

# Mineralstoffe: Ein faszinierendes Mosaik

Jürg KESSLER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztier (RAP), CH-1725 Posieux

Die Mineralstoff-Forschung richtete sich lange Zeit ausschliesslich auf das Tier aus. Dessen Gesundheit und Leistungsfähigkeit sollte durch eine optimale Versorgung gesichert werden. Relativ spät wurde die Umwelt in die Arbeiten miteinbezogen. Neben dem Tier und der Umwelt muss die zukünftige Forschung auch den Konsumenten beziehungsweise den tierischen Produkten Beachtung schenken. Zudem gilt es, eine ausgewogene Nutzung der nicht erneuerbaren Mineralstoff-Ressourcen anzustreben.

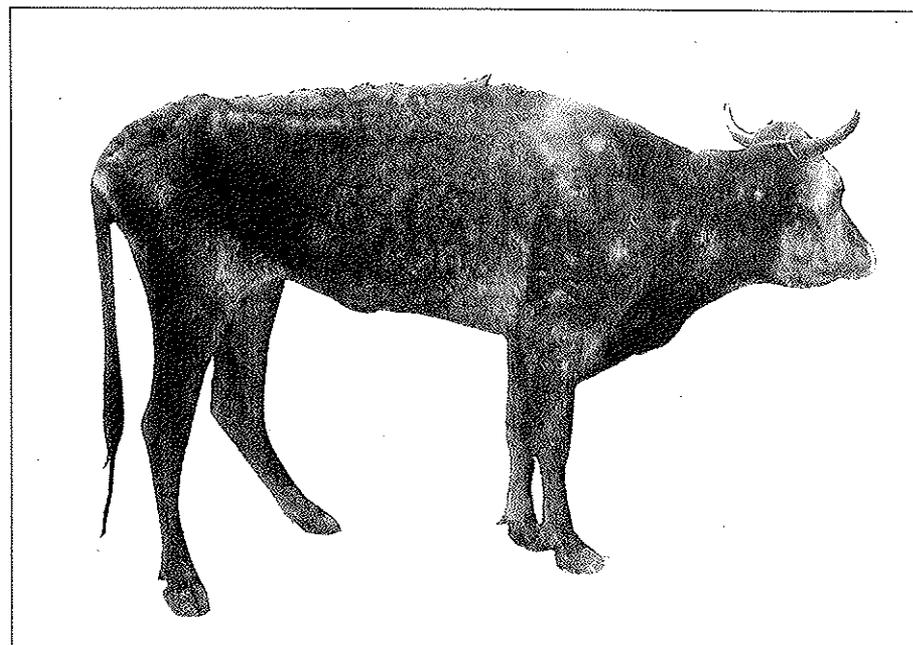


Abb. 1. Kuh mit mehrfachem Mineralstoffmangel (Paragon 1995).

Tab. 2. Geschichte der Mineralstoffe (nach Kirchgessner 1986; McDowell 1992)

Element	«Nachweis» Essentialität
Eisen, Iod, Kalzium, Natriumchlorid	17. bis 19. Jh.
Phosphor, Magnesium, Kupfer	1920 - 1930
Mangan, Zink, Kobalt	1930 - 1940
Molybdän, Selen, Chrom	1950 - 1960
Zinn, Vanadium, Fluor, Silizium, Nickel, Arsen	1970 - 1980
Blei ...	1981 ...

Die Geschichte der Mineralstoffe in der Tierernährung ist recht alt und dennoch relativ jung. So liegen bereits aus vorchristlicher Zeit Hinweise zum Salzeinsatz bei domestizierten Tieren vor (McDowell 1992). Aber erst Jahrhunderte später gelingt es allmählich, die auf reinen Beobachtungen basierenden Erkenntnisse wissenschaftlich zu erklären und zu präzisieren. Diese Entwicklung ist aber bei weitem nicht abgeschlossen, und nur annähernd werden die Konturen des faszinierenden Mosaiks, das die Mineralstoffe bilden, sichtbar. Diese Konturen aufzuzeigen und einige der von der RAP in den letzten Jahren bearbeiteten Mosaiksteine darzustellen, ist das Ziel der nachfolgenden Ausführungen. Das in Tabelle 1 aufgeführte Schema zur Entwicklung der Mineralstoff-Forschung in der Tierernährung aus heutiger Sicht soll dabei als Ausgangspunkt dienen.

