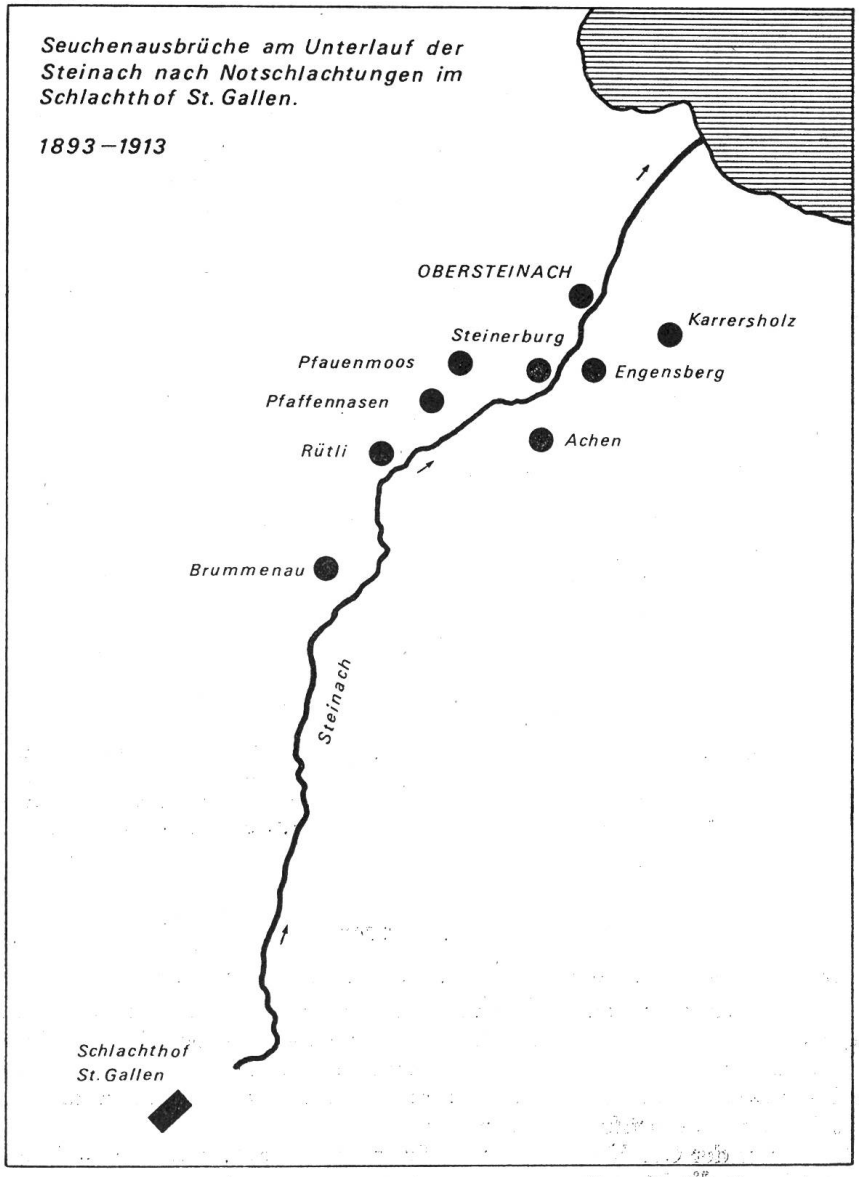
1. Beobachtungen

Die von Höhener aufgestellte Hypothese stützt sich in erster Linie auf Beobachtungen bei der praktischen MKS-Bekämpfung. Einerseits machte er zu jener Zeit, als in der Schweiz die Abschlachtung der Primärherde auf den Gehöften als wirksamste Methode der Bekämpfung der MKS betrachtet wurde – vom Jahr 1914 an bis nach Beendigung des Seuchenzuges 1919/1921 –, mehrfach die Feststellung, daß etwa 8 Tage nach der Abschlachtung in der Umgebung des jeweiligen Schlachtortes schlagartig gehäufte Neuausbrüche von MKS erfolgten, und zwar ausschließlich in Gehöften, die von Windströmungen bestrichen wurden, welche vorher auch den Schlachtort bestrichen hatten. Andererseits traten bald nach Höheners Amtsantritt (1910) verschiedentlich Seuchenausbrüche in ganz bestimmten Teilen des von St. Gallen zum Bodensee sich hinziehenden Steinachtales auf, deren Ursache trotz intensiver Nachforschung in keinem Fall eruiert werden konnte. Das einzig Gemeinsame lag darin, daß in nahezu allen Fällen 10 bis 14 Tage vorher im Schlachthof St. Gallen verseuchte Importochsen geschlachtet wurden. Durch rückläufige Erhebungen konnten Zusammenhänge zwischen diesen Seuchenschlachtungen und den Seuchenausbrüchen auf über 20 Jahre zurück nachgewiesen werden.

Diese Beobachtungen im Steinachtal und die daraus gezogenen Schlüsse veröffentlichte Höhener 1925 (nachdem er schon an der Hauptversammlung der Gesellschaft Schweizerischer Tierärzte 1912 darüber berichtet hatte) in der Festschrift E. Zschokke und später auch in diesem Archiv [5].

Abb. 1 zeigt die Lage des Schlachthofes St. Gallen, den Lauf der Steinach und die Gebiete, in welchen nach Seuchenschlachtungen regelmäßig Ausbrüche erfolgten, Tab. 1 gibt alle im Zeitraum von 1892 bis 1913 erfolgten Schlachtungen von verseuchten Importochsen in St. Gallen und alle im glei-

Abb. 1



chen Zeitraum im Steinachtal aufgetretenen Seuchenfälle wieder. Daraus geht hervor, daß in den 22 Jahren etwa 30mal Seuchenschlachtungen erfolgten und daß in nahezu allen Fällen nach Ablauf der Inkubationszeit Seuchenausbrüche im Steinachtal auftraten, während in den Jahren ohne Seuchenschlachtungen das Tal mit verschwindend wenigen Ausnahmen frei von MKS blieb. Ab 1914 wurden in St. Gallen nur noch ganz vereinzelt verseuchte Tiere geschlachtet. Von diesem Zeitpunkt an blieb die periodische Verseuchung des Steinachtales aus.

Tabelle 1 Schlachtungen verseuchter Importochsen im Schlachthof St. Gallen und MKS-Ausbrüche in Viehbeständen des Steinachtales

Jahr	Seuchenschlachtungen im Schlachthof St. Gallen	Seuchenausbrüche im Steinachtal
1892	19. und 28. Februar	5. März
1893	16. Februar, 2. und 21. März	Mitte März
	6. November, 7. und 11. Dezember	Mitte November und Dezember
1894	21. und 24. Januar	4., 8. und 10. Februar
1895	1. April	13. bis 16. April
1896	26. Februar	7. März
1897	Mitte November	Ende November
1898	23. Februar	5. März
	22. März	30. März
1899	1 Fall Mitte Dezember	seuchenfrei
1900	Januar wiederholte Fälle	Ende Januar/anfangs Februar vollständige Verseuchung
1901	keine Fälle	2 sporadische Fälle
1902	keine Fälle	seuchenfrei
1903	keine Fälle	seuchenfrei
1904	keine Fälle	seuchenfrei
1905	keine Fälle	seuchenfrei
1906	keine Fälle	seuchenfrei
1907	2. und 8. April	17., 21. und 23. April
1908	keine Fälle	seuchenfrei
1909	keine Fälle	2 Fälle anderer Herkunft
1910	keine Fälle	seuchenfrei
1911	30. August	11. September
1912	21. Juni	3. bis 6. Juli
	19. und 29. November	vom 4. Dezember an epidemische Ausbreitung
1913	22. April, 13. Mai	vom 30. April bis 6. August
	17. Juni, 7. und 22. Juli	fortwährend Neuausbrüche

2. *Folgerungen*

Höhener zog aus diesen Beobachtungen nachstehende Schlüsse:

«Wenn nach diesen Erhebungen und Feststellungen an einem ätiologischen Zusammenhang zwischen dem Schlachthof St. Gallen und dem wiederholten Auftreten der MKS in den in Frage stehenden Gebieten nicht mehr gezweifelt werden kann, ist es andererseits schwer, über den Gang der Infektion Erklärungen zu finden, die auch einer wissenschaftlichen Überprüfung standhalten.

Nach der Lage der Gehöfte der zuerst infizierten Viehbestände ist sowohl eine Ausstreuung des Virus direkt vom Schlachthof aus als eine solche von der das Abwasser führenden Steinach aus anzunehmen. Da es aber trotz jeweiliger Prüfung aller bekannten Übertragungsarten der MKS – die Frage der Übertragung durch Trinkwasser wurde ebenfalls eingehend untersucht – nicht ein einziges Mal gelang, eine bestimmte Verbindung vom Schlachthof einerseits und von der Steinach andererseits zu den betreffenden Gehöften zu konstruieren, so unterliegt es keinem Zweifel, daß hier die auslösende Ursache im Bereich von bisher nicht erforschten Möglichkeiten liegt. Der Umstand, daß immer die Viehbestände eines bestimmten Gebietes in Mitleidenschaft gezogen wurden, zwingt zur Annahme, daß stets das gleiche ursächliche Moment mit im Spiele sein mußte, ein Moment, das sich – weil die Ausbreitung zu jeder Zeit erfolgt – sowohl im kalten Winter als auch im warmen Sommer auswirken kann. Und da komme ich denn um die Möglichkeit, daß bei der Verschleppung der MKS auch die Luftströ-

mung mitwirken kann, einfach nicht herum. Mit dieser Möglichkeit rechne ich – und ich stütze mich dabei auch auf die bei schweren Seuchenzügen stets zu beobachtende sprungweise Ausbreitung der Krankheit – in allen jenen Fällen, wo das Virus einen außerordentlich hohen Grad von Infektiosität aufweist. Ich halte demnach dafür, daß es sich bei den jeweils in erster Linie ergriffenen Gehöften im Steinachtal um solche handeln muß, die zu den den Schlachthof einerseits und das Steinachtal andererseits bestreichenden Luftströmungen besonders exponiert gelegen sind.»

Höhener ging von der Annahme aus, daß jeder Schlachtort MKS-infizierter Tiere – Seuchenschlachthöfe inbegriffen – einen massiven Virusstreuherd bilde. Dem legte er folgende Überlegungen zugrunde: Bei der Schlachtung verseuchter Viehbestände (oder Transporten von Importvieh) erweisen sich meist nur wenige Tiere als klinisch krank. Die Mehrzahl der übrigen befindet sich im Inkubationsstadium. In der letzten Phase der Inkubation (im Stadium der Virämie) ist das Virus in relativ konzentrierter Form im Blut vorhanden, und zwar – da die immunisatorischen Reaktionen sich noch nicht genügend auswirken – in hochvirulenter Form. Bei der Schlachtung, besonders beim Blutentzug, wird daher hochvirulentes Virus in großen Mengen frei. Dieses kontaminiert die Umgebung, vor allem auch den Luftraum der Schlachthallen, in schwerer Form. Von hier aus gelangt die kontaminierte Luft in den freien Luftraum und kann je nach den herrschenden meteorologischen Bedingungen mehr oder weniger weit in die Umgebung verfrachtet werden. Als Trägermedium des im Luftraum schwebenden Virus vermutete Höhener intuitiv «kleinste, feinstverteilte Wassertröpfchen», die bei niedriger Temperatur als Dunst oder Nebel sichtbar werden. Befindet sich der Schlachtort – so folgerte Höhener – am Oberlauf eines Flusses, so werden die virushaltigen Wassertröpfchen mit den den Flußlauf begleitenden Luftströmungen (Sog des fließenden Wassers) flußabwärts getragen, schlagen sich an bestimmten Stellen des Flußtales (nach Höheners Beobachtungen vor allem an Flußbiegungen oder den Flußlauf begleitenden Abhängen oder Terrassen) nieder und können so in exponiert gelegenen Gehöften zu Bestandesinfektionen führen.

Bevor wir die Hypothese Höheners mit den neuesten Erkenntnissen der virologischen und meteorologischen Forschung konfrontieren, erachten wir es, um bestehende Mißverständnisse abzuklären und weiteren vorzubeugen, als angezeigt, die Frage zur Diskussion zu stellen, ob die von Höhener als Beleg für die Richtigkeit seiner Auffassung erwähnten Seuchenausbrüche im Steinachtal im Anschluß an Seuchenschlachtungen im Schlachthof St. Gallen tatsächlich auf aerogene Virusübertragung zurückzuführen sind oder nicht vielmehr auf eine Verschleppung des Virus durch das mit Schlachthofabwässern kontaminierte Flußwasser der Steinach. Da die Abwässer des Schlachthofes zugegebenermaßen früher in ungenügend desinfiziertem Zustand der Steinach zugeführt wurden, scheint letztere Annahme plausibler zu sein, und es kommt deshalb nicht von ungefähr, daß der «Fall Steinachtal» in der Folge von verschiedener Seite als «typischer Fall von Virusverschleppung aus einem durch Abwässer eines Schlachthofes kontaminierten Vorfluter in flußnahe Gehöfte» betrachtet und beschrieben wurde, zuletzt noch von Haas [6]. Dieser scheinbar plausiblen Erklärung stehen aber gewichtige Argumente gegenüber. In erster Linie ist auf die topographischen Verhältnisse im Steinachtal hinzuweisen. Die Steinach fließt von St. Gallen aus in einem

tiefen Tobel gegen den Bodensee und tritt erst in ihrem untersten Abschnitt ins flache Land über. Mit Ausnahme dieses untersten Teiles des Flußlaufes (dessen Umgebung nur ausnahmsweise von der MKS befallen wurde) gibt es dem ganzen Lauf der Steinach entlang überhaupt keine flußnahen Gehöfte, deren Viehbestände direkt oder indirekt durch das kontaminierte Flußwasser infiziert werden könnten. Die jeweils nach der Seuchenschlachtung in erster Linie in Mitleidenschaft gezogenen Gehöfte liegen vorwiegend in größerer Distanz vom Flußlauf und in erhöhter Lage (Horizontaldistanz 200–400 m, Höhenunterschied gegenüber dem Flußniveau 30–60 m). Wie Höhener ausführt, war es trotz intensiver Nachforschung in keinem einzigen Fall möglich, eine direkte oder indirekte Verbindung zwischen Flußlauf und Seuchengehöften zu konstruieren.

Ein weiteres Argument gegen die direkte Virusübertragung durch kontaminiertes Flußwasser liegt darin, daß der Zusammenhang der Seuchenfälle im Steinachtal mit den Seuchenschlachtungen nur eine Komponente der «Hypothese Höhener» bildete. Wenigstens ebenso großen Wert legte er auf seine Beobachtungen bei der Abschlachtung verseuchter Viehbestände auf den Gehöften. In allen diesen Fällen spielten nach der Lage der Gehöfte kontaminierte Abwässer überhaupt keine Rolle, so daß nur die Annahme einer Luftübertragung das Phänomen erklären konnte.

B. Die «Hypothese Höhener» im Lichte neuzeitlicher Forschung

Zur objektiven Beurteilung der zur Diskussion stehenden Hypothese ist es von Wichtigkeit, die von Höhener in der «Frühzeit» der Virologie aufgestellten und teils nur intuitiv erfaßten Anschauungen mit den Erkenntnissen neuzeitlicher Virologie und Meteorologie zu konfrontieren. Dies trifft im besonderen auf Höheners Annahme zu, daß das Virus der MKS, an «kleinste, feinstverteilte Wassertröpfchen» gebunden, durch Windströmungen über mehr oder weniger große Distanzen getragen werden könne.

1. Experimentelle Untersuchungen über aerogene Übertragung des MKS-Virus

Während Praxisbeobachtungen über die Windübertragung des MKS-Virus, besonders aus Dänemark, Südschweden und Norwegen (siehe Report usw. [7] Ziffer 26 und 27) relativ häufig gemeldet wurden, waren Experimente zur Abklärung dieses für die Epizootologie wichtigen Phänomens bis in die jüngste Zeit selten. Zudem sind ihre Resultate uneinheitlich und widersprechen sich teilweise diametral. Wir können nicht auf Anordnung und Resultate jedes einzelnen Versuches eingehen und beschränken uns darauf, die Gründe für die Widersprüche soweit möglich abzuklären. Der Hauptgrund scheint in der Nichtbeachtung des Infektiositätsgrades des zum Versuch verwendeten Virus zu liegen. Diese Vermutung stützt sich einerseits auf den Verlauf jener Versuche, bei denen vorerst negative Ergebnisse erzielt wurden, später aber, wenn mit einem virulenteren Virusstamm gearbeitet wurde, sich bei gleicher Versuchsanordnung positive Resultate einstellten, andererseits auf die Tatsache, daß nach jahrzehntelangen Praxisbeobachtungen die Virusübertragung auf aerogenem Weg nur dann eine in epizootologischer Hinsicht wesentliche Rolle spielt, wenn der betreffenden Epizootie ein Virusstamm von überdurchschnittlicher Infektiosität zugrunde liegt. Fortschritte brachten erst die in Pirbright (GB) durchgeführten Experi-

mente von Hyslop [1, 2]. In subtilen Untersuchungen gelang es, den Nachweis zu erbringen, daß die Luft eines Raumes, in dem sich im Inkubationsstadium stehende MKS-infizierte Tiere aufhalten, Virus enthält, daß sich dieses Virus an Aerosole anlagert und daß durch solche virushaltigen Aerosole andere Tiere infiziert werden können. Hyslop infizierte mit künstlich erzeugten virushaltigen Aerosolen Kühe, die sich in einem isolierten Raum befanden. Die Übertragung von Raum zu Raum geschah mittels eines Plastikschlauches von 11 m Länge und mit Flotzmaulmaske. Sie gelang auch dann, wenn im Plastikschlauch staubdichte Filter eingeschaltet wurden, wodurch der Beweis erbracht ist, daß die Virusübertragung nicht durch kontaminierte korpuskuläre Staubpartikeln, sondern tatsächlich durch in der Luft schwebende virushaltige Aerosole zustande kam. Durch diese Versuche Hyslops erhielt die Hypothese Höheners in einem wesentlichen Punkte die experimentelle Bestätigung.

Inzwischen sind – im Zusammenhang mit der Abklärung der englischen MKS-Enzootie 1967/68[1] – in Pirbright weitere eingehende Untersuchungen über die aerogene Ausbreitung des MKS-Virus durchgeführt worden, auf deren Ergebnisse wir verschiedentlich zurückkommen werden. Der Begriff «Aerosol», der bei den Experimenten Hyslops eine große Rolle spielt und dem bei der aerogenen Ausbreitung des MKS-Virus ausschlaggebende Bedeutung zukommt, ist von Israël [18] genau umschrieben worden.

2. *Neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet der Meteorologie*

Die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft und damit auch die Bedeutung der Aerosole bildeten in neuerer Zeit Gegenstand verschiedener Untersuchungen auf dem Gebiet der Meteorologie. Für unsere Studie sind zwei Tatsachen von besonderer Bedeutung, nämlich:

a) *daß die atmosphärische Luft stets und überall Aerosole verschiedener Menge, Größe und Natur enthält, mit anderen Worten, daß die Aerosole ein obligates Element der uns umgebenden Atmosphäre bilden* und

b) *daß Aerosole verschiedener Natur (in fester und flüssiger Form) unter günstigen meteorologischen Bedingungen durch Windströmungen über mehr oder weniger weite Strecken verbreitet werden können.*

3. *Neuere Erkenntnisse der virologischen Forschung*

Als erster Schritt, um die Möglichkeit einer aerogenen Übertragung des MKS-Virus abzuklären, muß untersucht werden, wie weit die von Hyslop

[1] England wurde vom Herbst 1967 bis Sommer 1968 von der schwersten MKS-Epizootie seit der Jahrhundertwende betroffen. In deren Verlauf mußten in Befolgung der Stamping-out-Methode über 400 000 infizierte Rinder, Schweine und Schafe gekeult und beseitigt werden. Der Umfang der Epizootie bewog das Agrarministerium, eine achtköpfige Untersuchungskommission einzusetzen, die in monatelanger Arbeit, unterstützt durch die verschiedensten wissenschaftlichen Institute, den Seuchenzug in allen seinen Belangen abzuklären versuchte und das Resultat in einem über 200 Druckseiten umfassenden Bericht 1968 [7] niederlegte.

unter Laboratoriumsbedingungen erbrachte Erkenntnis, daß die Luft von Räumen, in denen sich MKS-infizierte Tiere aufhalten, schon während der Inkubation kontaminiert werde, auch auf Praxisverhältnisse zu übertragen sei.

