



Patricia Leberl (Autor)

**Einfluss verschiedener Faktoren der Stickstoffversorgung auf den Stickstoff- und Energieumsatz sowie die Methanproduktion beim Wiederkäuer**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/958>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

### 2.1 Literaturübersicht

#### 2.1.1 Die Mikrobenpopulation im Pansen

Das Vormagensystem der Wiederkäuer bietet opportune anaerobe Umweltbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit und pH-Wert) für die Besiedlung durch ein breites Spektrum an Mikroorganismen (JEROCH ET AL., 2008), welches sich aus Bakterien, Protozoen, Archaea, Pilzen einschließlich Hefen und Bakteriophagen zusammensetzt (MACKIE ET AL., 2002).

Die Fermentation der Mikroben stellt im Ökosystem des Pansens bei kontinuierlicher Zufuhr von Substraten die Umwandlung der pflanzlichen Nährstoffe in für den Wiederkäuer nutzbare Stoffwechselprodukte sicher. Je nach Art der Pflanzensubstrate bilden sich charakteristische Populationen innerhalb der jeweiligen Mikrobiota heraus, die mit ihren Nährstoffansprüchen hinsichtlich Energie- und N-Versorgung im Folgenden charakterisiert werden sollen.

##### 2.1.1.1 Bakterien

Über 200 verschiedene Bakterienspezies besiedeln den Pansen, wobei nur ungefähr 30 in einer Konzentration von  $>10^7$ /ml vorkommen (CZERKAWSKI, 1986; BALDWIN UND ALLISON, 1983). Die bakteriellen Gesamtkeimzahlen sind weit höher als die der Protozoen und Pilze (DEHORITY, 2003) und können bis zu  $10^{11}$  Zellen/ml betragen (HUNGATE, 1966).

Die Differenzierung der Pansenbakterien kann anhand verschiedener Kriterien erfolgen. Eine Möglichkeit ist die Reaktion der Anfärbbarkeit in grampositive und gramnegative Spezies. Letztere sind besonders zahlreich bei hohen Raufutteranteilen in der Ration, während grampositive, die in der Regel zwischen 5 und 30 % der Gesamtzahl betragen (HUNGATE, 1966) durch kraftfutterbetonte Rationen gefördert werden (LING, 1990).

CHENG UND COSTERTON (1980) unterscheiden die Bakterien nach ihrer Lokalisation in frei im Pansensaft vorkommende oder an die Pansenwand bzw. an Digestapartikel angeheftete, welche bis zu 75 % des Gesamtanteils ausmachen können (ØRSKOV UND RYLE, 1990). Insbesondere die cellulolytische Flora ist eng mit den Futterpartikeln über extrazelluläre Glykokalyxstrukturen verbunden (CHENG UND COSTERTON, 1980)

In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Einteilung der Bakterien vorrangig unter dem Aspekt ihrer Fermentationscharakteristika (siehe Tab. 1), da die relative Anzahl der einzelnen Spezies stark durch die zur Verfügung stehenden Substrate beeinflusst wird (ØRSKOV UND RYLE, 1990).

## Kapitel 2

Tabelle 1: Differenzierung der Bakterien hinsichtlich ihrer enzymatischen Ausstattung

cellulolytisch <sup>a</sup>	hemicellulo- lytisch <sup>a</sup>	pectinolytisch <sup>a</sup>	amylolytisch und dextrinolytisch <sup>a</sup>	saccharolytisch <sup>b</sup>
<b>F. succinogenes</b>	<b>But. fibrisolvans</b>	<b>But. fibrisolvans</b>	<b>S. bovis</b>	<b>P. ruminicola</b>
<b>R. albus</b>	<b>P. ruminicola</b>	<b>P. ruminicola</b>	<b>R. amylophilus</b>	<b>But. fibrisolvans</b>
<b>R. flavefaciens</b>	<b>R. flavefaciens</b>	<b>L. multiparus</b>	<b>Succ. amylolytica</b>	<b>M. elsdenii</b>
But. fibrisolvans	<b>R. albus</b>		<b>Sel. ruminantium</b>	<b>Sel. ruminantium</b>
E. cellulosolvans Clostridium sp.	Eubacterium sp.	Peptostreptococcus	Succ. dextrinosolvans	

<sup>a</sup> nach DEHORITY, 2003; <sup>b</sup> nach BALDWIN UND ALLISON, 1983 Fettdruck kennzeichnet die jeweiligen Hauptspezies

### 2.1.1.1 Nährstoffversorgung der Bakterien

#### Energieversorgung

Der Energiebedarf der Bakterien wird in erster Linie durch die Fermentation von Kohlenhydraten (CHO), Polyalkoholen und organischen Säuren gedeckt (GIESECKE, 1973), wobei die einzelnen Spezies aus dem gesamten Spektrum meist nur wenige Substrate nutzen können (siehe Tabelle 2) und daraus die Besetzung einer charakteristischen ökologischen Nische durch verschiedene Substrattypen resultiert.

So sind die cellulolytischen Spezies *F. succinogenes* und *R. flavefaciens* beispielsweise in der Lage, kristalline Cellulose abzubauen, während *R. albus* und einige Stämme *But. fibrisolvans* lediglich die leichter angreifbare amorphe Cellulose abbauen können (PETTIPHER UND LATHAM, 1979AB; BRYANT, 1973; HALLIWELL UND BRYANT, 1963; PRINS, 1977). Als weitere CHO-Quellen dienen den Cellulolyten Oligo- Tri- und Disaccharide aus dem Celluloseabbau, nicht jedoch Monosaccharide (BALDWIN UND ALLISON 1983) mit Ausnahme von *But. fibrisolvans* und teilweise *F. succinogenes* (HUNGATE, 1966).