## Ein Blick zurück

Die Geschichte der Mineralstoffe bis etwa Mitte 20. Jahrhundert kann unter dem Begriff Entdecken und Umschreiben zusammengefasst werden. Die meisten der für das Tier essentiellen und für die tägliche Fütterung wichtigen Mineralstoffe wurden zwischen 1850 und 1960 «entdeckt» (Tab. 2).

Obwohl der Nachweis der Lebensnotwendigkeit erbracht war, blieb die Frage nach dem quantitativen Bedarf von Wiederkäuer und Schwein für die Mehrheit der Men-

Tab. 1. Etappen der Mineralstoff-Forschung in der Tierernährung

	Etappen der Mineralstoff-Forschung		
	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft
<b>Allgemeine Charakteristik</b>	«Entdeckung» der klassischen Mineralstoffe; Umschreibung ihrer Bedeutung	Umsetzung und Erweiterung der Kenntnisse über die klassischen Mineralstoffe; Nachweis der Essentialität neuer Mineralstoffe	Erforschung der physiologischen Bedeutung neuer Mineralstoffe; Umsetzung und Präzisierung alter und neuer Kenntnisse
<b>Versorgungsstrategie</b>	Beobachtungsorientiert	Global, bedarfsorientiert	Spezifisch, funktions- und organbezogen
<b>Mineralstoffergänzung</b>	Weitgehend natürlich	Vorwiegend anorganische Verbindungen	An- und organische Verbindungen
<b>Forschungsdimension</b>	Tier	Tier, Umwelt	Tier, Umwelt, Konsument, Ressourcen

gen- und Spurenelemente lange Zeit unbeantwortet. Die Versorgung richtete sich deshalb primär auf die Verhinderung von sichtbaren Mangelsymptomen aus (Abb. 1). Geradezu fortschrittlich erscheinen in diesem Umfeld die Empfehlungen von Maerker aus dem Jahre 1902 zur Salzversorgung der Milchkuh. «... Endlich ist das Kochsalz das wichtigste Salz, nicht etwa, weil das Natron oder das Chlor jedes für sich besonders wichtige Aufgaben bei der Ernährung hätte, es wirkt vielmehr diätetisch besonders nützlich, reizt die Fresslust, erzeugt Wohlbehagen, belebt den Stoffwechsel, beschleunigt die Verdauung, erhöht den Eiweisszerfall... Es sollen gefüttert werden: auf das Haupt Grossvieh 50 g täglich...» Die heutigen Empfehlungen liegen zum Vergleich bei 30 bis 50 g Viehsalz je nach Leistung und Ration.

Die Anzahl Produkte, die zur Deckung eines möglichen Mineralstoffmangels beim Wiederkäuer und Schwein eingesetzt werden konnten, war begrenzt und beschränkte sich auf natürliche Quellen. Zu nennen sind Futterkreide und gemahlener Kalkstein als Kalziumquellen. Zur Deckung des Phosphorbedarfes wurden lange Zeit ausschliesslich aus Knochen hergestellte Produkte wie Futterknochen-schrote (entfettete Knochen) und Knochenfuttermehl (entfettete und entleimte Knochen) verwendet. Aufbereitet wurden die Knochen unter anderem auch in «Knochenstampfen» (Abb. 2). Deren Produkte wurden in der Fütterung und als Dünger eingesetzt. Dem Salz-mangel begegnete man durch die Verfütterung von Koch-



Abb. 2. Produkt der «Knochenstampfen».