Schon Waldmann und seine Mitarbeiter [8] wiesen Ende der zwanziger Jahre experimentell nach, daß MKS-infizierte Rinder während der Inkubation Virus ausscheiden, und zwar mit Speichel, Milch, Harn und Kot. Auf Grund dieser Feststellungen, die mit den heutigen Erkenntnissen nicht mehr vollständig übereinstimmen, mußte man annehmen, daß die Umgebung infizierter Tiere ständig kontaminiert werde, woraus gefolgert werden konnte, daß mit größter Wahrscheinlichkeit auch der Luftraum auf indirektem Wege (Verdunstung von virushaltigem Harn, Aufwirbeln von kontaminierten Streuepartikeln usw.) kontaminiert werden kann.

Von den neueren Ansichten der Virologie der MKS scheint uns vor allem die Tatsache von Bedeutung, daß sich das Virus während der Inkubation auch in der Lunge und auf den Schleimhäuten des Respirationstraktes ansiedeln und vermehren kann (primär-affine Organe; siehe Mayr [3, 9]).

Zwischen Primäraphthe und Virämie sind die primär-affinen Organe – Lymphsystem, Milz, Knochenmark, Leber, Lunge und weitere Organe, kurz die Träger des RES – eingeschaltet. Dort erfolgt die entscheidende, zur Virämie führende Virusvermehrung, nicht aber in den Primäraphthen

In diesem Fall ist die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, daß das Virus auch mit der Ausatmungsluft ausgeschieden wird, wobei die Annahme berechtigt wäre, daß der Luftraum in der Umgebung infizierter Tiere nicht nur auf indirektem, sondern auch auf direktem Wege kontaminiert würde.

Nach Korn [10] erfolgt die primäre Vermehrung des MKS-Virus vornehmlich in den oberen Luftwegen, speziell im Bereich der Nasenschleimhäute, und zwar auch dann, wenn die Infektion durch Reibung auf der Zunge oder dem Nasenspiegel gesetzt wird. Korn folgert daraus, daß kurze Zeit nach natürlicher Infektion Virus mit dem Nasensekret und dem Atemluftstrom ausgeschieden wird. Es bleibt offen, ob es sich bei den von Korn nachgewiesenen Virusherden auf den Schleimhäuten des Respirationstraktes (Nase, Gaumen, Kieferhöhle, Trachea) um primäre oder um Vermehrungsherde im Sinne der primär-affinen Organe nach Mayr handelt. Für unsere Untersuchungen ist dies irrelevant und einzig der Nachweis von Bedeutung, daß Virusvermehrung im Respirationstrakt möglich ist und demzufolge auch Ausscheidung mit Nasensekret und Ausatmungsluft. Dadurch erhält die Annahme, daß die Luft in der Umgebung infizierter Tiere auch auf direktem Weg kontaminiert werden kann, eine tragbare Basis. Durch die Feststellung von Eskildsen [11], daß sich das MKS-Virus auch im Lungengewebe vermehren kann, und zwar schon während der Inkubation, erhält die These eine weitere Stütze.

4. *Versuch einer Erklärung des Mechanismus der aerogenen Übertragung des MKS-Virus*

Da es nicht möglich ist, den Mechanismus der aerogenen Virusübertragung in der Praxis experimentell abzuklären, bleibt nur der Weg, unter Zugrundelegung bisheriger Ergebnisse von Laboratoriumsversuchen und neuerer Erkenntnisse der virologischen und meteorologischen Forschung eine Arbeitshypothese zu erarbeiten, mit der die vielfachen positiven Beobachtungen aus der Praxis – von denen im folgenden Kapitel einige «Modellfälle» dargestellt werden sollen – plausibel zu erklären sind. Drei Problemkreise stehen im Vordergrund:

a) Die Kontaminierung des Luftraumes in der Umgebung infizierter Klauentiere;

b) die Möglichkeit der Anlagerung von Viren an Schwebestoffe (Aerosole) der Luft und deren Verbreitung durch Windströmungen;

c) die Aufnahme der durch den Wind verbreiteten virushaltigen Aerosole durch empfängliche Tiere.

Ad a

Diese Frage haben wir im vorstehenden Abschnitt untersucht und sind dabei zum Schluß gekommen, daß die Luft von Räumen, in denen sich MKS-infizierte Klauentiere aufhalten, schon während der Inkubation kontaminiert wird. Nicht abgeklärt ist vorläufig die Frage des Grades der Luftkontaminierung in Rinder- und Schweinestallungen. Immerhin haben neuere Untersuchungen vor allem in Pirbright ergeben, daß die Virusausscheidung bei allen Klauentieren schon mehrere Tage vor der Bildung der Sekundäraphthen beginnt (beim Schwein in einem früheren Stadium der Inkubation als beim Rind und Schaf) und kurz vor dem Aufbrechen der Sekundäraphthen den Höhepunkt erreicht. Auch wurde festgestellt, daß die Virusausscheidung beim Schwein quantitativ weit höhere Werte erreicht als beim Rind und Schaf. Daraus kann gefolgert werden, daß jeder Aufenthaltsort von infizierten Klauentieren einen Virusherd von beachtlicher Potenz darstellt und daß besonders frisch infizierte Schweinebestände als massive Virusstreuherde zu betrachten sind. Auf die Tatsache, daß die Kontaminierung der Umgebung infizierter Tiere kurz nach dem Aufbrechen der Sekundäraphthen – wie dies bei verspäteter Anzeige oder bei verzögertem Abtransport der Fall sein kann – besonders hochgradig ist, muß kaum speziell hingewiesen werden.

Ad b

Hyslop [2] hat gezeigt, daß sich MKS-Viren, an künstlich erzeugte Aerosole angelagert, durch Luftströmungen in andere Räume übertragen lassen. Es stellt sich nun die Frage, ob sich unter Feldbedingungen MKS-Viren ebenfalls an natürliche Aerosole anlagern und mit diesen durch Windströmungen verbreitet werden können. Nach neueren meteorologischen Erkenntnissen enthält die atmosphärische Luft stets und überall Aerosole verschiedener Menge, Größe und Natur. Physikalisch ist es ohne weiteres möglich, daß sich Mikroorganismen in der Größenordnung der MKS-Viren durch Adsorption an Luftschwebestoffe anlagern und mit diesen durch Windströmungen weitergetragen werden. Diese These fand schon früher Befürworter (McLean, 1938, zit. nach Hyslop [2]). Es wäre auch denkbar, daß Mikroorganismen in der Größenordnung der MKS-Viren ohne Anlagerung an Aerosole durch Windströmungen verbreitet werden. Nur scheint es ausgeschlossen, daß frei schwebende Viren infektions-

tüchtig und in genügender Konzentration zu entfernten empfänglichen Tieren gelangen könnten. Bei Bindung an ein Trägermedium ist diese Möglichkeit wesentlich größer. Die in der Luft schwebenden natürlichen Aerosole weisen in der Regel Dimensionen auf, die um mehrere Dezimalpotenzen höher sind als die des MKS-Virus. Es können daher Viren in außergewöhnlich großer Zahl an das einzelne Aerosol angelagert werden, so daß unter bestimmten Voraussetzungen auch bei extremer Verdünnung Infektionen gesetzt werden können. Bedingung dafür ist eine für die Überlebensfähigkeit des Virus und die Ausbreitung der Trägermedien günstige meteorologische Konstellation. Daß daneben die Infektiosität des Virus eine ausschlaggebende Rolle spielt, liegt auf der Hand. Ist der Luftraum einer Rinder- oder Schweinestallung massiv durch virushaltige Aerosole kontaminiert, so braucht es nur günstige Verhältnisse, damit diese in die freie Atmosphäre gelangen. Der Austritt aus den Aufenthaltsräumen der infizierten Tiere in die Außenluft kann durch geöffnete Fenster und Türen (Zugluft), vor allem aber durch Ventilationseinrichtungen (Ventilatoren, Dunstrohre, Abluftkamine usw.) erfolgen. Der Vorgang des Entweichens der Stalluft aus Abluftkaminen läßt sich bei niedriger Außentemperatur augenfällig beobachten. Die erwärmte Luft entweicht dann gleich einer «Rauchfahne», und diese bewegt sich sichtbar – je nach Windrichtung und Windstärke – in die nähere und weitere Umgebung des potentiellen Infektionsherdes. Über das Schicksal der virushaltigen Aerosole in der Atmosphäre wußte man bis vor kurzer Zeit sehr wenig. Erst die Untersuchungen in England [7] während und nach der schweren MKS-Epizootie 1967/68 führten zu Ergebnissen, die uns Einblicke in den Mechanismus der aerogenen Ausbreitung des MKS-Virus gestatten. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Aerogene Übertragung des MKS-Virus ist grundsätzlich möglich.

Neben der Windstärke hängt diese von der relativen Luftfeuchtigkeit und der Größe der virushaltigen Aerosole ab.

Die an Aerosole angelagerten Viren sind bei trockener Witterung sehr labil, während sie bei feuchtem, regnerischem Wetter eine bedeutend höhere Tenazität aufweisen.

Bei größeren Dimensionen der Trägerpartikeln ist die Tenazität der an sie angelagerten Viren höher als bei kleineren.

Die günstigste meteorologische Voraussetzung für aerogene Virusübertragung über weite Distanzen bilden stark feuchte Winde (rain-bearing winds), Rieselregen oder leichte Regenfälle.

Bei nächtlicher Ausbreitung ist die Überlebenschance des Virus wegen des Fehlens der ultravioletten Strahlung des Sonnenlichtes stark erhöht.

Die für die Windübertragung über weite Strecken optimale Dimension der Aerosole liegt bei 2 bis 10 μ. Größere Partikeln schlagen sich wegen der Gravitation schon in der Nähe des Produktionsortes des Virus im Gelände nieder; kleinere gelangen wegen der starken Verdünnung bei Windübertragung in zu geringer Konzentration zum empfänglichen Tier.

Unter idealen Bedingungen (optimale Dimension der Aerosole, Windübertragung bei Nacht, sehr hohe relative Luftfeuchtigkeit und Regenfälle) können virushaltige Aerosole in infektionstüchtigem Zustand über sehr große Strecken getragen werden, im Extremfall über Distanzen von mehr als 60 Meilen (etwa 95 km).

Weitere Versuche und Beobachtungen ergaben, daß virushaltige Aerosole nicht nur durch die Virusausscheidung infizierter Tiere entstehen können, sondern auch durch Verdunstung aus feuchten, virushaltigen Substraten. Aus Mist, der aus verseuchten Stallungen aufs Feld gebracht wird, bilden sich unter günstigen Umständen virushaltige Aerosole, die durch Windströmungen verbreitet werden können.

Ad c

Die Ansichten über die Art der Aufnahme der virushaltigen Aerosole durch empfängliche Tiere haben sich im Laufe der Zeit geändert bzw. erweitert. Höhener vertrat die Auffassung, daß sich die in der Luft schwebenden virushaltigen Trägermedien (seine «kleinsten, feinstverteilten Wassertröpfchen») durch Sedimentation im Gelände niederschlagen und von dort auf direktem Wege über kontaminiertes Gras oder durch Vermittlung belebter oder unbelebter Vektoren zum empfänglichen Tier gelangen. Auf Grund neuerer virologischer Forschungen, vor allem der erwähnten experimentellen Untersuchungen Korns [10], ist auch eine Aufnahme der in der Luft schwebenden virushaltigen Aerosole durch Inhalation möglich. Korn drückt sich sehr positiv aus, indem er wörtlich schreibt: «Die Möglichkeit einer Infektion durch Inhalation schwebender Tröpfchen oder Partikeln ist nach vorliegender Arbeit als gegeben anzunehmen.» Daraus kann gefolgert werden, daß die Aufnahme der virushaltigen Aerosole sowohl durch den Verdauungstrakt als auch durch Inhalation erfolgen kann. Die englischen Untersuchungen führten zum gleichen Ergebnis. Dabei wurde festgestellt, daß bei der Infektion durch den Respirationstrakt Aerosole von kleinerer Dimension eine Rolle spielen und schon geringe Virusmengen genügen, während für die Infektion durch den Verdauungstrakt größer dimensionierte Aerosole in Betracht kommen und für das Haften einer Infektion eine weit höhere Viruskonzentration nötig ist. Die Frage, welcher Infektionsmodus häufiger sei, wurde offengelassen.

Spätere Untersuchungen führten zu unterschiedlichen Resultaten. So glauben Norris und Harper [12], daß bei aerogener Virusübertragung die Möglichkeit der Infektion durch den Respirationstrakt wenigstens ebenso groß sei wie diejenige durch den Digestionstrakt. Demgegenüber kommt Chamberlain (zit. nach Smith und Hugh-Jones [13]), auf Grund seiner Untersuchungen mit radioaktiven Aerosolen zum Schluß, daß die Infektionen durch Inhalation nur einen kleinen Bruchteil derjenigen durch den Verdauungstrakt darstellen.

Unsere Arbeitshypothese, die dazu dienen soll, die vielen positiven Beobachtungen im MKS-Geschehen wissenschaftlich haltbar zu erklären, kann auf Grund vorstehender Ausführungen folgendermaßen umschrieben werden:

Die MKS-infizierten Tiere scheiden nicht erst im Stadium der klinischen Erkrankung, sondern schon während der Inkubation Virus in größten Mengen aus, wodurch der Luftraum ihrer Umgebung auf direktem oder indirektem Weg mehr oder weniger massiv kontaminiert wird. Die im Luftraum schwebenden Viren lagern sich durch physikalische Adsorption an Luftschwebestoffe (Aerosole) an. Die virushaltigen Aerosole gelangen auf verschiedenen Wegen in die freie Atmosphäre und werden, sofern die meteorologische Konstellation günstig ist, durch Windströmungen auf kürzere oder längere Strecken verfrachtet. Die Aufnahme der virushaltigen Aerosole durch empfängliche Tiere kann durch Inhalation oder durch den Digestionstrakt erfolgen, was bei genügend hoher Infektiosität des Erregers und genügender Konzentration der Aerosole zum Haften der Infektion führen kann.

C. Kasuistik

1. Ausbreitung der MKS entlang von Flußläufen

Höhener [5] machte die Verhältnisse im Steinachtal deshalb zum Gegenstand seiner Betrachtungen, weil sich hier zufolge der vielen Wiederholungen unter gleichen Voraussetzungen ein äußerst anschauliches Bild bot, stellte aber gleichzeitig fest, daß dies kein Sonderfall sei, sondern daß ähnliche Zusammenhänge – wenn auch nicht mit der gleichen Regelmäßigkeit – ebenfalls zwischen dem Schlachthof Zürich und dem Limmattal und zwischen dem Schlachthof Bern und dem Aaretal beobachtet werden können. Wir werden in der Folge eine Anzahl solcher von Höhener und später von uns beobachteter Zusammenhänge zur Darstellung bringen.

Über den Mechanismus der Entstehung MKS-infizierter Aerosole beim Ausbluten von Tieren in Schlachthallen machen wir Angaben im Speziellen Teil, B. Aus den Schlachthallen gelangt die kontaminierte Luft durch die Entlüftungsanlagen ins Freie und kann durch Windströmungen weitergetragen werden. Befindet sich der Seuchenschlachthof am Lauf eines Flusses oder in dessen Einzugsgebiet, so können die virushaltigen Aerosole, sofern kein stärkerer Gegenwind herrscht, durch die den Flußlauf begleitenden feuchten Luftströmungen flußabwärts getragen werden. Es ist aber auch die Alternative in Betracht zu ziehen, daß die virushaltigen Aerosole nicht bei der Entblutung im Schlachtraum entstehen, sondern daß sie erst bei der Verdunstung mit Schlachthofabwässern hochgradig kontaminierten Flußwassers in die Luft gelangen und durch die den Flußlauf begleitenden feuchten Luftströmungen flußabwärts getragen werden.

a) Schlachthof Zürich – Limmat-Aare-Raum

Über Zusammenhänge zwischen Seuchenschlachtungen im Schlachthof Zürich und Seuchenausbrüchen entlang der Limmat und unteren Aare stehen uns Unterlagen von 12 Fällen zur Verfügung, die wir in Tab. 2 zusammengefaßt und in Abb. 2a–d kartographisch dargestellt haben.

Tab. 2 bedarf, um Mißverständnisse auszuschließen, einiger Erläuterungen. Da im Laufe der Jahre im Schlachthof Zürich eine große Anzahl Seuchenschlachtungen durchgeführt wurden, ohne daß in der Folge Seuchenausbrüche entlang der Limmat und Aare auftraten, kann der Anschein erweckt werden, daß es sich bei diesen Beispielen um eine willkürliche Auswahl «günstiger» Fälle handle. Dem liegt aber eine unrichtige Voraussetzung zugrunde. Wir gingen nämlich bei unseren Vergleichserhebungen nicht von den Seuchenschlachtungen, sondern von den aufgetretenen Seuchenfällen aus. Das will heißen, daß wir in allen jenen Fällen, da im Limmat-Aare-Raum in mehr oder weniger seuchenfreien Zeiten unabgeklärte Seuchenfälle auftraten, zu ermitteln suchten, ob in der kritischen Zeit vor dem Auftreten des ersten Seuchenfalles im Schlachthof Zürich Seuchenschlachtungen stattfanden, mit dem Ergebnis, daß dies ausnahmslos zutraf. Es handelt sich also bei den aufgeführten 12 Fällen um eine lückenlose Liste aller dort im Zeitraum von 1926 bis 1951 in mehr oder weniger seuchenfreien Perioden aufgetretenen unabgeklärten Seuchenfälle. Im übrigen ist die Tatsache, daß nicht alle Seuchenschlachtungen auch Seuchenausbrüche zur Folge hatten, leicht zu erklären. Abgesehen vom sehr unterschiedlichen Infektiositätsgrad der einzelnen Virusstämme spielen die zur Zeit der Schlachtung herrschenden Windverhältnisse eine ausschlaggebende Rolle. Es liegt auf der Hand, daß die in den Schlachthallen entstehenden oder aus dem mit Schlachthofabwässern kontaminierten Flußwasser aufsteigenden virus-

Tabelle 2 Seuchenschlachtungen im Schlachthof Zürich und Seuchenausbrüche im Limmat-Aare-Raum

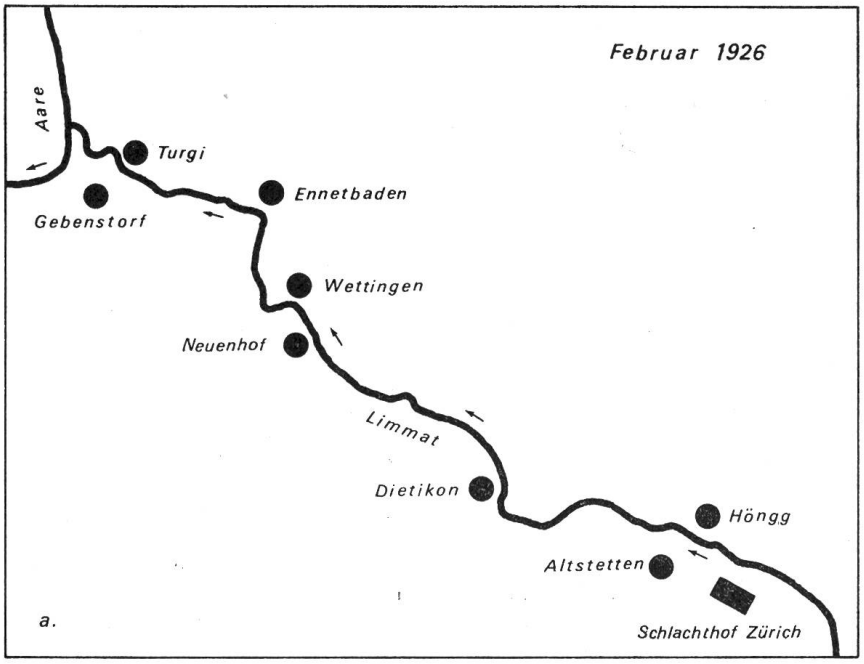
Jahr	Seuchenschlachtungen im Schlachthof Zürich	Seuchenausbrüche im Limmat-Aare-Raum
1926	Zweite Woche Februar: 6 Bestände aus Ems und Maienfeld GR	Dritte Woche Februar: 16 Fälle in Höngg, Altstetten, Dietikon, Wettingen, Baden, Ennetbaden, Neuenhof, Gebenstorf, Turgi
1926	Letzte Woche November: 32 verseuchte Schweine aus Italien	Zweite Woche Dezember: 1 Fall in Wettingen
1927	Dritte Woche Juni: 1 Bestand aus Schiers	Vierte Woche Juni: 1 Fall in Turgi
1928	Anfangs April: vereinzelte Bestände aus dem Kt. Zürich	Eine Woche nach der ersten Schlachtung beginnend: 47 Seuchenfälle in Oberengstringen, Wettingen, Ennetbaden, Gebenstorf, Turgi, Untersiggenthal
1928	Zweite Woche Dezember: 2 Bestände Kt. Zürich	Dritte Woche Dezember: 12 Seuchenfälle in Wettingen, Baden, Dättwil, Gebenstorf, Turgi, Untersiggenthal, Würenlingen
1929	Dritte Woche Juni: 2 Bestände aus Ostschweiz	Vierte Woche Juni: 2 Fälle in Gebenstorf und Turgi
	Erste Woche August: 1 Bestand Kt. Zürich	Zweite Woche August: 1 Fall in Gebenstorf
	Dritte Woche August: 1 Bestand Kt. Zürich	Vierte Woche August: 3 Fälle in Turgi, Ober- und Untersiggenthal
	September/Oktober: Verschiedene Bestände	Letzte Woche Oktober: 2 Fälle in Obersiggenthal
1938	Letzte Woche Mai: 2 Bestände aus Ostschweiz	Erste Woche Juni: 4 Fälle in Zürich, Unterengstringen, Dietikon, Baden
	Letzte Woche September: Verschiedene Bestände	Von zweiter Woche September an: Fälle in Wettingen, Baden, Neuenhof, Untersiggenthal, Stilli
1951	Während der Monate November/Dezember: 71 Bestände aus dem Kt. Uri	Eine Woche nach erster Schlachtung beginnend: 24 Fälle in Zürich, Unterengstringen, Weiningen, Würenlos, Ennetbaden, Gebenstorf, Turgi, Ober- und Untersiggenthal, Würenlingen

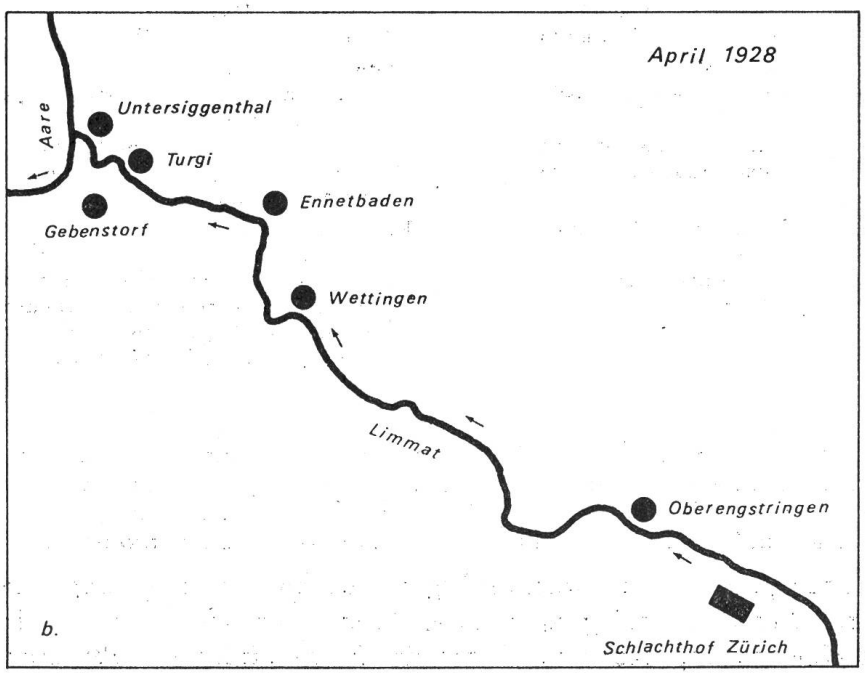
haltigen Aerosole nur dann durch Windströmungen flußabwärts getragen werden können, wenn kein stärkerer Gegenwind, im Limmattal kein Westwind, weht. Flußabwärts gerichtete Aerosolübertragungen vom Schlachthof Zürich aus können daher nur bei Winden aus dem Sektor Ost oder aber bei relativer Windstille vorkommen.

Zur Frage, ob die flußabwärts erfolgten Seuchenverschleppungen tatsächlich durch Aerosolübertragungen zu erklären seien oder ob nicht eher eine direkte Übertragung des Virus durch das kontaminierte Flußwasser anzunehmen sei, verweisen wir auf die Argumente im «Fall Steinachtal» und

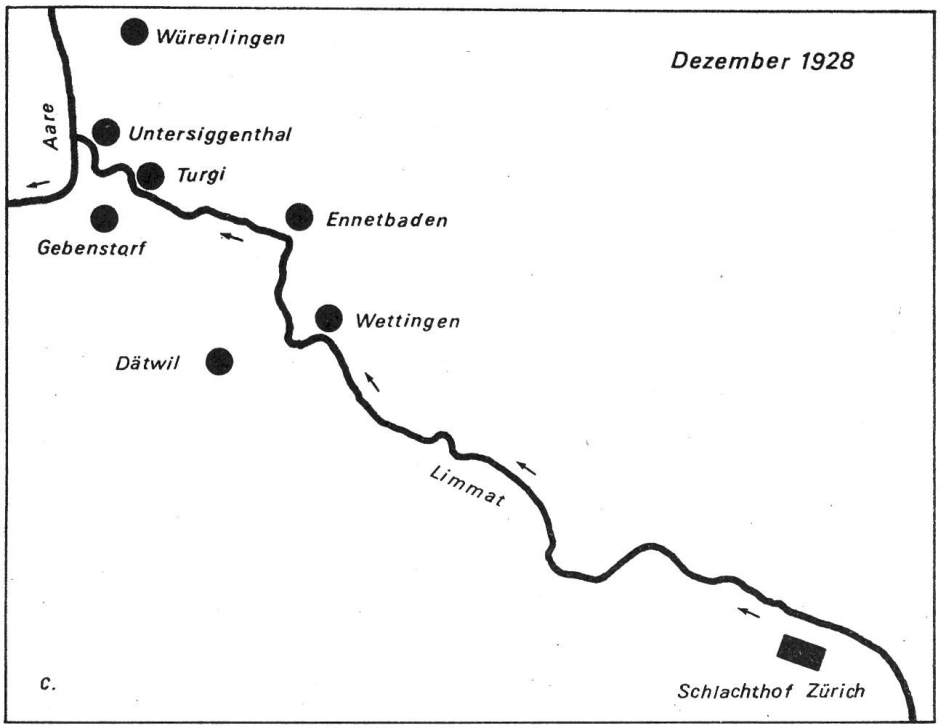
Abb. 2a, 2b, 2c, 2d

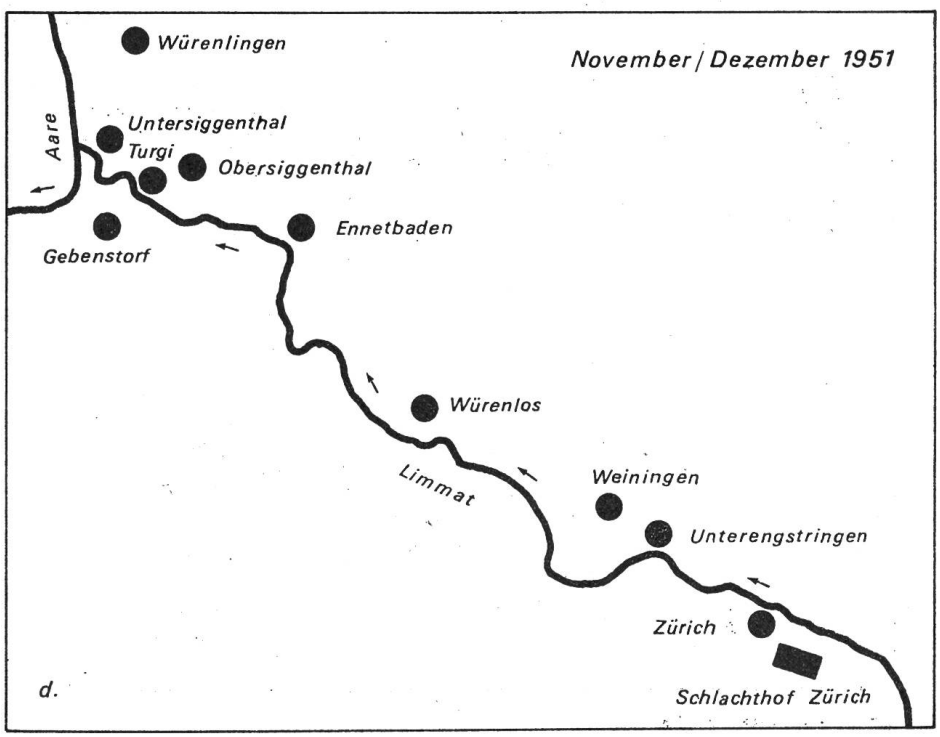
Zusammenhänge zwischen Seuchenschlachtungen am Schlachthof Zürich und MKS-Ausbrüchen im Limmattal.





● Gemeinden mit Seuchenfällen


Würenlingen
Dezember 1928
Aare
Untersiggenthal
Turgi
Ennetbaden
Gebenstorf
Wettingen
Dätwil
Limmat
c.
Schlachthof Zürich


Würenlingen
November / Dezember 1951
Aare
Untersiggenthal
Turgi
Obersiggenthal
Ennetbaden
Gebenstorf
Würenlos
Limmat
Weiningen
Unterengstringen
Zürich
d.
Schlachthof Zürich

fügen bei, daß ein Teil der Übertragungen während der Wintermonate, also außerhalb der Vegetationsperiode, erfolgte, wobei es schwerhalten dürfte, eine plausible Erklärung für den Weg der Erreger aus dem kontaminierten Flußwasser zum gefährdeten Gehöft und empfänglichen Tier zu finden.

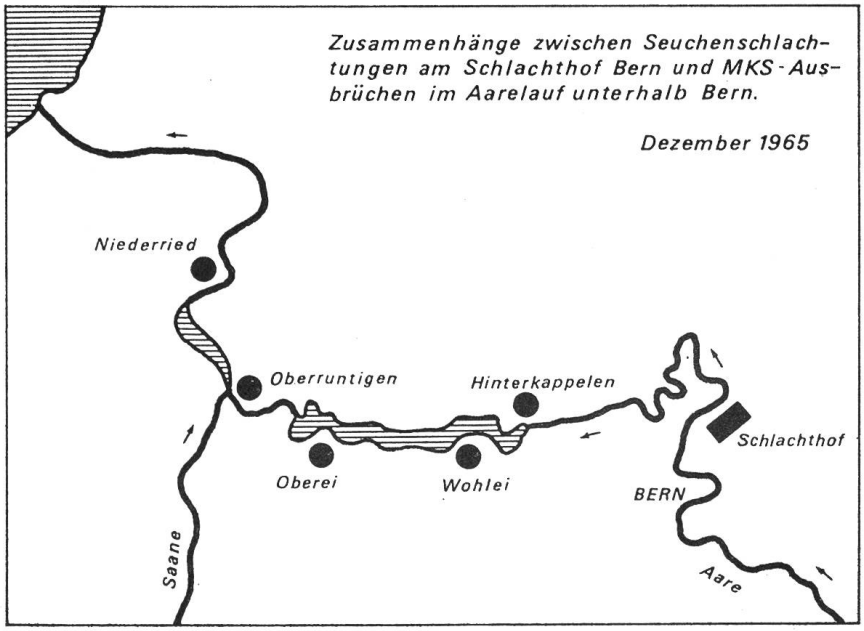
Bei der vergleichenden Betrachtung der Kartenskizzen Abb. 2a–d fällt auf, daß vielfach die gleichen Gemeinden von der Seuche betroffen wurden. Dies ist kaum zufällig. Es ist vielmehr anzunehmen, daß diese Gemeinden bzw. eine Anzahl ihrer Gehöfte den den Limmatlauf begleitenden Luftströmungen stark exponiert sind.

b) Schlachthof Bern – Aaretal

Auch vom Schlachthof Bern aus konnten nach Seuchenschlachtungen hin und wieder Seuchenübertragungen in aareabwärts gelegene Gemeinden beobachtet werden, allerdings nur auf relativ kurze Distanzen (Reichenbach und Bremgarten). Einzig im Dezember 1965 dehnten sie sich im Anschluß an die Abschlachtung von verseuchten Viehbeständen aus der Gegend Langenthal–Huttwil weiter aareabwärts aus (Abb. 3). Auch hier wurden nicht in erster Linie unmittelbar am Flußlauf gelegene Gehöfte von der Seuche betroffen, sondern mehr oder weniger weit entfernte und höher gelegene, und die Seuchenfälle traten im Winter, außerhalb der Vegetationszeit, auf. Dies spricht deutlich für die Annahme, daß die Übertragung nicht direkt durch das kontaminierte Flußwasser der Aare, sondern durch virushaltige Aerosole erfolgte.

Wenn bisher Seuchenschlachthöfe als Ausgangsort von flußabwärts aufgetretenen Seuchenausbrüchen «beschuldigt» worden sind, sollen nach-

Abb. 3

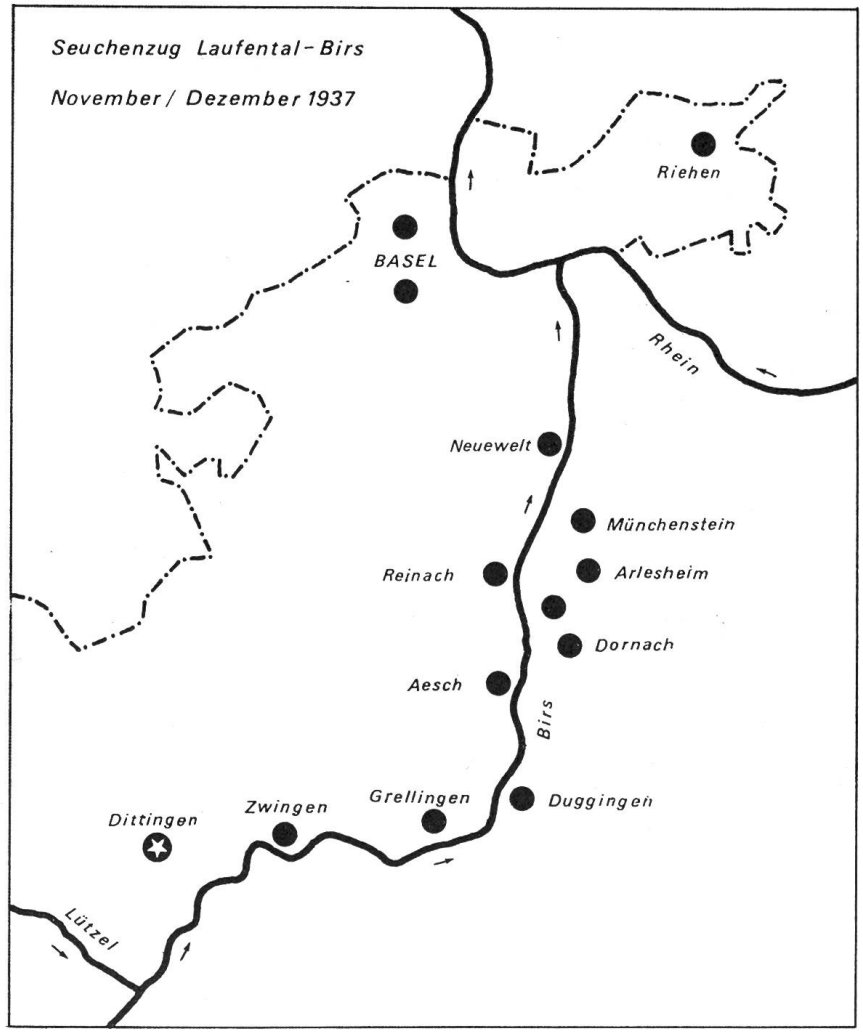


● verseuchte Gehöfte

stehend zwei Beispiele angeführt werden, bei denen andere massive Virusstreuherde am Oberlauf eines Flusses als Ausgangspunkt zur Diskussion stehen.

c) Laufental – Birs

Abb. 4



Ausgangspunkt des Seuchenzuges

Gemeinden mit Seuchenfällen

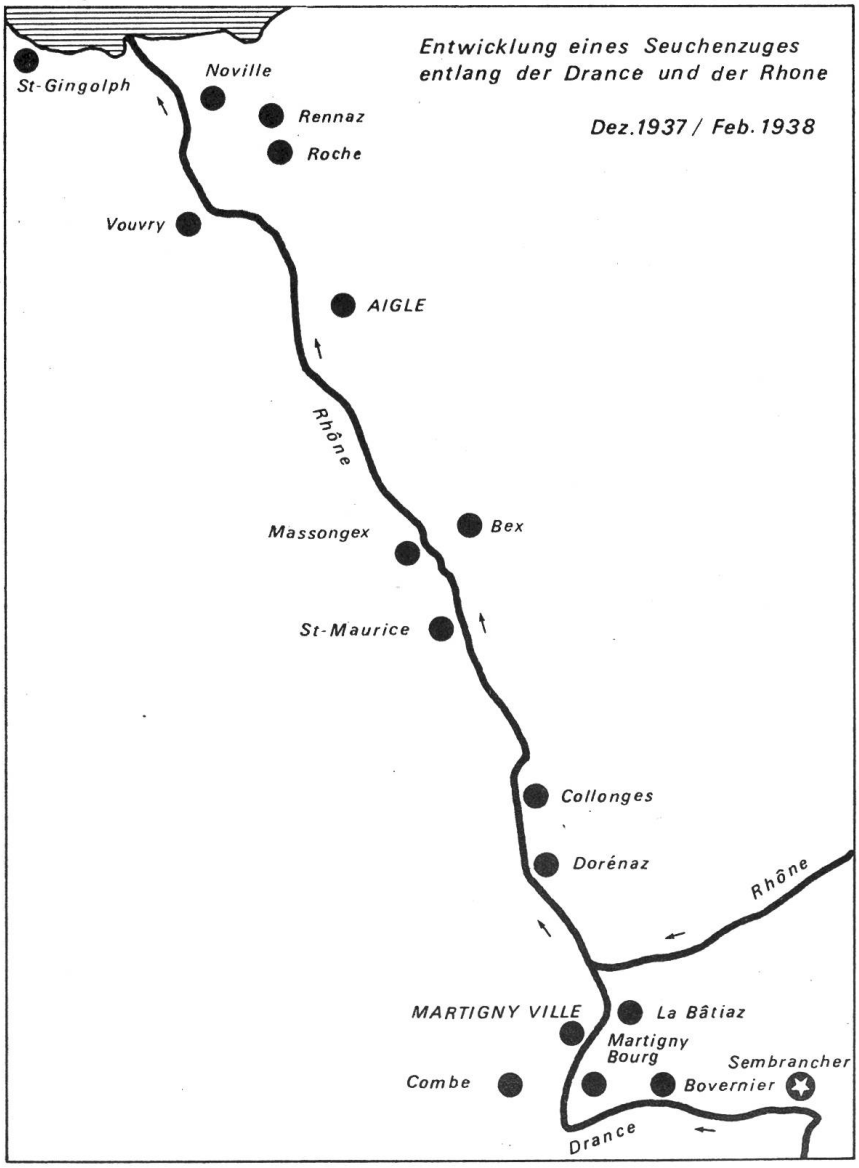
In Abb. 4 ist die Situation eines örtlich und zeitlich begrenzten Seuchenzuges entlang der Birs im November und Dezember 1937 dargestellt.