Tab. 3. Einfluss des P-Gehaltes der Ration auf Mastleistung und Knochenmineralisierung beim Mastschwein im Gewichtsbereich 25 bis 104 kg Lebendgewicht (Kessler und Stoll 1982)

	Ration A	B	C	D	S <sub>x</sub>
P-Gehalt Ration in g					
- Jagerphase	6	5	5	4	
- Ausmastphase	5	5	4	4	
Anzahl Tiere	12	12	12	12	
Tageszuwachs in g	746	754	748	746	8
Futtlerverwertung <sup>1</sup>	2,59	2,56	2,60	2,58	0,03

Knochenmineralisierung und Knochenbruchfestigkeit: keine gesicherten Unterschiede

<sup>1</sup> kg Futter je kg Zuwachs

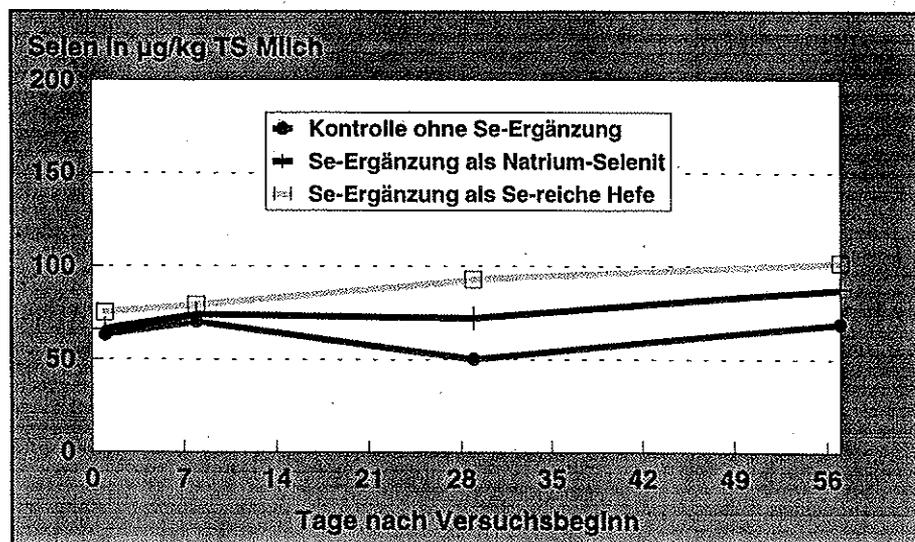


Abb. 3. Selenkonzentration der Milch in Abhängigkeit von der Selenquelle.

oder Viehsalz. Neben diesen Mineralstoffen wurden, wie die Ausführungen von Kellner aus dem Jahr 1912 zeigen, auch bereits um die Jahrhundertwende verschiedene Wundermittel angeboten. «...Man sehe sich die angebotenen Pülverchen doch einmal an. Lauter längst bekannte Dinge! Viehsalz bis zu 50 %, Glaubersalz, doppelkohlen-saures Natron, Kohle, gestossener Schwefel, Knochenasche, Grauspiessglanzert. Damit diese Sachen nach der Apotheke riechen oder schmecken, werden sie mit dem Kehrriech und Abfällen von Drogen, mit etwas Fenchel, Anis, Bockshornklee, Wacholderbeeren, Enzianwurzel, Johannisbrot, Süssholz usw. vermischt, je nachdem gerade Vorrat an dem einen oder anderen Stoffe da ist. Zeugnisse über die günstige Wirkung fehlen selbstverständlich nicht. Aber was von solchen Zeugnissen zu halten ist, das weiss man ja. Um zudringliche Hausierer los zu werden, kauft mancher ein Päckchen, und um Ruhe zu haben, unterschreibt er auch das nächste Mal...»

Die Mineralstoff-Forschung der Vergangenheit beschränkte sich ausschliesslich auf das Tier. Seine Gesundheit sollte bewahrt und wenn notwendig, verbessert werden. Über das Tier hinausgehende Überlegungen wurden in dieser Zeit kaum angestellt.