Kommentar: In der letzten Oktoberwoche 1937 wurde in der Gemeinde Dittingen im bernischen Laufental eine sich im Inkubationsstadium befindende MKS-infizierte Kuh geschlachtet und das Fleisch an die Mitglieder der Viehversicherung in Dittingen und Zwingen verteilt. Nach wenigen Tagen erfolgte in den beiden Gemeinden eine eigentliche Seuchenexplosion, indem die MKS in über 20 Beständen ausbrach. Im Anschluß daran entwickelte sich ein kleinerer Seuchenzug, indem Fälle von MKS in den birs-

abwärts gelegenen Gemeinden Grellingen, Duggingen, Aesch, Dornach, Dornachbrugg, Reinach, Münchenstein, Neuewelt, Riehen und Basel festgestellt wurden. Im ganzen traten 49 Fälle auf, davon 28 in den Gemeinden Dittingen und Zwingen und 21 in den birsabwärts gelegenen Gemeinden. Demgegenüber traten birsaufwärts überhaupt keine Seuchenfälle auf. Die Viehbestände der bernischen Gemeinden Grellingen, Duggingen, Zwingen und Dittingen wurden zur Abschlachtung in den Schlachthof Bern überführt, was zur Folge hatte, daß in 17 nördlich von Bern gelegenen, bisher seuchenfreien Gemeinden der Amtsbezirke Bern, Burgdorf und Fraubrunnen 49 Seuchenfälle auftraten, worüber wir im Speziellen Teil, B näher berichten.

d) Val de Bagnes VS – Drance- und Rhonetal

Abb. 5



✪ Ausgangspunkt des Seuchenzuges

In der Abb. 5 wird die Entwicklung eines Seuchenzuges entlang von Drance und Rhone dargestellt.

Kommentar: Anfangs Dezember 1937 traten in Sembrancher (Val de Bagnes) gehäufte Fälle von MKS auf, innert knapp 2 Wochen 30 Fälle. Die Viehbestände wurden durchgeseucht. Von diesem Herd aus breitete sich die Seuche zuerst der Drance entlang bis Martigny, von dort der Rhone entlang bis zu ihrer Einmündung in den Genfersee aus. Betroffen wurden die beidseits der Drance und Rhone liegenden Gemeinden Bovernier, Combe, Martigny-Bourg, Martigny-Ville, La Bâtiaz, Dorénaz, Collonges, St-Maurice, Massongex, Bex, Aigle, Vouvry, Roche, Rennaz, Noville, St-Gingolph. Die Zahl der in den Monaten Dezember 1937 und Januar 1938 ergriffenen Bestände betrug 194, davon 51 Fälle in Sembrancher und 143 Fälle in Drance- und Rhone-abwärts gelegenen Gemeinden. Die von Sembrancher Drance-aufwärts und von Martigny Rhone-aufwärts gelegenen Gemeinden blieben frei. Im Frühjahr 1938 flackerte der Seuchenzug nochmals auf, wobei besonders die Gegenden zwischen Sembrancher und Martigny und um St-Maurice betroffen wurden. Mit dem Alpauftrieb traten auch Fälle im Val Entremont und im Val Ferret, von Sembrancher talaufwärts, auf. Daneben wurden einige sporadische Fälle in der Gegend von Sion konstatiert.

2. *Epizootologische Beobachtungen im Verlauf von Seuchenzügen*

Wenn wir bisher hauptsächlich auf die Ausbreitung der MKS entlang von Flußläufen hingewiesen haben, so soll dies nicht bedeuten, daß sich der zur Diskussion stehende Ausbreitungsfaktor «Aerosolübertragung» nur hier auswirkt. Nur sind die epizootologischen Zusammenhänge in Flußtälern leichter festzustellen, weil hier die Windströmungen durch den Flußlauf gewissermaßen kanalisiert sind und die mitgeführten virushaltigen Aerosole weniger hochgradig verdünnt werden, als dies auf dem flachen Land geschieht.

Außerhalb von Flußtälern müssen meist besondere Voraussetzungen (Virus von sehr hohem Infektiositätsgrad, massive Streuherde, besonders gelagerte meteorologische Verhältnisse) vorliegen, um Auswirkungen dieses Ausbreitungsfaktors beobachten zu können. Diese Voraussetzungen finden wir vor allem im Verlauf von hochinfektiösen, größeren Epizootien vor, wie sie unser Land in den Jahren 1920/21, 1938/39 und (wenn auch in weniger intensiver Form) 1965/66 überzogen haben.

Der Verlauf dieser drei großen Seuchenzüge soll nachstehend miteinander verglichen und dabei untersucht werden, wie weit bei der Seuchenausbreitung neben der Vektorenübertragung noch andere Übertragungsfaktoren mitgespielt haben können. Dabei muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß die Vergleichsunterlagen aus den ersten beiden Epizootien lückenhaft sind, während für die Abklärung verschiedener epizootologischer Zusammenhänge während des Seuchenzuges 1965/66 ein umfangreicheres und in mancher Beziehung beweiskräftigeres Dokumentationsmaterial zur Verfügung steht.

a) Vergleich der Seuchenzüge 1920/21, 1938/39 und 1965/66

Die vergleichend epizootologische Betrachtung der drei Seuchenzüge läßt trotz der sehr unterschiedlichen Bekämpfungsmethoden ganz auffallende Parallelen im Verlauf erkennen. Auf Grund persönlicher Beobachtungen und

Abb. 6a

Seuchenzug 1920/1921

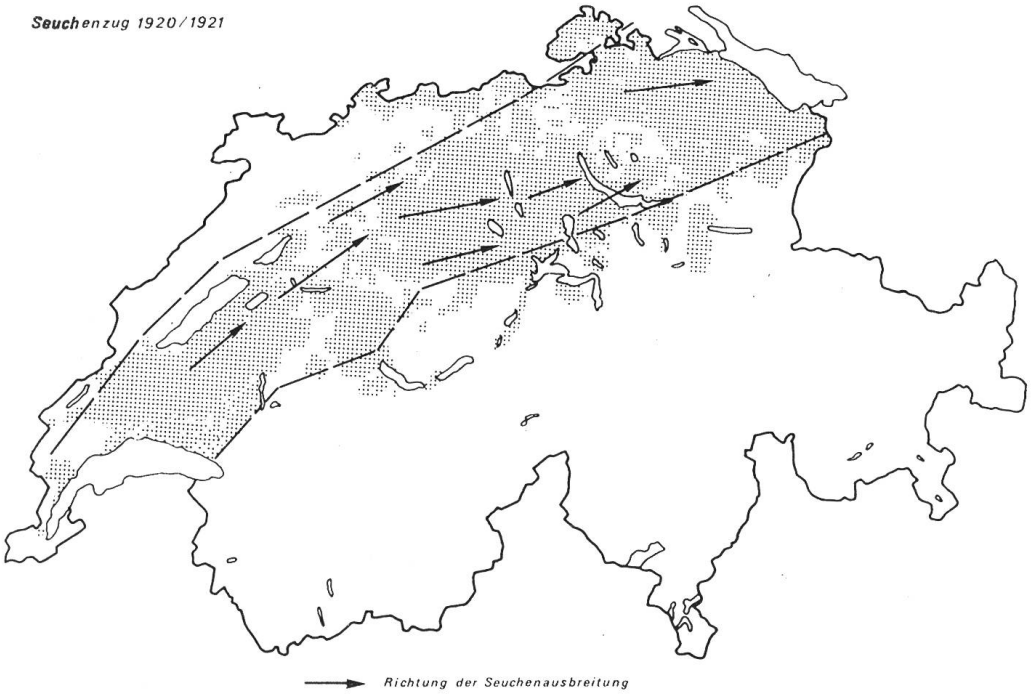
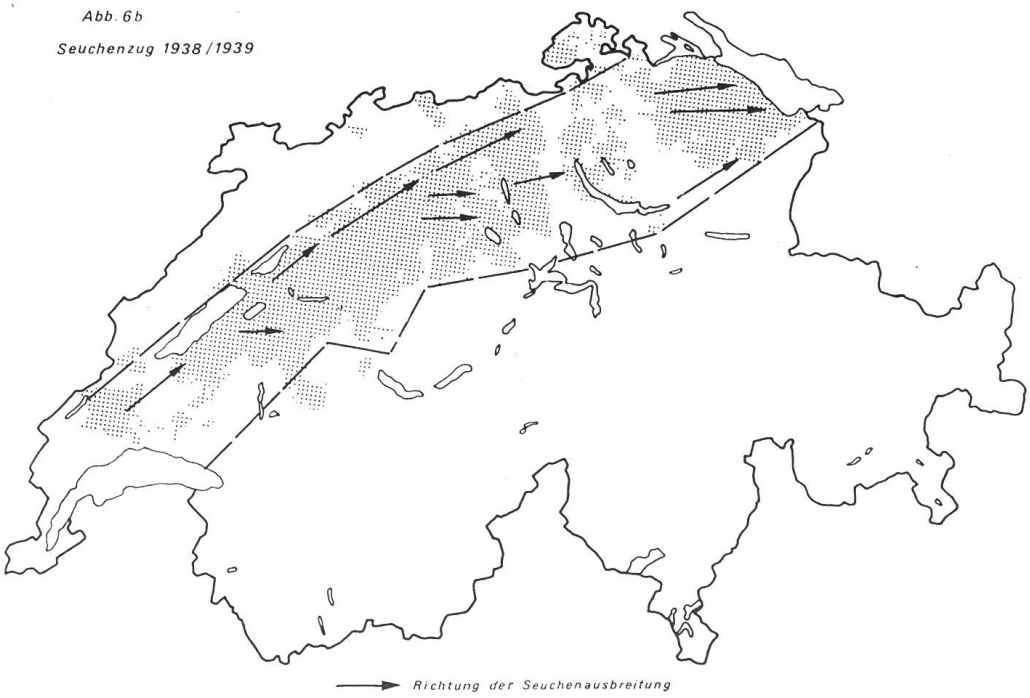


Abb. 6b

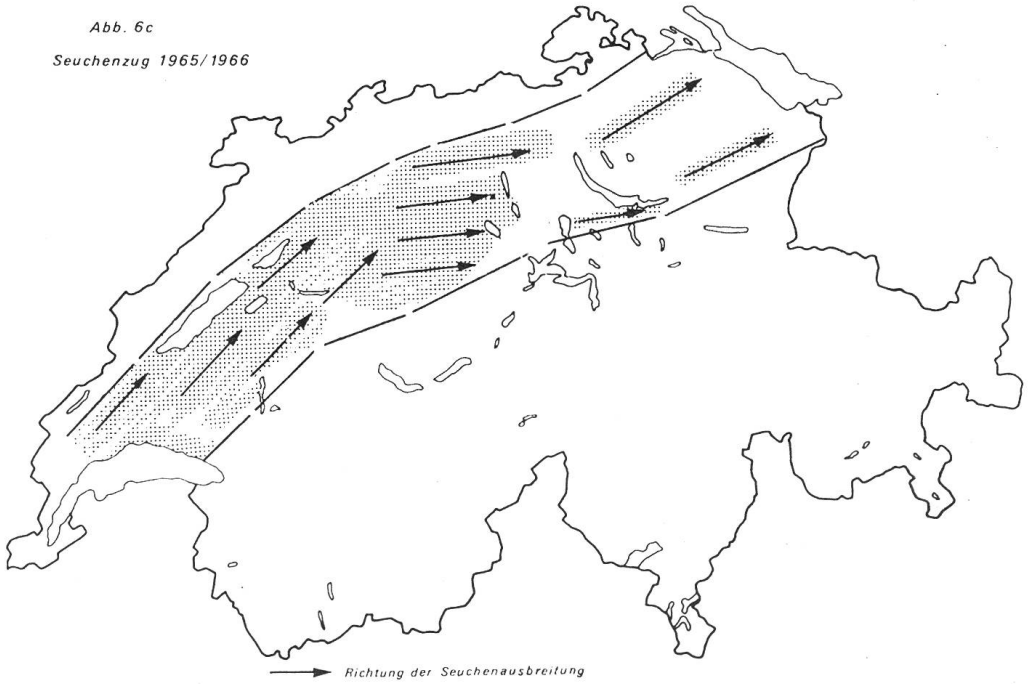
Seuchenzug 1938/1939



des Studiums der vom Eidgenössischen Veterinäramt seit dem Jahr 1919 angefertigten «Seuchenkarten» (kartographische Darstellung des monatlichen Seuchenstandes) stellen wir zwei auffällige Übereinstimmungen fest:

Ausgang vom westlichen Mittelland (Raum Waadt–Freiburg–Bern) und Ausbreitung im Laufe von einigen Wochen oder Monaten in südwest-nordöstlicher bis west-östlicher Richtung bis in die Ostschweiz.
Fast ausschließliche Beschränkung auf das schmale Band des Mittellandes, während Jura, Voralpen und Alpengebiet nur ganz leicht betroffen wurden (siehe Abb. 6a–c). (Außerhalb dieses «Seuchenbandes» lagen 1920/21 etwa 6%, 1938/39 etwa 3% und 1965/66 etwa 4% aller Fälle.)

Wenn auch die tieferen Ursachen nicht mit Sicherheit zu ergründen sind, so ist doch anzunehmen, daß in allen drei Fällen gleiche Faktoren den gleichartigen Verlauf bestimmten. Es wäre außerordentlich wertvoll, diesen durch eingehende Untersuchungen nachzugehen und zu ergründen, ob neben meteorologischen auch tellurische oder andere Einflüsse mitbestimmend sind. Vorläufig müssen wir uns darauf beschränken, unserer Überzeugung Ausdruck zu geben, daß dieses Phänomen mit der bisherigen Auffassung der MKS als einer ausschließlichen Zwischenträgerseuche nicht erklärt wird und daß beim Entstehen und im Ablauf hochinfektiöser Epizootien noch andere, über die Vektorenübertragung hinausgehende Ausbreitungsfaktoren mitwirken.



b) Beobachtungen im Verlauf des Seuchenzuges 1965/66

Entwicklung des Seuchenzuges

Die Epizootie 1965/66 nahm ihren Ausgang in Brent sur Clarens am Genfersee, wo in der letzten Oktoberwoche 1965 in einem größeren Schweinebestand MKS festgestellt wurde. Es handelte sich um ein hochvirulentes Virus vom Typ O_1. Wegen verspäteter

Feststellung verbreitete sich die Seuche durch Kontaktübertragung (Viehhandel) nicht nur in die benachbarten Gemeinden, sondern auch in den Raum von Bex und in die Umgebung von St-Oyens im Arrondissement Aubonne. Die Fälle am obern Genfersee und im Raum Bex konnten relativ rasch liquidiert werden, während die Seuche in den Arrondissements Aubonne, Morges und Echallens durch weitere Kontaktübertragungen (Händler, Weidegang, Truppendislokationen) innert weniger Wochen eine größere Ausdehnung erlangte. Von diesen Herden aus verbreitete sie sich in großen Sprüngen in südwest-nordöstlicher Richtung durch die Kantone Waadt und Freiburg, um gegen Ende November die Gegend von Murten und den Raum nördlich von Bern zu erreichen. Die Seuchendichte war relativ gering, die territoriale Ausdehnung aber sehr weiträumig. Erwähnenswert ist, daß die Ausbreitung nur ganz ausnahmsweise den stark frequentierten Verkehrsachsen entlang erfolgte, sondern fast ausschließlich querfeldein abseits von großen Durchgangsstraßen.

In den ersten Tagen des Dezember entwickelte sich im Raum Langenthal–Huttwil ein massiver Seuchenherd, verursacht durch eine Magermilchinfektion in Lotzwil. Innert weniger Tage wurden die meisten umliegenden Gemeinden ergriffen. Durch diese Seuchenexplosion scheint sich auch die Virulenz des Erregers stark gesteigert zu haben. Wegen der raschen Ausbreitung konnten nicht mehr alle verseuchten Viehbestände fristgerecht abgeschlachtet werden, so daß zur partiellen Durchseuchung übergegangen werden mußte.

Von diesem massiven Virusstreuherd aus dehnte sich die Seuche in der zweiten Dezemberhälfte wellenartig in west-östlicher Richtung in den benachbarten Kanton Luzern und die südlichen Teile des Kantons Aargau und später (mit weniger großer Dichte) in einige Kantone der Zentralschweiz aus.

Unabhängig von dieser Ausbreitung erfolgte in der zweiten Dezemberhälfte von Zürich aus Richtung Bodensee eine kleinere, in sich abgeschlossene Epizootie (Spezieller Teil, B) und fast gleichzeitig, ohne feststellbaren Zusammenhang, eine solche im Grenzgebiet der Kantone St. Gallen und Appenzell A.-Rh.

Meteorologische Verhältnisse

Um eine allfällige Übereinstimmung zwischen der Ausbreitungsrichtung des Seuchenzuges und der jeweils vorherrschenden Windrichtung abzuklären, wurden meteorologische Erhebungen vor allem in bezug auf die Windverhältnisse durchgeführt. Wir stützten uns bei unseren vergleichenden Studien in erster Linie auf die täglichen Beobachtungen und die «errechneten Monatswerte» der meteorologischen Beobachtungsstationen Lausanne, Bern und Zürich für die betreffenden Zeiträume. Dabei ergab sich folgendes:

α) Im November 1965 herrschten in der ganzen Westschweiz, das heißt im Einzugsgebiet der Beobachtungsstationen Lausanne und Bern, maritime Winde aus dem Sektor Südwest vor.

β) Ab Ende November drehten die Winde im Bereich der Beobachtungsstation Bern eindeutig nach dem Sektor West.

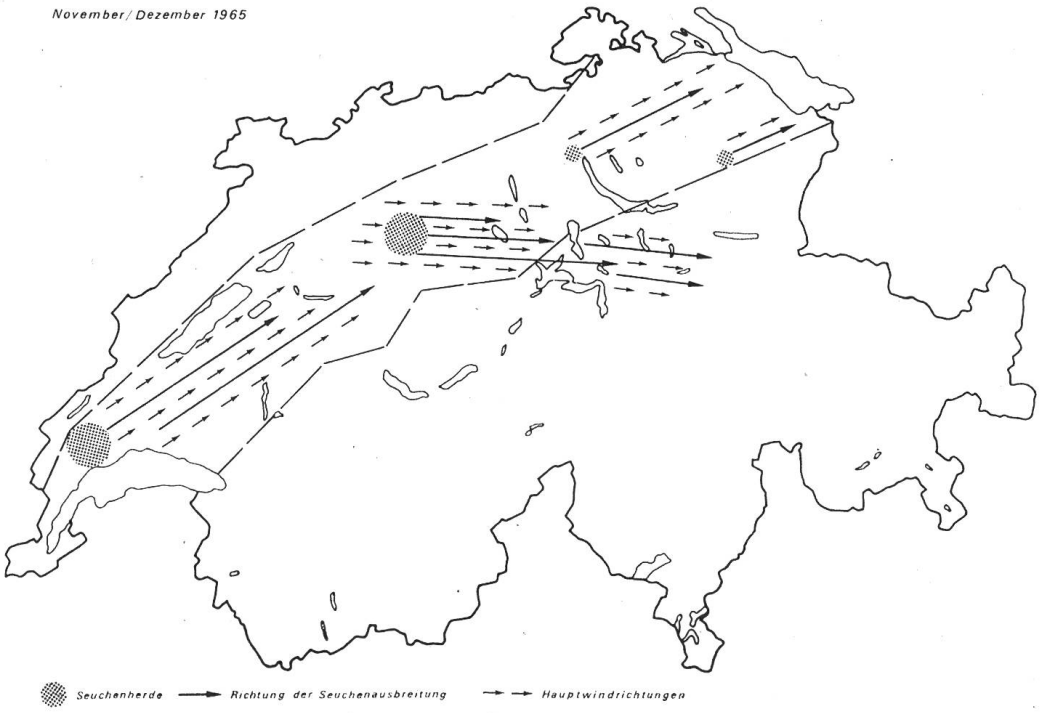
γ) In Zürich wehten die Winde fast während des ganzen Dezember vorwiegend aus dem Sektor West bis Südwest, wobei die durchschnittliche Luftfeuchtigkeit sehr hoch war.

Vergleich der Hauptwindrichtung mit der Ausbreitungsrichtung des Seuchenzuges

Wenn wir die Ausbreitungsrichtung des Seuchenzuges mit den Hauptwindrichtungen in der betreffenden Gegend und zum betreffenden Zeitpunkt

vergleichen, so kommen wir zum Ergebnis, daß zwischen ihnen weitgehende Übereinstimmung besteht (siehe Abb. 7).

Abb. 7
Vergleich der Hauptwindrichtungen mit der Ausbreitungsrichtung des Seuchenzuges
November/Dezember 1965



Es muß aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß innerhalb der Hauptausbreitungsrichtung des Seuchenzuges neben der möglichen Windübertragung auch alle übrigen bekannten Übertragungsfaktoren (belebte und unbelebte Vektoren) zur Auswirkung kommen. *Die These von der Übereinstimmung zwischen Hauptwindrichtung und Ausbreitungsrichtung der Seuche gilt daher nicht für den einzelnen Fall, sondern hat nur generelle Bedeutung.*

Dies gilt auch für die Interpretation der nachfolgenden kartographischen Darstellungen regionaler Seuchenausbreitung. Auch hier handelt es sich nicht um die Abklärung des Übertragungsmodus im einzelnen Seuchenfalle, sondern einzig darum, anhand von Modellfällen das Prinzip der Übereinstimmung von Windrichtung und Seuchenausbreitung aufzuzeigen.

Beobachtungen bei regionaler Seuchenausbreitung

Beispiel 1:

Ausbreitung der MKS aus dem Raum Langenthal–Huttwil in den Kanton Luzern und den südlichen Teil des Kantons Aargau (10. Dezember 1965 bis Jahresende 1965):

Wie erwähnt, entwickelte sich anfangs Dezember im Raume Langenthal–Huttwil, ausgehend von einer Magermilchinfektion in Lotzwil, ein massiver Seuchenherd, der innert kurzer Zeit die meisten Gemeinden der Umgebung ergriff. Wegen der raschen

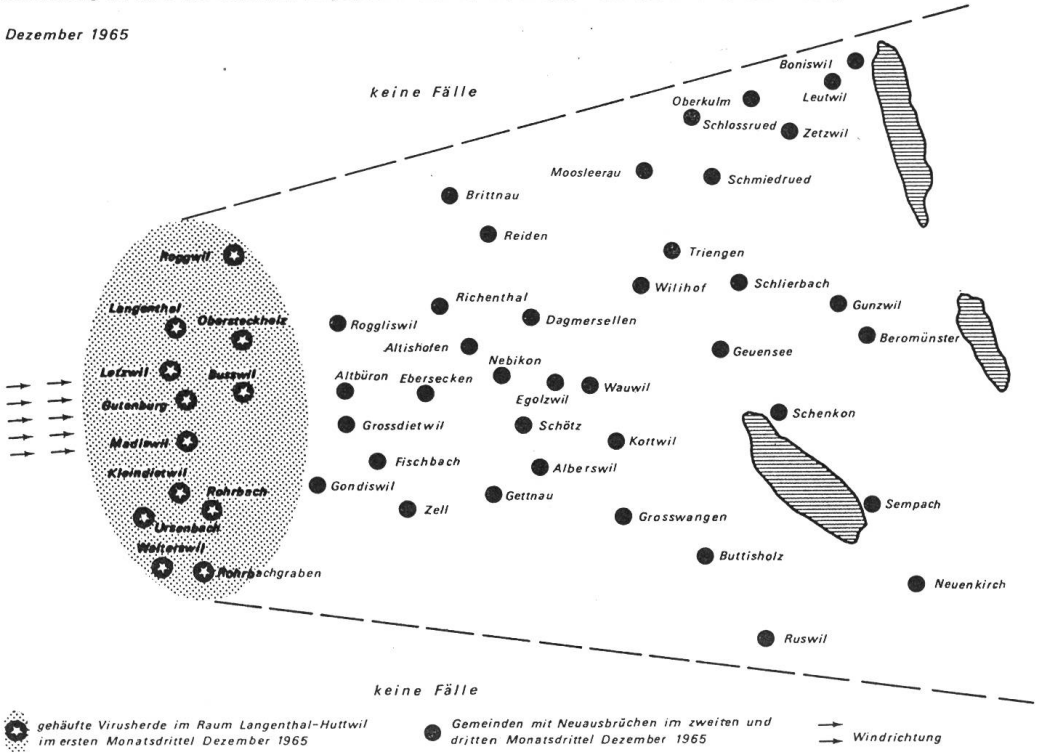
Ausbreitung gelang es nicht, alle Seuchenbestände fristgerecht abzuschlachten, so daß zur partiellen Durchseuchung übergegangen werden mußte. Zu dieser Zeit herrschte in jener Gegend eine ausgesprochene Westwindwetterlage mit mäßigen bis mittleren Windstärken, welche sich um den 9. und 10. Dezember zu Spitzenwerten steigerten.

Etwa 10 Tage später traten in den östlich angrenzenden Gebieten der Kantone Luzern und Aargau, die bisher nur sporadische Seuchenherde aufwiesen, gehäufte Fälle von MKS auf. Gegen Ende Dezember vermehrten sich die Neuausbrüche in bestimmten Gegenden des Kantons Luzern (Ämter Willisau und Sursee) in einem Ausmaß, daß temporär zur Durchseuchung übergegangen werden mußte.

Abb. 8

Ausbreitung der MKS aus dem Raum Langenthal-Huttwil in den Kt. Luzern und den südl. Teil des Kt. Aargau.

Dezember 1965



Aus Abb. 8 ist ersichtlich, daß sich der Seuchenzug aus dem Raum Langenthal–Huttwil ausschließlich in der den vorherrschenden Winden entsprechenden West-Ost-Richtung (mit leichter Streuung von etwa 20 Grad) ausbreitete. Abb. 9 zeigt zudem, daß die Seuchenausbreitung nur in seltenen Ausnahmefällen den Verkehrsachsen folgte, sondern vielfach direkt quer zu diesen verlief.

Beispiel 2:

Ausbreitung der MKS aus dem Raum Willisau–Sursee in die östlichen Gebiete des Kantons Luzern, in die Kantone Zug, Schwyz und Glarus und in den Seebezirk des Kantons St. Gallen (Abb. 10):

Diese Ausbreitung bildet gewissermaßen die zweite Phase des im Beispiel 1 beschriebenen Seuchenverlaufes. Wie erwähnt, mußte von Mitte Dezember an auch im Raum Willisau–Sursee zur teilweisen Durchseuchung übergegangen werden, so daß gegen Jahresende in jener Gegend massive Infektionsherde bestanden. Die meteorolo-

Abb. 9

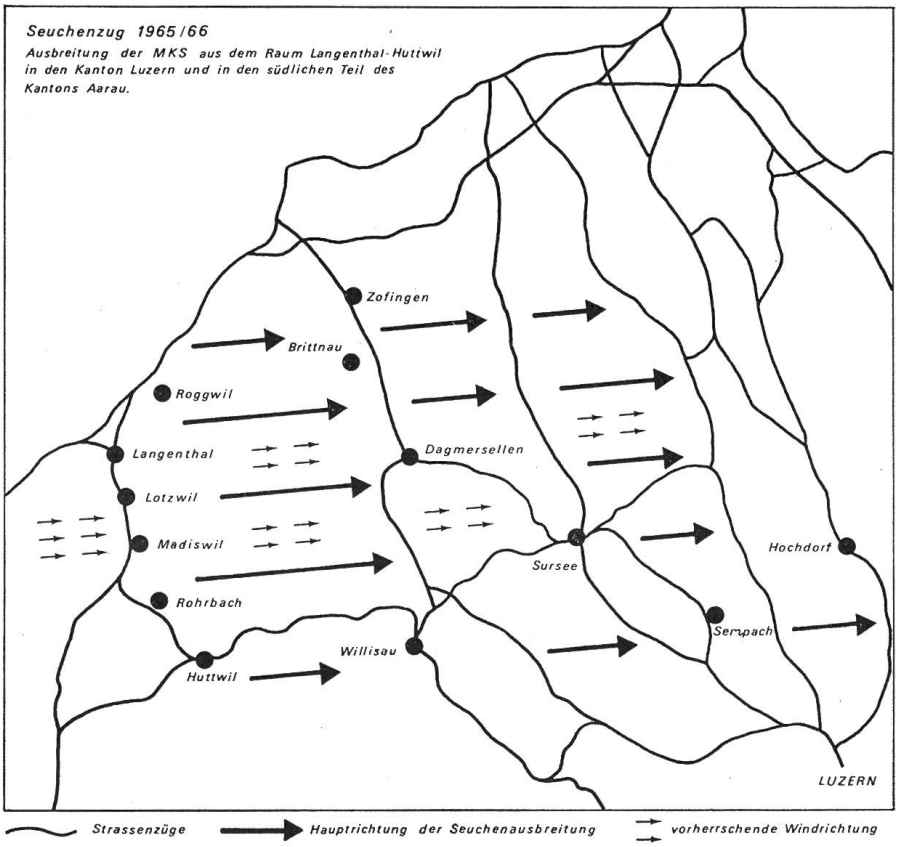
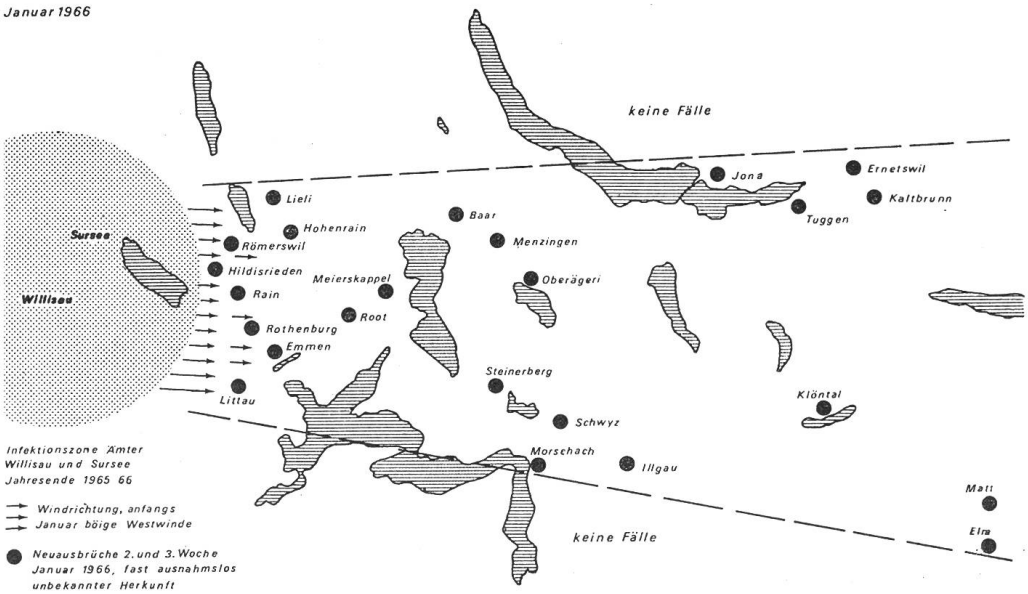


Abb. 10

Ausbreitung der MKS aus dem Raum Willisau - Sursee in die östlichen Gebiete des Kt. Luzern, in die Kantone Zug, Schwyz und Glarus und in den Seebezirk des Kantons St. Gallen.

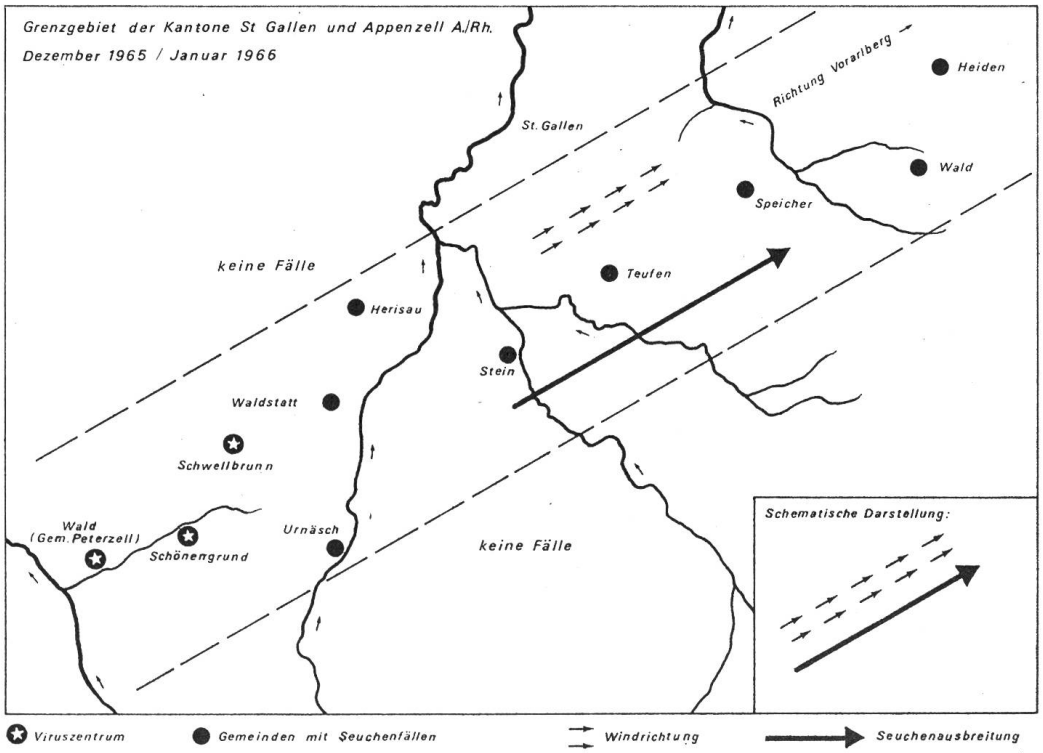
Januar 1966



gischen Verhältnisse waren ähnlich wie in der ersten Monatshälfte im Raum Langenthal–Huttwil: vorherrschende Winde aus dem Sektor West mit Spitzenwerten um die Jahreswende.

In der zweiten und dritten Januarwoche 1966 traten in den östlich dieses Gebietes gelegenen Gemeinden des Kantons Luzern und in den Kantonen Zug, Schwyz, Glarus und St. Gallen etwa zwei Dutzend voneinander vollständig unabhängige Neuausbrüche auf. Wie aus Abb. 10 zu ersehen ist, ging die Ausbreitung auch hier ausschließlich in Richtung West-Ost (mit ähnlicher Streuung wie im Beispiel 1). Kontaktübertragungen konnten nur ganz ausnahmsweise nachgewiesen oder vermutet werden. Eine Ausbreitung den Verkehrswegen entlang ist auf Grund der topographischen Lage unwahrscheinlich.

Abb. 11

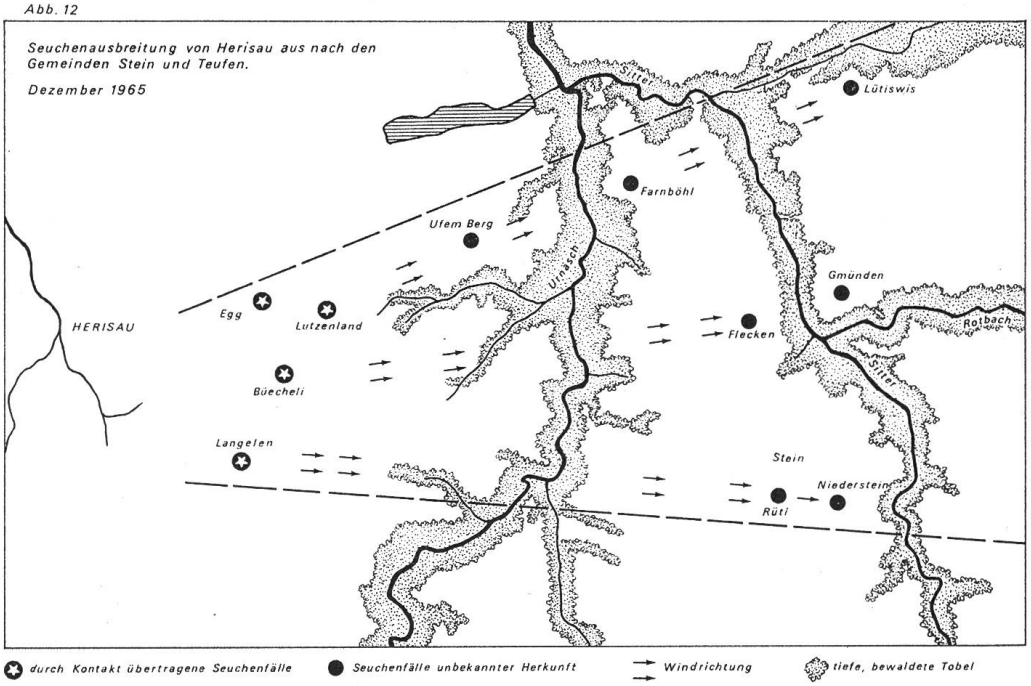


Beispiel 3:

Ausbreitung der MKS im Grenzgebiet der Kantone St. Gallen und Appenzell A.-Rh. (Dezember 1965/Januar 1966):

In der dritten Dezemberwoche 1965 trat in Wald (Gemeinde Peterzell SG) ein vereinzelter Seuchenfall unbekannter Herkunft auf. Wegen außerordentlich hoher Kontagiosität des Virus griff die Seuche nach Ablauf der Inkubation auf fünf weitere Bestände über. Von diesem Virusherd aus entwickelte sich in der Folge ein begrenzter Seuchenzug, indem in den Gemeinden Schönengrund, Schwellbrunn, Urnäsch, Waldstatt, Herisau, Stein, Teufen, Speicher, Wald und Heiden vereinzelte MKS-Fälle auftraten. Wie aus der Abb. 11 ersichtlich ist, liegen alle oben erwähnten zehn appenzellischen Gemeinden in einem relativ schmalen, sich von West nach Ost erstreckenden Geländestreifen. Die Seuchendichte war relativ gering. Eine Ausbreitung den Verkehrswegen nach ist auszuschließen, da sich mit einer Ausnahme alle von der Seuche befallenen Gehöfte weit abseits von Durchgangsstraßen befinden.

Abb. 12



Während der kritischen Zeit herrschte in jener Gegend eine ausgesprochene Südwest-West-Windströmung mit teils böigen Winden.

Innerhalb der Hauptausbreitungsrichtung West-Ost erweckt die Seuchenausbreitung von Herisau aus nach den Gemeinden Stein und Teufen besonderes Interesse. Wie Abb. 12 zeigt, breitete sich die Seuche hier in einer abgelegenen, verkehrsarmen, von tiefen Tobeln durchschnittenen Gegend aus, so daß es schwerhalten dürfte, dies durch Kontaktübertragung zu erklären. Unseres Erachtens handelt es sich hier um einen geradezu klassischen Fall aerogener Virusausbreitung.