### Zur Gegenwart

Obwohl in den Jahren 1970 bis 1981 die Essentialität weiterer Elemente wie Vanadium, Nickel, Arsen und Blei (Kirchgessner 1986) nachgewiesen werden konnte, liegt der Schwerpunkt der gegenwärtigen Mineralstoff-Forschung auf der Umsetzung und Erweiterung des Wissens über die klassischen Mineralstoffe. Die Bedarfsdeckung zielt nicht mehr ausschliesslich auf die Verhinderung von sichtbaren Mangelsymptomen ab, sondern es geht vielmehr darum, die volle Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere durch eine optimale Deckung des Erhaltungs- und Produktionsbedarfes zu gewährleisten. Wichtige Forschungsschwerpunkte an der RAP waren in diesem Zusammenhang unter anderem die korrekte Deckung des Selenbedarfes des Wiederkäuers (Kessler et al. 1986; Kessler et al. 1991; Kessler 1992) und des Phosphor(P)-Bedarfes des Schweines. Beim Mastschwein wurde beispielsweise die heute erneut aktuelle Frage nach der Deckung des P-Bedarfes aus Rationen ohne tierische P-Quellen untersucht. Die Versuchsergebnisse zeigten (Kessler und Stoll 1982, Tab. 3), dass auch bei Rationen mit einem hohen Anteil an pflanzlichem Phosphor (sogenannter Phytin-P) ein P-Angebot von 4 g pro kg Futter den Bedarf

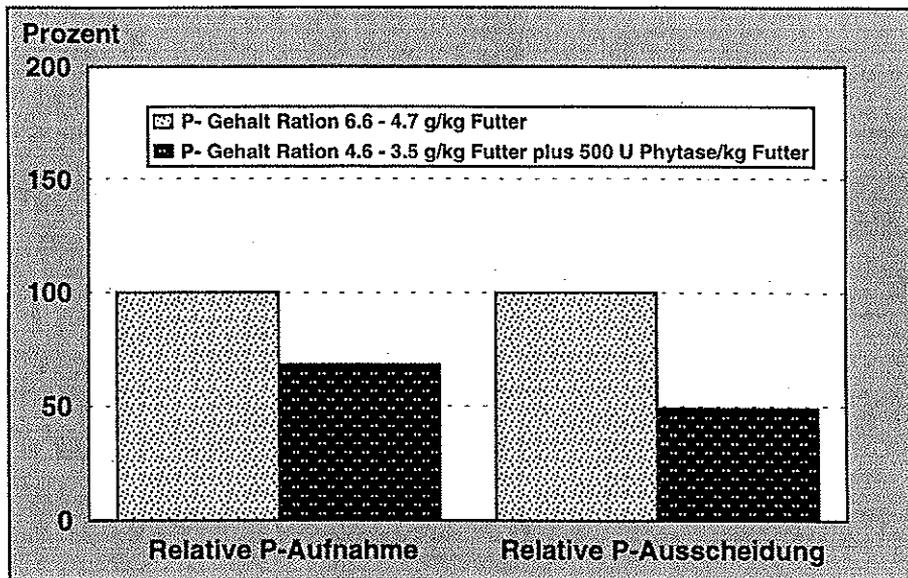


Abb. 4. P-Bilanz bei einer Reduktion des P-Gehaltes der Ration und Einsatz von Phytase (Kessler und Egli 1991).

des Mastschweines bei einem Energiegehalt der Ration von 14 MJ VES\* deckt. Die verschiedenen zum Thema des P-Bedarfes des Mastschweines durchgeführten Versuche erlaubten es, zusammen mit Ergebnissen aus der Literatur, den P-Bedarf beziehungsweise das daraus abgeleitete empfohlene P-Angebot für das Mastschwein zu tabellieren (Boltshauser *et al.* 1993).