3. Vergleich mit Praxisbeobachtungen in England und Ostdeutschland (DDR)

a) England

Die mehrfach erwähnte britische Untersuchungskommission [7] legte das Hauptgewicht auf die Abklärung epizootologischer Fragen, wobei Einschleppung und Ausbreitung des MKS-Virus im Vordergrund standen. Im Hinblick auf die Ausbreitung bildete auch die Windübertragung Gegenstand eingehender Nachforschungen. Die meteorologischen Erhebungen ergaben zusammengefaßt folgendes:

In den ersten Wochen der Entwicklung der Epizootie 1967/68 wurde zwischen der Ausbreitungsrichtung und den vorherrschenden Winden (prevailing winds) eine weitgehende Übereinstimmung festgestellt.

Retrospektive meteorologische Erhebungen über fünf frühere Seuchenzüge führten zum gleichen Resultat.

Bei kritischer Sichtung dieser und ähnlicher Erhebungen kommt die Untersuchungskommission zum Schluß, daß der Wind während des ersten Monates der Epizootie 1967/68, das heißt zur Zeit ihrer intensivsten Ausbreitung, einen bedeutsamen Ausbreitungsfaktor – a significant factor in spread – darstelle.

b) Ostdeutschland (DDR)

Thamm [14] untersuchte die in Ostdeutschland herrschenden Epizootien der Jahre 1951/52 und 1962/63. Da verschiedene dieser epizootologischen Beobachtungen mit den in der Schweiz gemachten übereinstimmen, entnehmen wir seiner Arbeit nachstehende Ausführungen:

«Weiter wird besonders bei trockenem Wetter beobachtet, daß einige Zeit nach stärkerem Wind lawinenartig eine große Zahl von Neuausbrüchen an MKS in Windrichtung auftritt. Diese Erscheinung ist nicht anders zu deuten, als daß das Virus, an Staubpartikeln gebunden, massenhaft mehr oder minder weit über die Landschaft getragen wird und, sofern es auf Klauentiere trifft, die für die Seuche empfänglich sind, zahlreiche neue MKS-Ausbrüche verursacht.»

«Große Wälder behindern die Verbreitung, desgleichen Gebirgs- und Mittelgebirgslagen. Tieflandlagen, Flußtäler und Senken zwischen Gebirgszügen begünstigen ihre Verbreitung.»

Unsere Meinungen gehen lediglich in der Frage, ob trockene oder feuchte Winde zur Virusausbreitung beitragen (siehe unter «Diskussion»), auseinander.

Der Vollständigkeit halber verweisen wir auf ein bisher nicht vollständig abgeklärtes Phänomen, das auch Thamm erwähnt und das von Höhener seinerzeit häufig beobachtet wurde, auf die sogenannten «Spritzer».

«Für die epizootologische Analyse der Seuchensituation ist folgendes zu beachten: Erfahrungsgemäß gehen der wellenförmigen Seuchenausbreitung für die Dauer von einigen Wochen Einzelinfektionen, sogenannte «Spritzer», voraus, die in der Regel ohne besondere Schwierigkeiten abgeriegelt und gelöscht werden können, bis dann, offenbar nach einem Zeitraum der Anreicherung, eine massive Verbreitung bzw. die wellen- oder lawinenartige Ausbreitung erfolgt» (Thamm).

Höhener nannte seinerzeit diese jedem größeren Seuchenzug vorangehenden, über große Distanzen verstreuten Einzelfälle «Regentropfen», indem er sie mit den einem Platzregen vorausgehenden vereinzelten schweren Tropfen verglich. Auch er machte die Beobachtung, daß diese sporadischen Fälle relativ harmlos seien, daß sie aber ein in epizootologischer Hinsicht prognostisch ungünstiges Zeichen darstellen.

Auch zu Beginn des Seuchenzuges 1965/66, das heißt im Laufe des Monats November 1965, traten in verschiedenen Mittellandkantonen eine größere Zahl solcher sporadischer Fälle auf, die alle vorerst relativ leicht liquidiert werden konnten. Es liegt die Vermutung nahe, daß die «Spritzer» auf ähnliche Ausbreitungsfaktoren meteorologischer Natur zurückzuführen sind, wie wir sie im Verlaufe des eigentlichen Seuchenzuges beobachten können.

D. Diskussion

Unter welchen Voraussetzungen sind aerogene Virusübertragungen in der Praxis überhaupt möglich, und wie ist die relative Häufigkeit des Vorkommens dieses Übertragungsmodus abzuschätzen?

In erster Linie ist darauf hinzuweisen, daß der Aerosolübertragung des MKS-Virus nur dann eine epizootologisch in Betracht fallende Bedeutung zukommt, wenn der betreffenden Epizootie ein Virusstamm oder eine Typvariante von überdurchschnittlich hoher Infektiosität zugrunde liegt.

Auf kurze Distanzen oder beim Vorliegen besonders gelagerter Seuchensituationen, wie zum Beispiel massive Virusstreuherde am Oberlauf eines Flusses usw., können zwar hin und wieder auch bei weniger infektiösen Epizootien aerogene Virusübertragungen beobachtet werden, denen aber meist nur geringgradige epizootologische Bedeutung zukommt.

In zweiter Linie müssen massive Virusstreuherde (große Schweinebestände, gehäufte MKS-Fälle auf relativ engem Raum, zu spät angezeigte oder nicht rechtzeitig abgeschlachtete Viehbestände usw.) vorhanden sein.

Die dritte Voraussetzung liegt im Vorliegen einer meteorologischen Konstellation, die einer Windverbreitung der Aerosole günstig ist, wobei nach den Untersuchungen in England neben den Windverhältnissen der Luftfeuchtigkeit und den Niederschlägen eine entscheidende Rolle zukommt.

In vierter Linie hat die Topographie des Seuchengebietes eine gewisse Bedeutung.

Nur beim Zusammentreffen dieser Voraussetzungen ist eine aerogene Ausbreitung des MKS-Virus auf größere Distanzen möglich, woraus zu schließen ist, daß sie im MKS-Geschehen nicht den Normalfall, sondern eher einen Ausnahmefall darstellt. Die These von der aerogenen Übertragung des MKS-Virus stellt denn auch keine Antithese zur Vektorenübertragung dar, sondern eine Ergänzung. Die Richtigkeit der Erkenntnis, daß es sich bei der MKS um eine typische Zwischenträgerseuche handle, und die darauf basierenden Bekämpfungsmaßnahmen werden durch die gelegentlichen Aerosolübertragungen grundsätzlich nicht in Frage gestellt. In «normalen» Seuchenzügen, das heißt beim Vorliegen eines Virusstammes von durchschnittlicher oder unterdurchschnittlicher Infektiosität, spielt die Übertragung durch die bekannten belebten und unbelebten Vektoren zweifellos die Hauptrolle. Doch darf nicht übersehen werden, daß der aerogenen Übertragung innerhalb der MKS-Bekämpfungsmethoden trotz relativer Seltenheit schwerwiegende Bedeutung zukommen kann. Da die Windübertragung virushaltiger Aerosole sehr große Distanzen erreichen kann (nach eigenen Beobachtungen bis zu 45 km, nach englischen Berichten bis über das Doppelte), werden weitgezogene Schutzzonen und breit angelegte Impfgürtel übersprungen und damit unter Umständen in bisher seuchenfreien Gebieten neue Infektionsherde gesetzt, die ihrerseits – da in jenen Gegenden zu diesem

Zeitpunkt noch keine seuchenpolizeilichen Sperrmaßnahmen bestehen – vielfach wieder Ausgangspunkt mehr oder weniger ausgedehnter Kontaktkreise werden können. Wiederholt sich dieser Vorgang mehrmals oder laufend, so können die Aerosolübertragungen mit dazu beitragen, daß sich aus einer vorerst lokalen Seuchensituation ein eigentlicher Seuchenzug entwickelt. Einer der häufigsten Einwände gegen die aerogene Virusübertragung lautet, daß sich alsdann in allen Fällen, bei denen die entsprechenden Voraussetzungen vorliegen, die Seuche lawinenartig ausbreiten müßte, da dann alle in Windrichtung gelegenen Gehöfte der gleichen Ansteckungsmöglichkeit ausgesetzt wären. Diese Einwände lassen sich widerlegen. Verdünnung und teilweise Inaktivierung des Virus sowie alle Zufälligkeiten bei der Aufnahme durch das empfängliche Tier in Rechnung stellend, kommt man zwangsläufig zum Schluß, daß die effektiv haftenden Infektionen nur einen Bruchteil der theoretisch möglichen darstellen.

Nicht abgeklärt ist die Frage, ob die als Trägermedien dienenden Aerosole fester oder flüssiger Natur sind oder beides. Höhener vertrat die Ansicht, daß es sich um «kleinste, feinstverteilte Wassertröpfchen», nach heutigem Sprachgebrauch also um flüssige Aerosole handle. Für diese Auffassung spricht die Beobachtung, daß lokale aerogene Virusübertragungen vielfach entlang von Flußläufen erfolgen und daß sich in unserm Land alle großen Seuchenzüge ausschließlich in West-Ost-Richtung, also in der Richtung der im Herbst und Winter oft vorherrschenden, feuchten maritimen Windströmungen, ausbreiten. Diese sich über mehrere Jahrzehnte erstreckenden Beobachtungen in der Schweiz werden durch die mehrfach zitierten Untersuchungen in England bestätigt. Die dortigen virologischen und meteorologischen Untersuchungen ergaben, daß eine Aerosolübertragung über weite Distanz nur bei sehr hoher relativer Luftfeuchtigkeit und bei Regenwetter möglich sei. Demgegenüber faßt Thamm [15] die in Nord- und Mitteldeutschland gemachten Beobachtungen dahin zusammen, daß «bei trockenem Wetter nach stärkerem Wind lawinenartig Neuausbrüche an MKS in Windrichtung auftreten», welche Erscheinung er in der Weise auslegt, daß «das MKS-Virus, an Staubpartikeln gebunden, massenhaft mehr oder weniger weit über die Landschaft getragen wird».

Diese Diskrepanz ist nicht leicht zu erklären. Am naheliegendsten scheint, daß örtliche klimatische Verhältnisse solche Unterschiede bedingen. So wäre es denkbar, daß in Nord- und Mitteldeutschland mit meist trockenen, kontinentalen Winden andere Aerosolkomponenten in Betracht kommen als zum Beispiel in England mit vorwiegend feuchten maritimen Luftströmungen. Auch wäre es nicht ausgeschlossen, daß die Bodenbeschaffenheit des Landes eine mitbestimmende Rolle spielt. So könnte man sich vorstellen, daß in Norddeutschland mit leichten sandigen Böden bei stärkerem Wind Staubpartikeln in großen Mengen in die Luft getragen werden, die dann als Virusträger dienen, während dies in der Schweiz und in England mit schwereren Böden nicht der Fall ist. Dies sollte durch eingehende vergleichende Unter-

suchungen abgeklärt werden. Inzwischen werden wir uns auf den Standpunkt stellen müssen, daß die der Virusübertragung dienenden Trägermedien sowohl flüssiger als auch fester Natur sein können.

Es muß noch auf Untersuchungen und Beobachtungen hingewiesen werden, die zu gegenteiligen Schlüssen führten.

Einige negativ verlaufene Experimente wurden bereits erwähnt und bemerkt, daß dabei dem Infektiositätsgrad des Virus zuwenig Rechnung getragen bzw. mit Virusstämmen von zu geringer Virulenz gearbeitet wurde.

Moosbrugger [15] berichtet über ein Kalb, das irrtümlicherweise während längerer Zeit im gleichen Luftraum mit infizierten Tieren gehalten wurde, ohne angesteckt zu werden, während es nach der Fütterung von kontaminiertem Heu an typischer MKS erkrankte. Es ist nachträglich nicht festzustellen, ob der Infektiositätsgrad des Virus, mit dem die übrigen Tiere infiziert waren, für die aerogene Virusübertragung genügend hoch war. Auch ließe sich die Frage aufwerfen, ob die klimatisierte Luft innerhalb des Instituts die gleichen Eigenschaften (Vorhandensein von Aerosolen in genügender Menge und Größe) aufwies wie die «normale» Außenluft.

Über eine weitere diesbezügliche Beobachtung aus Argentinien berichtet Röhrer [4]: «Eine große Bedeutung kann dieser» (das heißt der aerogenen) «Übertragung nicht zukommen, denn in Argentinien werden die MKS-Versuche an Großtieren nicht in besonderen Isolierställen durchgeführt, sondern im Freien, in umzäunten Koppeln, die nur durch wenige Meter breite Wege voneinander getrennt sind. Nach mündlichen Mitteilungen von Hobohm (1954) hat noch niemals eine Übertragung durch die Luft von Koppel zu Koppel die Experimente gestört. Dasselbe betont Schang (1964), wobei ausdrücklich auf die Anwesenheit von Mücken und andern Insekten sowie von Vögeln hingewiesen wird.»

Auch hier bestehen zwei Möglichkeiten, die das Ausbleiben einer aerogenen Übertragung des MKS-Virus von Koppel zu Koppel erklären können. Entweder wird mit Virusstämmen von zu niedriger Virulenz gearbeitet, oder die Luft jener Landsriche hat nicht die Voraussetzungen für eine aerogene Übertragung (Luftfeuchtigkeit, Vorhandensein von Aerosolen in genügender Menge und Größe). Da Schang besonders auf die Anwesenheit von Mücken und anderen Insekten sowie von Vögeln hinzuweisen scheint, ist eher auf einen geringen Infektiositätsgrad der für die Experimente verwendeten Virusstämme zu schließen, denn bei hochinfektiösem Material würde wohl – abgesehen von der aerogenen – gelegentlich eine Übertragung durch diese Zwischenträger erfolgen. Auch besteht die Möglichkeit, daß das Vieh jener Landstriche über eine relativ hohe Resistenz gegenüber MKS-Infektionen verfügt, was die Gefahr einer Ansteckung auf aerogenem Weg erschweren würde. Auf jeden Fall können diese wenigen, ungenügend abgeklärten, gegenteiligen Beobachtungen die hier aufgeführten Argumente nicht entkräften.

Schlußbemerkung: Da wir heute wissen, daß die atmosphärische Luft außer gasförmigen Bestandteilen stets auch feindisperse korpuskuläre Elemente (Schwebestoffe oder Aerosole) enthält, fragt es sich, ob zwischen diesen Luft-

schwebestoffen und andern der Übertragung des MKS-Virus dienenden unbelebten Vektoren ein *grundsätzlicher* Unterschied besteht. Man könnte sich auf den Standpunkt stellen, daß es sich um den prinzipiell gleichen Vorgang handle, wenn MKS-Virus, zum Beispiel an einer Schuhsohle, einem Autopneu oder an einem andern Vektor haftend, von einem Gehöft zum andern verschleppt oder wenn das gleiche Virus, an ein in der Luft schwebendes Aerosol angelagert, durch Windströmungen vom Produktionsort zum empfänglichen Tier getragen wird. Die Trägermedien unterscheiden sich nicht ihrer Natur nach, sondern lediglich durch ihre Dimension. Aus dieser Sicht besteht zwischen Aerosolübertragung und Vektorübertragung überhaupt kein grundsätzlicher Unterschied, vielmehr stellt die Aerosolübertragung nur eine durch bestimmte Umstände bedingte Sonderform der Vektorenübertragung dar.

E. Ergebnisse

1. Die Gegenüberstellung von Anschauungen, die Höheners Hypothese zugrunde liegen, mit neuesten Erkenntnissen der meteorologischen und virologischen Forschung ergibt eine sehr weitgehende Übereinstimmung.

2. Ein Vergleich der drei Seuchenzüge 1920/21, 1938/39 und 1965/66 in der Schweiz zeigt trotz der unterschiedlichen Bekämpfungsmaßnahmen so auffallende Parallelen, daß daraus geschlossen werden kann, es müßten bei der Entstehung und im Ablauf hochinfektiöser Epizootien neben der klassischen Vektorenübertragung noch andere, bisher wenig erforschte epizootologische Faktoren mitwirken.

3. Die im Abschnitt «Kasuistik» dargestellten Fälle zeigen eine so weitgehende grundsätzliche Übereinstimmung zwischen Windrichtung und Seuchenausbreitung, daß mit größter Wahrscheinlichkeit auf eine Virusübertragung auf aerogenem Wege geschlossen werden kann.

4. Ein Vergleich von epizootologischen Praxisbeobachtungen in England und Ostdeutschland mit denjenigen in der Schweiz zeigt in grundsätzlicher Beziehung weitgehende Übereinstimmung.

Diese Ergebnisse berechtigen zum Schluß, daß eine Übertragung des MKS-Virus auf aerogenem Weg (Aerosolübertragung) unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist und daß diesem Übertragungsmodus beim Vorliegen eines hochinfektiösen Virusstammes und einer günstigen meteorologischen Konstellation eine epizootologisch bedeutsame Rolle zukommt. Dadurch erhält die von Höhener vor über vier Jahrzehnten aufgestellte Hypothese ihre nachträgliche Bestätigung und Anerkennung.

Wenn wir den Gründen nachgehen, die dazu führten, daß eine für die Epizootologie und Bekämpfung der MKS so wertvolle Erkenntnis jahrzehntelang übergangen werden konnte, so kommen wir zur Überzeugung, daß – von unsachlichen persönlichen Momenten abgesehen – die verbreitete, aber auf keine Weise gerechtfertigte Unterbewertung der durch Praxisbeobachtungen erworbenen Erkenntnisse gegenüber den Resultaten von Laboratoriumsexperimenten die Hauptschuld trägt.

SPEZIELLER TEIL

A. Seuchenfahrzeuge[1] als mögliche Infektionsquelle

1. Ansichten Höheners

Die Diskussion über die Frage, ob MKS-Übertragungen durch Seuchenfahrzeuge möglich oder wahrscheinlich seien, reicht bis in die zwanziger Jahre, das heißt in die Zeit ihrer ersten Indienststellung, zurück. Höhener war – trotzdem er die Abschlachtung der infizierten Viehbestände in geeigneten Schlachthöfen als einen der größten Fortschritte der damaligen Seuchenbekämpfungsmethode betrachtete – einer der ersten, die auf Grund ihrer Praxisbeobachtungen auf die *Möglichkeit* einer Virusverschleppung durch Seuchenfahrzeuge hinwiesen. Im Gegensatz zur vielfach herrschenden Ansicht, daß eine allfällige MKS-Übertragung durch an den Pneus haftendes Virus erfolgen könnte, nahm er auch in dieser Frage einen abweichenden Standpunkt ein. Wie bekannt, gelangte Höhener schon sehr früh – mehr als ein Jahrzehnt vor dem experimentellen Nachweis durch Waldmann und Mitarbeiter – zur Erkenntnis, daß die Virusausscheidung infizierter Tiere schon während der Inkubation erfolge und daß in diesem Stadium des Krankheitsablaufes die meisten Sekrete und Exkrete virushaltig seien. Daraus folgerte er weiter: Wenn solche virusausscheidenden Tiere in einem mehr oder weniger gut verschlossenen Camion über weite Strecken transportiert werden, wird die Luft innerhalb des knapp bemessenen Fahrzeuges stark virushaltig. Diese kontaminierte Luft gelangt während der Fahrt durch die Lüftungsklappen ins Freie, schlägt sich an bestimmten Stellen im Gelände nieder, und dann ist es eine Frage des Zufalls, ob diese sedimentierten Viren auf direktem oder indirektem Weg zu einem empfänglichen Tier gelangen. Die Möglichkeit einer solchen Virusübertragung durch Seuchenfahrzeuge steigt nach Höhener mit dem Grad der Kontagiosität des Virus, der Zahl der im kritischen Ausscheidungsstadium transportierten Tiere und der Länge des Transportweges. Es liegt auf der Hand, daß diese These vor über vier Jahrzehnten skeptisch aufgenommen wurde und vielfach aus «seuchenpsychologischen» Gründen auf Ablehnung stieß.

Heute ist die Situation anders. Durch die von Hyslop in Pirbright unternommenen Experimente wurde nachgewiesen, daß die Luft von «Räumen», in denen sich virusausscheidende Tiere befinden, virustragende Aerosole enthält, daß diese ansteckungsfähig sind und durch Luftströmungen verbreitet werden können. Weitere Untersuchungen im gleichen Institut ergaben, daß die Kontaminierung der Luft in der Umgebung virusausscheidender Tiere unter Umständen einen sehr hohen Grad erreichen kann. Auf Grund dieser Untersuchungen kann angenommen werden, daß der relativ

[1] Unter «Seuchenfahrzeugen» versteht man Motorfahrzeuge, die im Auftrag des Bundes oder der Kantone speziell für den Transport von verseuchten oder verdächtigen Tieren konstruiert worden sind.

kleine Luftraum eines Seuchenfahrzeuges, in welchem zehn infizierte Rinder in unterschiedlichem Ausscheidungsstadium über mehr oder weniger weite Strecken transportiert werden, in massiver Weise kontaminiert wird. Da zudem durch den Fahrwind dafür gesorgt ist, daß die kontaminierten Luftmassen durch die Lüftungsklappen ins Freie gelangen, ist die *Möglichkeit* einer Seuchenverschleppung durch Seuchenfahrzeuge ohne weiteres gegeben.

Auch wenn wir diese Möglichkeit anerkennen, soll selbstverständlich nicht bestritten werden, daß hin und wieder auch Seuchenverschleppungen durch Virus, das an den Pneus haftet, vorkommen können. Die Problematik der Reinigung und Desinfektion der gerillten Pneus der Seuchencamions – insbesondere bei Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt und unter erschwerten äußeren Verhältnissen – ist jedem Praktiker der Seuchenbekämpfung hinreichend bekannt, so daß es müßig wäre, die *Möglichkeit* der Virusübertragung durch ungenügend desinfizierte Pneus abzulehnen. Hingegen scheint diese Übertragungsmöglichkeit gegenüber jener durch virushaltige Luft eine untergeordnete Rolle zu spielen, vor allem unter den Bedingungen, wie sie zeitweise während des letzten Seuchenzuges vorlagen (Virus von sehr hohem Infektiositätsgrad, teilweise verspätete Abschlachtung großer Bestände, überdurchschnittlich lange Transportwege).

2. *Kasuistik*

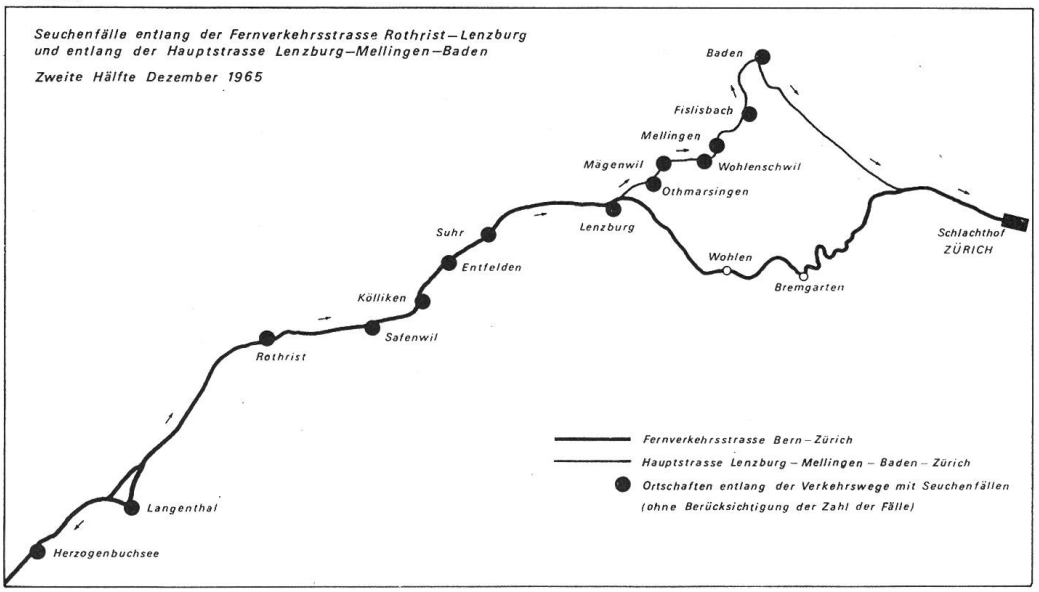
Seuchenübertragungen durch Seuchenfahrzeuge können im allgemeinen nur im Verlauf von Epizootien beobachtet werden, denen ein Virus von überdurchschnittlicher Infektiosität zugrunde liegt. In der Schweiz war dies während einiger Phasen des Seuchenzuges 1938/39, im Jahre 1951 anläßlich einer hochinfektiösen A5-Epizootie in der Innerschweiz und während des Höhepunktes des letzten Seuchenzuges 1965/66 der Fall. Wir beschränken uns auf die Erwähnung von zwei Beispielen vom Dezember 1965. Objektiverweise muß dabei erwähnt werden, daß es nur in den wenigsten Fällen gelingt, solche Seuchenübertragungen schlüssig zu beweisen. Man muß sich meistens mit Wahrscheinlichkeiten begnügen, wobei aber gesagt werden kann, daß einzelne von ihnen einem exakten Beweis sehr nahe kommen.

Beispiel 1:

Von Mitte Dezember bis Jahresende 1965 traten entlang der starkbefahrenen aargauischen Verkehrsachse Rothrist–Baden in fast ununterbrochener Kette gehäufte MKS-Fälle auf (Rothrist, Safenwil, Kölliken, Entfelden, Suhr, Lenzburg, Othmarsingen, Mägenwil, Wohlenschwil, Mellingen, Fislisbach, Baden). Ein Zusammenhang mit der Verkehrsader war offensichtlich. Theoretisch konnten die Ausbrüche auf den allgemeinen Fahrzeugverkehr (Personen- und Lastwagen) oder auf die häufige Durchfahrt von Seuchenfahrzeugen aus dem Kanton Bern nach dem Schlachthof Zürich zurückgeführt werden. Abb. 13 zeigt, daß mit großer Wahrscheinlichkeit die letztere Annahme zutrifft. Die Kette der Neuausbrüche folgt nämlich nur bis Lenzburg der damaligen Fernverkehrsstraße Bern–Zürich, von hier an aber der Verbindungsstraße Lenzburg–Mellingen–Baden. Wäre der allgemeine Verkehr Ursache gewesen, müßten diese logischerweise nicht nur bis Lenzburg der Durchgangsstraße folgen, sondern weiter über Wohlen, Bremgarten Richtung Zürich. Statt dessen begleiten sie von Lenzburg an die Verbindungsstraße Lenzburg–Mellingen–Baden, auf welcher auch die Seuchen-

fahrzeuge zirkulierten. Nach Angaben der Baudirektion des Kantons Aargau verhielten sich dabei die Verkehrsfrequenzen auf der Strecke Lenzburg–Wohlen zu denjenigen auf der Strecke Lenzburg–Mellingen ungefähr wie 2:1.

Abb. 13



Auf Grund dieser Beobachtungen und Überlegungen kann mit einem sehr hohen Grad von Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß die Seuchenausbrüche entlang dieser Verkehrsachse mit den die Strecke befahrenden Seuchenfahrzeugen in Verbindung stehen.

Beispiel 2:

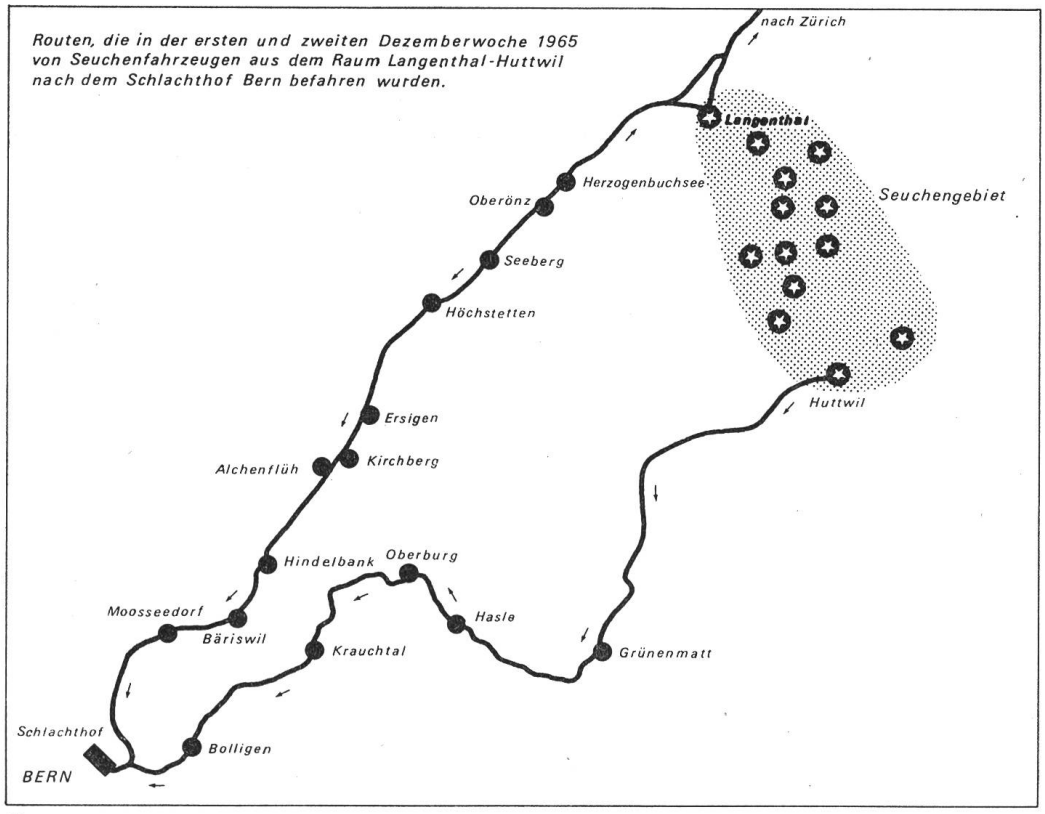
Ungefähr zur gleichen Zeit mit den in Beispiel 1 erwähnten Seuchenausbrüchen wurden auch auf den Strecken Langenthal–Bern und Huttwil–Bern gehäufte Fälle von MKS festgestellt, und zwar in Herzogenbuchsee, Oberönz, Seeberg, Höchstetten, Ersigen, Kirchberg, Alchenflüh, Hindelbank, Bäriswil und Moosseedorf einerseits und Grünenmatt, Hasle, Oberburg, Krauchthal und Bolligen andererseits (siehe Abb. 14). Auf diesen beiden Strecken fuhren die Seuchenfahrzeuge aus der hochgradig verseuchten Region zwischen Langenthal und Huttwil nach dem Schlachthof Bern.

Da diese Seuchenausbrüche zeitlich weitgehend mit den oben erwähnten im Kanton Aargau übereinstimmen:

erster Transport nach dem Schlachthof Bern 1.12.65;
erster Seuchenausbruch auf der Durchfahrtsstrecke 8.12.65
erster Transport nach dem Schlachthof Zürich 5.12.65;
erster Seuchenausbruch auf der Durchfahrtsstrecke 13.12.65

kann wohl kaum ein Zweifel darüber bestehen, daß diese Neuausbrüche mit den Seuchentransporten aus der Gegend von Langenthal–Huttwil nach dem Schlachthof Bern zusammenhängen.

Abb. 14



● Gemeinden, in denen in der zweiten und dritten Dezemberwoche 1965 Seuchenfälle auftraten

3. *Folgerungen*

Sofern man die Möglichkeit von Seuchenübertragungen durch den Austritt virushaltiger Aerosole aus Seuchenfahrzeugen anerkennt, wird es Aufgabe der Organe der Tierseuchenpolizei sein, Mittel und Wege zu ihrer Ausschaltung zu suchen. Der erste Schritt wird darin bestehen, die in Pirbright unter Laboratoriumsbedingungen erzielten Ergebnisse unter praxisnahen Bedingungen zu überprüfen, das heißt, die Luft eines beladenen Seuchenfahrzeuges nach der Methode Hyslops (oder einer gleichwertigen oder überlegenen) auf das Vorhandensein von virushaltigen Aerosolen zu untersuchen. Sollte dies bestätigen, daß sich im Luftraum beladener Seuchenfahrzeuge virushaltige Aerosole befinden, bestände der zweite Schritt darin, abzuklären, wie der Austritt dieser Aerosole aus dem Innern der Seuchenfahrzeuge verhindert werden kann. Unseres Erachtens kämen theoretisch zwei Verfahren in Betracht, ein technisches und ein biologisches. In technischer Hinsicht würde es sich darum handeln, den Austritt der virushaltigen Aerosole durch die Installation von Ventilationsanlagen mit Einbau wirksamer Filter in die Abluftkanäle zu verunmöglichen.

Dieses technische Verfahren ist inzwischen bei einem Seuchenanhänger der ostschweizerischen Kantone durch den Einbau einer leistungsfähigen Ventilationsanlage

mit Zwischenschaltung eines sogenannten Absolutfilters versuchsweise angewendet worden. Die Bewährungsprobe steht noch bevor (Krapf [16]).

In biologischer Hinsicht sollten Wege gesucht werden, die Luft in den Seuchenfahrzeugen einer permanenten Desinfektion zu unterziehen. Diesem Vorschlag liegt die Erkenntnis zugrunde, daß das Virus der MKS nur innerhalb eines bestimmten pH-Bereiches aktiv bleibt. Sollte es gelingen, den Luftraum des Seuchenfahrzeuges durch Einblasen von bestimmten organischen Säuren in Aerosolform auf einem «Säurepegel» zu halten, bei dem die zu transportierenden Tiere nicht geschädigt, die Viren aber inaktiviert würden, wäre das Problem des gefahrlosen Transportes virusausscheidender Tiere im Prinzip gelöst.

B. Seuchenschlachthöfe als mögliche Infektionsquelle

1. Ansichten Höheners

Höhener stellte sich auf Grund seiner Praxisbeobachtungen auf den Standpunkt, daß jeder Schlachtort – Seuchenschlachthöfe inbegriffen –, wo MKS-infizierte Viehbestände geschlachtet werden, über alle tierseuchenpolizeilichen Maßnahmen hinaus eine potentielle Infektionsgefahr für die Umgebung darstelle. Dabei ging er von folgenden Überlegungen aus: Bei der Abschlachtung infizierter Viehbestände sind meist die wenigsten Tiere klinisch krank. Die meisten befinden sich in verschiedenen Stadien der Inkubation. Gegen Ende der Inkubationszeit im Stadium der generalisierten Virämie ist das Blut stark virushaltig, und zwar befindet sich das Virus, weil sich die Abwehrfunktionen des Organismus noch ungenügend ausgewirkt haben, in hochvirulenter Form. Beim Blutentzug wird daher hochvirulentes Virus in großen Mengen frei. Dadurch wird die Umgebung, vor allem auch der Luftraum der Schlachthallen, hochgradig kontaminiert. Die kontaminierte Luft gelangt aus dem Schlachtraum in die freie Atmosphäre und kann bei günstiger meteorologischer Konstellation durch Windströmungen über mehr oder weniger große Distanzen verbreitet werden. Diese Hypothese entspricht, wie wir bereits festgestellt haben, weitgehend den Erkenntnissen der neueren meteorologischen und virologischen Forschung. Wir sind daher zur Annahme berechtigt, daß die Voraussetzungen für eine aerogene Übertragung des MKS-Virus aus den Schlachthallen von Seuchenschlachthöfen gegeben sind. Daß solche Virusübertragungen unter besonders gelagerten Bedingungen vorkommen, soll anhand nachstehender zwei Beispiele gezeigt werden.

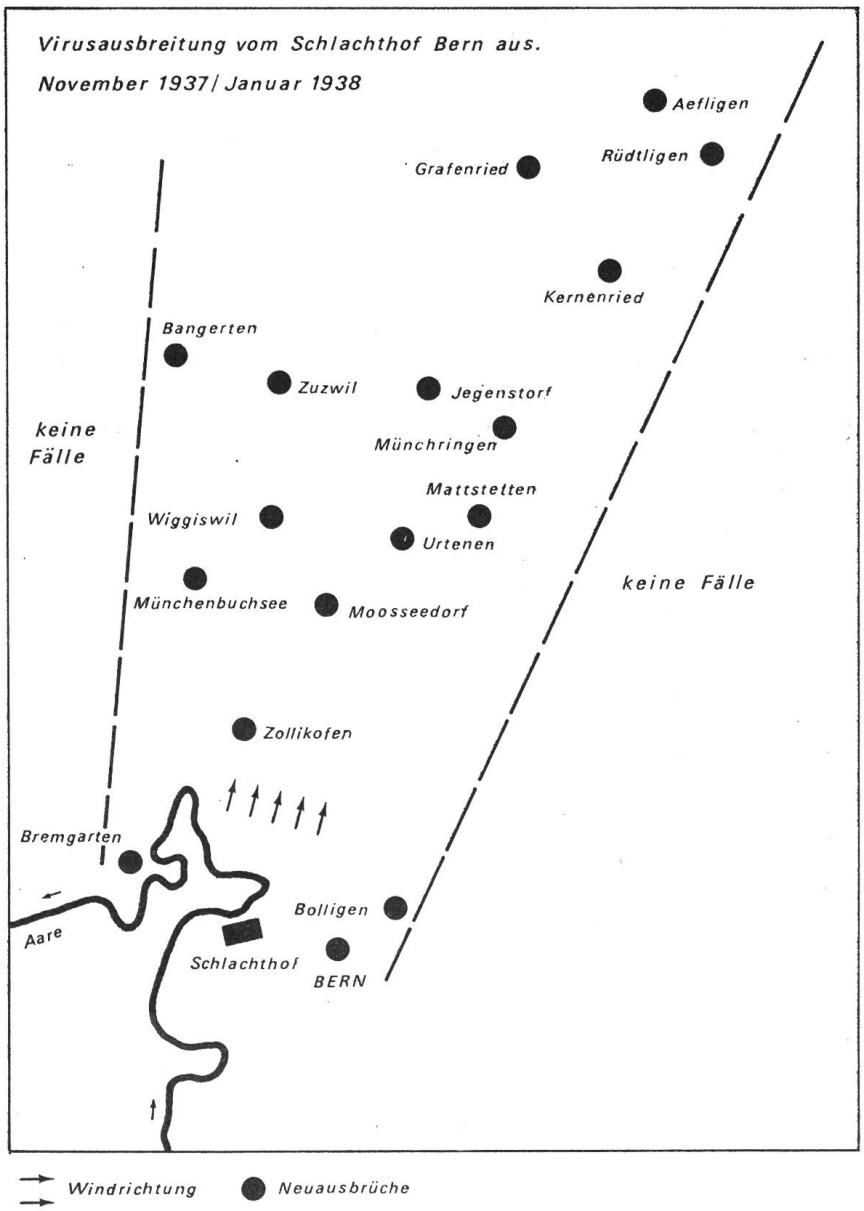
2. Kasuistik

Wenn wir im allgemeinen Teil auf die Zusammenhänge zwischen Seuchenschlachtungen in den Schlachthöfen St. Gallen, Zürich und Bern und Seuchenausbrüchen entlang der Flüsse Steinach, Limmat und Aare, hingewiesen

und nachzuweisen versucht haben daß die flußabwärts aufgetretenen Seuchenfälle nicht auf Infektionen durch kontaminiertes Flußwasser, sondern auf Aerosolübertragung des MKS-Virus zurückzuführen sind, soll diese These durch die nachfolgenden Beispiele erhärtet werden, da hier die Seuchenausbreitung nicht entlang von Flußläufen erfolgte, sondern in Gegenden, wo eine Abwasserübertragung nicht in Frage kommt.

a) Virusausbreitung aus dem Schlachthof Bern

Abb. 15



Obwohl uns Unterlagen über eine ganze Reihe von Zusammenhängen zwischen Seuchenschlachtungen im Schlachthof Bern und Seuchenfällen in der bisher seuchenfreien Umgebung zur Verfügung stehen, wollen wir uns auf die Darstellung eines typischen Falles beschränken.