Waren die potentiellen Mineralstoffquellen in der Vergangenheit relativ rar, so erweiterte sich die Liste der möglichen Produkte nach den fünfziger Jahren kontinuierlich. Damit stellte sich auch vermehrt die Frage nach der Verwertung der verschiedenen Quellen durch das Tier. Beim Wiederkäuer galt das Interesse der RAP unter anderem den verschiedenen Magnesium- und Selen(Se)-Quellen (Kessler 1988; Kessler und Zogg 1993; Kessler und Lanz 1995). Wie beim Modelltier laktierende Ziege durchgeführte Versuche zeig-

ten, gibt es keine wesentlichen Unterschiede zwischen den am häufigsten verwendeten Se-Quellen Natrium-Selenit und Se-reiche Hefen gemessen an der Se-Konzentration im Blut und der Aktivität des Se-haltigen Enzyms Glutathion-Peroxidase in den Erythrozyten, wichtigste Beurteilungsgrößen der Se-Versorgung. Demgegenüber ist die Se-Konzentration der Milch bei der Verfütterung von Se-reichen Hefen im Vergleich zu Natrium-Selenit höher (Abb. 3), was auf eine unterschiedliche intermediäre Verwertung der beiden Se-Quellen schliessen lässt. Beim Schwein konzentrierten sich die Untersuchungen zur Mineralstoffverwertung auf den Phosphor. In einem Versuch mit verschiedenen P-Quellen (Dikalziumphosphat und Mehrfachphosphat) konnte gezeigt werden, dass bei einer P-Versorgung von 4 g je kg Futter die chemische Form der zugesetzten P-Quelle für das Mastschwein nicht von wesentlicher Bedeutung ist (Kessler und Stoll 1986).

Während langer Zeit beschränkte sich die

Mineralstoff-Forschung ausschliesslich auf das Tier. Erst in den siebziger Jahren dieses Jahrhunderts interessierte man sich auch für die Auswirkungen der Verfütterung von Mineralstoffen auf die Umwelt und die Möglichkeiten, die Umweltbelastung zu reduzieren. Dies gilt auch für die Arbeiten der RAP. Innerhalb der verschiedenen Möglichkeiten, um die P-Ausscheidung über Kot und Harn beim Mastschwein zu vermindern, wurde in einem Praxisversuch der Einfluss einer Reduktion des P-Gehaltes der Ration um durchschnittlich 32 % bei gleichzeitigem Einsatz des Enzyms Phytase auf Leistung, Skelettmineralisierung und P-Ausscheidung studiert. Die Ergebnisse unterstreichen, dass über diesen Weg die P-Ausscheidung über Kot und Harn um rund 50 % reduziert werden kann, ohne Leistung und Skelettmineralisierung der Tiere negativ zu beeinflussen (Abb. 4, Kessler und Egli 1992).

## Schritt in die Zukunft

Die Zukunft, in welcher wir bereits mit einem Fuss stehen, wird bei der Mineralstoff-Forschung keine eindeutige Trennung in Phasen des Entdeckens im weitesten Sinne, Umsetzens und Präzisierens mehr kennen. Die einzelnen Schritte werden im wesentlichen gleichzeitig ablaufen. Welche Mineralstoffe dabei in Zukunft an Bedeutung zunehmen werden, ist schwer abzuschätzen. Sind es bekannte Elemente wie Selen, Iod, Chrom oder neuere Elemente wie Nickel, Vanadium oder Rubidium?

Fest steht, dass sich das Mineralstoffangebot zusätzlich zur globalen Deckung des Erhaltungs- und Produktionsbedarfes je länger je mehr auf eine spezifische, organ- und funktionenbezogene Versorgung ausrichten wird. Das heisst, gewisse Organe und Funktionen sollen gezielt angesprochen werden. Bei den Organen sind unter anderem die Milchdrüse, die Geschlechtsorgane, die Klauen und die Muskulatur anzuführen. Bei den Funktionen sind die Immunität und die Stressabschirmung mögliche Beispiele. In Zusammenarbeit mit anderen Instituten soll dieses Thema in zukünftigen Versuchen der RAP vertieft werden. Gleichzeitig gilt es, die Möglichkeiten zur *in vivo*-Beurteilung der Mineralstoffversorgung von Schwein und Rind, besonders auf Ebene Praxis, zu erweitern und zu verfeinern. Eine Arbeit, an der sich auch die RAP in den nächsten Jahren beteiligen wird.