Anfangs November 1937 nahm eine kleine Epizootie im bernischen Laufental ihren Anfang, die sich in der Folge der Birs entlang bis nach Basel ausdehnte (Abb. 4). Die verseuchten Viehbestände der Gemeinden Dittingen, Zwingen, Grelligen und Duggingen (32 Bestände mit 176 Stück Großvieh und 70 Schweinen) wurden zur Abschlachtung in den Schlachthof Bern überführt. Nach Ablauf der Inkubationszeit traten in der bisher seuchenfreien Umgebung des Schlachthofes die ersten MKS-Fälle auf, von wo sich ein eigentlicher Seuchenzug entwickelte, der die Amtsbezirke Bern (Gemeinden Bolligen, Bern, Zollikofen und Bremgarten), Burgdorf (Gemeinden Aefligen, Kernenried, Rüdtligen) und Fraubrunnen (Gemeinden Mattstetten, Urtenen, Bangerten, Jegenstorf, Münchringen, Münchenbuchsee, Moosseedorf, Grafenried, Wiggiswil, Zuzwil) ergriff (siehe Abb. 15). Im ganzen wurden 49 Viehbestände befallen. Gegen Ende Februar 1938 war die Epizootie erloschen. Zu bemerken ist, daß die ganze Schweiz mit Ausnahme des Kantons Genf während dieser Zeit seuchenfrei war. Retrospektive meteorologische Erhebungen ergaben, daß die Winde in diesem Zeitraum vorwiegend aus dem Sektor Süd wehten. Ähnliche Situationen ergaben sich auch in den Monaten Oktober 1938 und Dezember 1965, als nach der Abschlachtung infizierter Tiere im Schlachthof Bern gehäufte Fälle von MKS in den Amtsbezirken Bern, Burgdorf und Fraubrunnen auftraten. Da es sich aber in diesen beiden Fällen nicht wie 1937/38 um ein in sich geschlossenes Seuchengeschehen handelt, sondern um eine Seuchenausbreitung im Rahmen einer größeren Epizootie, ist es schwer, für die mit den Seuchenschlachtungen zusammenhängenden Ausbrüche die Aerosolübertragung gegenüber anderen Übertragungsfaktoren abzugrenzen. Immerhin ist darauf hinzuweisen, daß die territoriale Ausdehnung und Abgrenzung mit dem Seuchengeschehen vom Winter 1937/38 so weitgehend übereinstimmt, daß es nicht leicht fällt, nur von einem Zufall zu sprechen. Auch die grundsätzliche Übereinstimmung zwischen Windrichtung und Ausbreitungsrichtung des Seuchenzuges spricht eher für einen Zusammenhang dieser Ausbrüche mit den Seuchenschlachtungen in Bern.

b) Virusausbreitung vom Schlachthof Zürich aus

Im Monat November 1965 traten im Einzugsgebiet des Schlachthofes Zürich 14 sporadische MKS-Fälle auf, die laufend abgeschlachtet wurden. Nach der in der ersten Dezemberwoche erfolgten Seuchenexplosion in Lotzwil und der in der Folge eingetretenen Überlastung des Schlachthofes Bern wurden vom 5. Dezember an größere Transporte infizierter Tiere aus diesem Seuchengebiet und aus den Kantonen Aargau und Luzern nach Zürich überführt, so daß die dortigen Seuchenschlachtungen gegenüber dem Vormonat auf ungefähr das Zehnfache anstiegen.

Im Dezember 1965 herrschte im Raum Zürich eine ausgesprochene Westwind-Wetterlage mit mittleren Windstärken aus den Sektoren SW, WSW, W; an einzelnen Tagen wurden Spitzenwerte gemessen. Die relative Luftfeuchtigkeit war sehr hoch, an mehreren Tagen fielen Niederschläge.

Vom 11. Dezember 1965 bis zum 8. Januar 1966 traten in einem nordöstlich der Stadt Zürich liegenden Gebiet der Kantone Zürich und Thurgau in 20 Gemeinden 40 Neuausbrüche auf. Alle diese Gemeinden liegen in einem relativ schmalen, seitlich scharf begrenzten Geländestreifen, der sich aus der Gegend von Zürich gegen den Bodensee erstreckt (Tab. 3 und Abb. 16).

Tabelle 3 Meteorologische Verhältnisse im Raum Zürich, Schlachtungen im Schlachthof Zürich und Seuchenausbrüche in den Kantonen Zürich und Thurgau im Monat Dezember 1965

Datum	Windrichtung Windstärke	RLF	Schlachtungen	Seuchenausbrüche
1965				
5.12.	WSW 2 SW 2 WSW 4	86	9 Gr., 295 Schw.	
10.12.	SW 2 SW 3 WSW 2	89	55 Gr., 124 Schw.	
13.12.	WSW 3 WSW 3 WNW 2	80	64 Gr., 35 Schw.	
17.12.	NW 1 WSW 2 WSW 3	83	71 Gr., 189 Schw.	11.12. Zell ZH
25.12.	WSW 2 W 3 SW 2	68	39 Gr.	12.12. Zell ZH
1966				15.12. Hüttlingen TG
1. 1.	WSW 2 WSW 3 WSW 2	67	17 Gr.	15.12. Felben TG
2. 1.	SW 2 WSW 3 WSW 3	68	50 Gr., 31 Schw.	18.12. Buch TG
				18.12. Räterschen ZH
				19.12. Winterthur-Seen ZH
				19.12. Kloten, Geerlisberg ZH
				20.12. Wallisellen ZH
				20.12. Hagenbuch ZH
				28.12. Seuzach ZH
				29.12. Matzingen TG
				30.12. Niederwil TG
				1. 1. Märstetten TG
				2. 1. Märstetten TG
				3. 1. Winterthur-Hegi ZH
				5. 1. Braunau TG
				5. 1. Dübendorf ZH
				8. 1. Donzhausen TG
				ZH 10, TG 9
				Total 19 Fälle

Anmerkungen:

Windrichtung
Sektor, aus welchem der Wind weht; N = Norden, E = Osten, S = Süden, W = Westen

Windstärken (Richtwerte)

	Mittel	Böen
	km/h	
1 = leicht	5–10	15– 20
2 = mäßig	15–25	30– 50
3 = stark	30–40	60– 80
4 = stürmisch	45–60	90–110

(Täglich 3 Beobachtungen: 7.30, 13.30, 21.30 Uhr)
RLF = Relative Luftfeuchtigkeit in % (0 absolut trocken, 100% gesättigt)

Anmerkungen:
Schlachtzahlen nach Angabe der Schlachthofdirektion Zürich

Gr. = Großvieh
Schw. = Schweine

Anmerkungen:

a) Bei den aufgeführten Seuchenfällen handelt es sich um die *ersten* Fälle in einer bisher unverseuchten Gemeinde und nur um solche Fälle, bei denen keine Kontaktübertragung nachgewiesen oder mit plausiblen Gründen vermutet werden konnte.

b) Die Inkubationszeit betrug im Dezember 1965 in der Ostschweiz 6 bis 12 Tage.

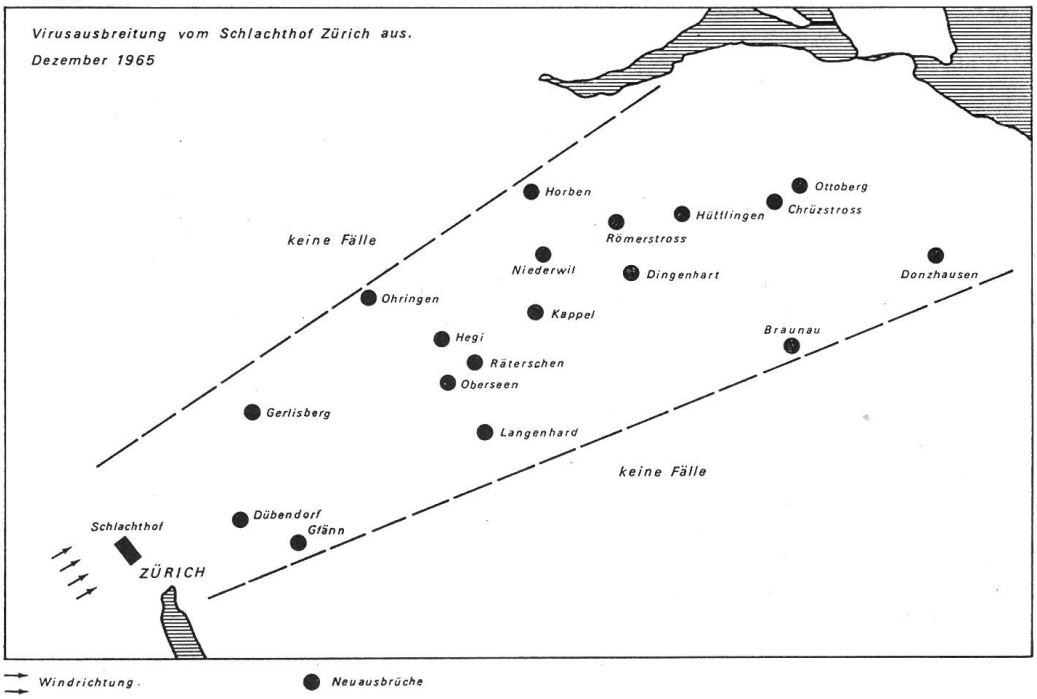
c) Nach Neujahr 1966 begann sich die seit Mitte Dezember 1965 durchgeführte allgemeine Schutzimpfung auszuwirken.

Es kann kaum ein Zweifel darüber bestehen, daß diese Seuchenfälle größtenteils mit der Abschlachtung infizierter Viehbestände im Schlachthof Zürich zusammenhängen und daß die Übertragung mit hoher Wahrscheinlichkeit durch vom Wind verfrachtete virushaltige Aerosole erfolgte.

Zusammenfassend kann hinsichtlich der Virusausbreitung aus Seuchenschlachthöfen festgestellt werden, daß sowohl auf Grund der neuesten Erkenntnisse der virologischen und meteorologischen Forschung (massive Virusausstreuung beim Entbluten infizierter Tiere in der virämischen Phase der Inkubation – Möglichkeit der Aerosolübertragung der MKS-Viren) als auch auf Grund von Praxisbeobachtungen damit gerechnet werden muß, daß

Seuchenschlachthöfe zu massiven Virusstreuherden und damit zu potentiellen Infektionsquellen für die Umgebung werden können. Die Größe der Gefahr hängt vom Infektiositätsgrad des Virusstammes und von der im Zeitpunkt der Seuchenschlachtungen herrschenden meteorologischen Konstellation ab.

Abb. 16



3. *Folgerungen*

Entsprechend unseren Vorschlägen zur Abklärung der Möglichkeit der Virusausbreitung durch Seuchenfahrzeuge erachten wir es als dringlich, durch möglichst praxisnahe Versuche abzuklären, ob sich im Luftraum von Schlachthallen während der Schlachtung MKS-infizierter Tiere virushaltige Aerosole nachweisen lassen, und im Falle von nachweisbarer Luftkontaminierung Mittel und Wege zu suchen, um den Austritt der kontaminierten Luft in die Umgebung zu verhindern. Unseres Erachtens wäre dies durch den Einbau wirksamer Filter in die Abluftkanäle der Ventilations- oder Entnebelungsanlage ohne erhebliche Aufwendungen möglich.

Nachträglich wurden wir von Herrn Dr. Th. Britschgi [17], Direktor des Schlachthofes Zürich, darauf aufmerksam gemacht, daß dort gegenwärtig die Frage geprüft wird, durch welche technischen Vorkehren die Abluft aus den Sanitätsschlachthallen des neuen Schlachthofes durch Wärmeeinwirkung (Verbrennen oder Erhitzen) unschädlich gemacht werden kann. Sollte sich ein technisch und finanziell gangbarer Weg finden, so müßte diese der Filtration zweifellos überlegene Methode unseres Erachtens auch in andern Seuchenschlachthöfen eingeführt werden.

C. Schlußbemerkungen

Es kann mit einem gewissen Recht eingewendet werden, wir hätten der aerogenen Virusausbreitung aus Seuchenfahrzeugen und Seuchenschlachthöfen eine zu große Bedeutung beigemessen, spielen doch beide im Rahmen der Epizootologie der MKS eine eher untergeordnete Rolle. Wenn wir diesen potentiellen Gefahrenquellen trotzdem besondere Beachtung schenkten, ließen wir uns durch drei Beweggründe leiten:

In erster Linie lassen sich die aerogenen Virusübertragungen aus Seuchenfahrzeugen und Seuchenschlachthöfen besonders gut beobachten und darstellen.

In zweiter Linie besteht die Möglichkeit, diese beiden allfälligen Infektionsquellen mit dem Einsatz relativ bescheidener Mittel auszuschalten.

In dritter und nicht letzter Linie ging es uns darum, durch die einläßliche Behandlung des Problems dazu beizutragen, daß nicht durch behördlich angeordnete Maßnahmen unbewußt Seuchenverschleppungen Vorschub geleistet wird.

Zusammenfassung

Eine vor über vier Jahrzehnten von B. Höhener (St. Gallen) aufgestellte Hypothese über die aerogene Übertragung von MKS-Virus wird mit den neuesten Erkenntnissen der meteorologischen und virologischen Forschung verglichen. Auf Grund dieser Konfrontation und durch zahlreiche Praxisbeobachtungen kommt der Verfasser zum Schluß, daß beim Vorliegen eines Virusstammes von sehr hoher Infektiosität und bei bestimmten meteorologischen Konstellationen die aerogene Übertragung des MKS-Virus über große Distanzen möglich ist und daß diesem Übertragungsmodus eine epizootologisch bedeutsame Rolle zukommen kann. Weiter wird die Frage geprüft, ob Seuchenfahrzeuge und Seuchenschlachthöfe zur aerogenen Ausbreitung des MKS-Virus beitragen können. Diese Möglichkeit wird bejaht, und es werden Vorschläge zur Ausschaltung dieser potentiellen Infektionsquellen gemacht.

Résumé

L'hypothèse émise par B. Höhener (St-Gall) il y a plus de 40 ans, selon laquelle le virus de la fièvre aphteuse peut être disséminé par l'air, a fait l'objet d'une étude comparative tenant compte des plus récentes acquisitions en météorologie et en virologie.

Par comparaison et en se fondant sur des observations pratiques, l'auteur arrive à la conclusion que la transmission du virus aphteux de souches virales très infectieuses et sous certaines conditions météorologiques est possible par voie aérienne sur de grandes distances. Ce mode de transmission joue un rôle épizootologique important. Par ailleurs, l'auteur analyse la possibilité d'une dissémination du virus aphteux par voie aérienne à partir de camions et d'abattoirs sanitaires. A cette question, il répond par l'affirmative et il fait des propositions en vue d'éliminer cette source potentielle d'infection.

Riassunto

Viene comparata una ipotesi elaborata da B. Höhener (St. Gallo) oltre 40 anni fa sulla diffusione aerogena del virus della febbre aftosa con le nuove conoscenze della ricerca metereologica e virologica. Sulla scorta di questo raffronto ed attraverso molte

osservazioni pratiche, l'autore giunge alla conclusione che alla presenza di un virus avente una forte infeziosità e di particolari situazioni meteorologiche, la diffusione aerogena del virus della febbre aftosa è possibile su grandi distanze, e che a questo modo di diffusione è legata una rilevante importanza epizootologica. Inoltre è ricercato se gli automezzi per il trasporto di bestiame aftoso ed i macelli in cui si macellano detti animali possono contribuire alla diffusione aerogena dell'infezione aftosa. Questa possibilità è ritenuta valida e sono fatte proposte per eliminare queste fonti potenziali di infezione.

Summary

A hypothesis brought forward more than 40 years ago by B. Höhener (St. Gall) on the aerogenous transmission of foot-and-mouth disease virus is compared with the latest findings in meteorological and virological research. On the basis of this comparison and through numerous observations in practice the author comes to the conclusion that, given a very highly infectious strain and under certain meteorological conditions, an aerogenous transmission of the foot-and-mouth virus is possible over great distances and that this method of infection can play an important epizootological role. The question is also considered whether transport vans and abattoirs used in foot-and-mouth outbreaks may contribute to the aerogenous spread of the virus. This possibility is affirmed and suggestions are made for eliminating this potential source of infection.

Literatur

[1] Hyslop N.St.G.: Secretion of foot-and-mouth disease virus and antibody in the saliva of infected and immunized cattle. J. Comp. Path. *75*, 111–117 (1965). – [2] Hyslop N.St.G.: Airborn infection with the virus of foot-and-mouth disease. J. Comp. Path. *75*, 119–126 (1965). – [3] Rolle M. und Mayr A.: Mikrobiologie und allgemeine Seuchenlehre. 3. Aufl. F. Enke Stuttgart 1966. – [4] Röhrer H.: Handbuch der Virusinfektionen bei Tieren. 2. Bd. G. Fischer Jena 1966. – [5] Höhener B.: Die Gefahr der Ausbreitung der Maul- und Klauenseuche durch infizierte Schlachttiere. Schweiz. Arch. Tierheilk. *67*, 539–549 (1925). – [6] Haas W.: Ein Beitrag zur Epizootologie, Prophylaxe und Bekämpfung der Maul- und Klauenseuche. Diss. Med. Vet. Zürich 1967. – [7] Report of the Committee of Inquiry on Foot-and-Mouth Disease 1968. Her Majesty's Stationary Office, London 1969. – [8] Waldmann O. und Nagel C.H.: Die Maul- und Klauenseuche. Im Handbuch der Viruskrankheiten von Doerr-Hallauer. 1. Bd. G. Fischer Jena 1939. – [9] Mayr A.: Grundlagen einer Ganzheitsbetrachtung von Viruserkrankungen. Monatsh. Tierheilk. *13*, 102–111 (1961). – [10] Korn G.: Experimentelle Untersuchungen zum Virusnachweis im Inkubationsstadium der Maul- und Klauenseuche und ihrer Pathogenese. Arch. exper. Vet. Med. *11*, 637–649 (1957). – [11] Eskildsen M.K.: Experimental pulmonary foot-and-mouth disease infection of cattle. Europ. Commission Control Foot-and-Mouth Dis.; Working Paper, Meeting Res. Group of Standing Techn. Committee, Lindholm (Denmark), Sept. 18–20, 1968. – [12] Norris K.P. and Harper G.J.: Wind-borne dispersal of foot-and-mouth disease virus. Nature (London) *225*, 98–99 (1970). – [13] Smith L.P. and Hugh-Jones M.E.: The weather factor in foot-and-mouth disease epidemics. Nature (London) *223*, 712–715 (1969). – [14] Thamm H.: Leitfaden zur Bekämpfung der Maul- und Klauenseuche. G. Fischer Jena 1965. – [15] Moosbrugger G.A.: Recherches expérimentales sur la fièvre aphteuse. Schweiz. Arch. Tierheilk. *90*, 176–198 (1948). – [16] Krapf W.: Anpassung eines Seuchenfahrzeuges an die heutigen Erkenntnisse der Maul- und Klauenseuche-Epizootologie. Schweiz. Arch. Tierheilk. *112*, 315–323 (1970). – [17] Britschgi Th.: Persönliche Mitteilung, 1971. – [18] Israël H.: Spurengase und Schwebstoffe in der Luft. Naturwiss. Rindersch. *20*, 329–336 (1967).

Adresse des Verfassers: Dr. med. vet. A. Bischofberger, Lehnstraße 39, 9014 St. Gallen W.