\* VES: Verdauliche Energie Schwein

Tab. 4. Zn-Konzentration in Leber und Knochen von Ferkeln in Abhängigkeit von der Zn-Quelle (Kessler *et al.* 1996)

Zn-Konzentration	Ferkelration mit			
	keiner Zn-Ergänzung	ZnO	Zn-Proteinat	Zn-Polysaccharid-Komplex
<b>Leber in mg/kg TS</b>				
- Versuch 1 <sup>1</sup>	81 ± 9	96 ± 9	99 ± 13	135 ± 17
- Versuch 2 <sup>1</sup>	65 ± 12	88 ± 3	93 ± 7	101 ± 4
<b>Tibia in mg/kg TS</b>				
- Versuch 1	44 ± 7	89 ± 2	98 ± 6	115 ± 13
- Versuch 2	52 ± 9	79 ± 2	88 ± 7	101 ± 4

<sup>1</sup> Anzahl Proben pro Verfahren: 3

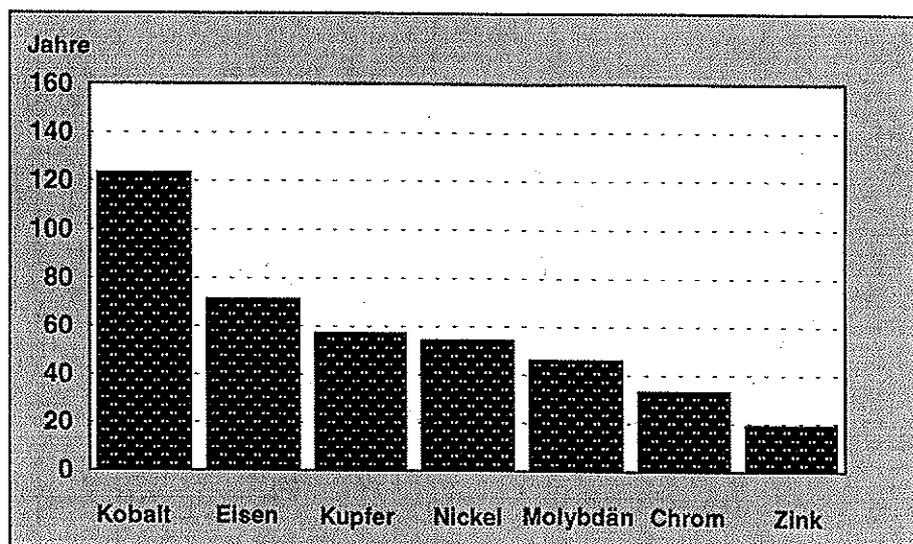


Abb. 5. Welt-Metallreserven (Kübler 1995).

Die stark organ- und funktionenbezogene Mineralstoffversorgung wird auch die zukünftige Liste der Mineralstoffquellen deutlich beeinflussen. So werden besonders bei den Spurenelementen die bekannten, anorganischen Mineralstoff-Verbindungen wie Carbonate, Chloride, Oxide und Sulfate teilweise an Bedeutung einbüßen. Organische Verbindungen (Kessler 1995) werden in ausgewählten Bereichen an ihre Stelle treten. Dass diese Verbindungen unter bestimmten Voraussetzungen gewisse Zielorgane besser erreichen, zeigen auch erste Versuche der RAP beim Ferkel (Kessler *et al.* 1996, Tab. 4). Versuche mit weiteren Spurenelementen und chemischen Verbindungen bei verschiedenen Tierkategorien und Futterrationen sollen die bisherigen Arbeiten ergänzen.

Richtete sich die Mineralstoff-Forschung in ihren Anfängen ausschliesslich auf das Tier aus und schloss sie später auch die Umwelt ein, so dürften in Zukunft vermehrt auch die Konsumenten beziehungsweise die tierischen Produkte wie essbare Gewebe und Milch in die Überlegungen miteinbezogen werden. Im weiteren gilt es, sich aber auch in Zukunft vermehrt Gedanken über eine prioritätenorientierte Nutzung der nicht erneuerbaren Mineralstoff-Ressourcen anzustellen. So reichen nach Schätzungen von Kübler (1995) die Weltreserven an Eisen, Kupfer, Chrom und Zink, basierend auf dem Verbrauch von 1993, keine 100 Jahre mehr aus. Vernachlässigt wurde dabei das Recycling sowie mögliche Substitutionsprodukte auf Ebene Industrie (Abb. 5). Welcher Anteil wird wohl für die Tierernährung in Zukunft zur Verfügung stehen?

Eine zukünftig vermehrt zu stellende Frage dürfte auch diejenige nach den Grenzen der Umsetzbarkeit von Forschungsergebnissen in die tägliche Fütterungspraxis sein. Zahlreich sind die Versuche, die die positive Wirkung einzelner Mineralstoffe auf den tierischen Organismus und gewisse Funktionen aufzeigen. Sollen all die möglichen Vorteile bis zum letzten ausgeschöpft werden? Wo liegen die Grenzen? Wäre es nicht denkbar, dass wir uns damit teilweise neue Probleme schaffen statt Probleme lösen. Die Ergebnisse beispielsweise, dass sich durch eine erhöhte Zufuhr an diesem oder jenem Mineralstoff die Fruchtbarkeit von Rind und Schwein verbessern lässt, sind zahlreich. Doch nur selten wird die Frage nach den Auswirkungen auf andere Organe und Funktionen sowie nach möglichen Interaktionen mit anderen Nähr- und Mineralstoffen gestellt. Fragen, die bei der Umsetzung von isoliert gewonnenen Ergebnissen in die Praxis von grosser Bedeutung sind. Eine Zukunftsaufgabe der Mineralstoff-Forschung muss es sein, ihre Resultate wiederum vermehrt ganzheitlich zu betrachten und die notwendigen Gewichtungen vorzunehmen. Dies stellt auch für die RAP eine grosse Herausforderung dar.

#### RÉSUMÉ

#### Retrospective et perspective sur la recherche des minéraux en Suisse

Dans le but de garantir l'aptitude à la production et la pleine santé des animaux, dans le passé la RAP a mis un accent important de sa recherche sur la couverture optimale des besoins en

minéraux. Ce sont le sélénium pour les ruminants et le phosphore pour le porc qui ont pris une des places primordiales. La RAP s'est également penchée sur la mise en valeur des divers composés minéraux. De plus, la question concernant les mesures possibles de réduction de la charge environnementale pour divers éléments et les moyens relatifs a été étudiée.

Dans l'avenir, la recherche sur les minéraux se consacrera de manière renforcée à l'approvisionnement spécifique de certains organes ou certaines fonctions. C'est ainsi qu'on attribuera aussi à la RAP une grande importance à l'élargissement et à l'approfondissement des connaissances sur les différents composés organiques. Il s'agit également de se préoccuper de questions délicates comme des effets de l'approvisionnement en minéraux sur les tissus consommés et sur le lait. Il faudra aussi aborder le problème de l'utilisation raisonnée des ressources non renouvelables de minéraux. Enfin, une autre tâche future consistera à voir les résultats de la recherche d'une manière plus globale.

#### SUMMARY

#### Retrospect and perspectives in mineral research in Switzerland

In the past research activities, the optimum matching of maintenance and production requirements, a prerequisite for completely healthy and fully performing animals, constituted a major field of interest. Emphasis was given to selenium in ruminants and phosphorus in pigs, including the aspect of the conversion of various mineral compounds and sources. In addition to requirement related questions, the extent of and the possibilities to reduce environmental pollution with minerals was a further subject of investigation.

The future mineral research will, besides the global satisfaction of requirements, increasingly turn to a specific organ and function oriented mineral supply. As a consequence, greater significance will be attached to a deepened knowledge of organic mineral compounds. On the other hand, it will be essential to examine the effects of mineral nutrition on edible tissues and milk as well as on the environment. Likewise, the problem of an economical use of the non-renewable mineral resources has to be faced. A further task consists in a more and more global approach of research results.

**KEY WORDS:** mineral research, retrospect, perspectives, Switzerland

#### LITERATUR

Das Literaturverzeichnis kann beim Autor angefordert werden.