Die cellulolytischen Stämme vermögen ebenfalls Hemicellulosen abzubauen, einige Stämme *F. succinogenes* und *R. flavefaciens* sind jedoch nicht in der Lage das Hydrolyseprodukt Xylan zu nutzen (DEHORITY, 1973; DEHORITY UND SCOTT, 1967), dagegen können viele Nichtcellulolyten Xylan fermentieren (COEN UND DEHORITY, 1970). Nach DEHORITY UND GRUBB (1976) sowie HENNING (1979) sind 60 % der kulturfähigen Bakterien im Pansen befähigt, auf Xylan als alleiniger CHO-Quelle zu wachsen.

Stärke kann innerhalb der Cellulolyten nur von *B. fibrisolvans* und einzelnen Stämmen *F. succinogenes* verdaut werden (RUSSELL, 1984), während für viele Bakterien, die Stärke hydrolysieren, wiederum Cellulose nicht als Substrat in Frage kommt (ØRSKOV UND RYLE, 1990).

## Kapitel 2

Alle Hauptamyolyten (siehe Tab. 2) fermentieren Stärke, ausgenommen einige Stämme von *Sel. ruminantium* (BRYANT, 1963). Als Besonderheit unter den Amyolyten vermag *Sel. ruminantium* auf Cellulose als alleiniger Energiequelle zu wachsen, obwohl es keine cellulolytische Enzymausstattung aufweist (SCHEIFINGER UND WOLIN, 1973). Neben einem außergewöhnlich breiten Substratspektrum zeigt *Sel. ruminantium* auch Substratpräferenzen, indem Stamm HD4 Maltose, Cellobiose oder Lactat nicht nutzt, solange Glucose, Xylose oder Saccharose verfügbar sind (PRINS UND CLARKE, 1980).

Tab. 2: Energiequellen der Pansenbakterien (modifiziert nach RUSSELL (1984) und WEIMER, (1996))

	<i>Fibrobacter succinogenes</i>	<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	<i>Ruminococcus albus</i>	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	<i>Prevotella ruminicola</i>	<i>Ruminobacter amylophilus</i>	<i>Selenomonas ruminantium</i>	<i>Streptococcus bovis</i>	<i>Succinimonas amyolytica</i>	<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>	<i>Eubacterium ruminantium</i>	<i>Megasphaera elsdenii</i>	<i>Lachnospira multipara</i>	<i>Anaerovibrio lipolytica</i>
<b>Poly-/</b>														
<b>Oligosaccharide</b>														
Cellulose	+	+	+	+			+							
Stärke	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Pentosane	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-
Xylan	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Pectin	-	-	-	+	+	-		-		+	-	-	+	
Dextrin	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
<b>Disaccharide</b>														
Cellobiose	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-
Maltose	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Saccharose	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-
<b>Monosaccharide</b>														
Glucose	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-
Fructose	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+
Galactose	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-
<b>Organische Säuren</b>														
Lactat				-	-		+	-	-		-	+		-
Succinat							+							
<b>Lipide</b>														
Glycerol	-	-	-		-	-	+	-	-	-	-	+	-	+

+ Majorität der Stämme nutzt dieses Substrat

- Majorität der Stämme kann dieses Substrat nicht nutzen

## Kapitel 2

---

Auch die Stärkeabbauprodukte Dextrin und Maltose werden von den Amyolyten fermentiert, Mono- und Disaccharide können jedoch lediglich *Sel. ruminantium* und *S. bovis* zur Energiegewinnung heranziehen (HUNGATE, 1966).

Pectin als alleinige Energiequelle dient den Stämmen von *P. ruminicola*, *B. fibrisolvens* und *L. multiparus* (DEHORITY, 1969), darüber hinaus kann Pectin auch von Stämmen von *Succ. dextrinosolvens*, *Peptostreptococcus* und Spirochaeten zur Energiegewinnung herangezogen werden (ZIOLECKI, 1979; ZIOLECKI UND WOJCIECHOWICZ, 1980), während die Ruminococci und *S. bovis* zwar Pectinasen besitzen, jedoch nicht in der Lage sind, die daraus resultierenden Fermentationsprodukte in Form von Uronsäuren zu fermentieren (GRADEL UND DEHORITY, 1972; MORRIS UND VAN GYLSWYK, 1980).

Die saccharolytischen Spezies nutzen Mono- und Disaccharide zur Energiegewinnung, davon ausgenommen sind Cellobiose und Galactose bei *M. elsdenii*, welches zusätzlich auf Lactat und Glycerol wachsen kann (HUNGATE, 1966).

### **N-Versorgung**

Die N-Versorgung der Pansenbakterien ist komplex, die Haupt-N-Quellen stammen zumeist aus dem Futterprotein, welches in mehreren Stufen unter Involvement vieler verschiedener mikrobieller Proteasen über Peptide und AS schließlich zu Ammoniak abgebaut wird (WALLACE ET AL., 1997).

Auch Nichtproteinstickstoff (NPN)-Verbindungen wie Amide, Amine, AS und Nitrat, sowie Harnstoff oder Ammoniumsalze, teils aus dem Futter, teils aus endogenen Herkünften werden fermentiert (LENG UND NOLAN, 1984; SCHWAB ET AL., 2005; ERFLE ET AL., 1977).

Aus der Beteiligung einer Vielzahl verschiedener Bakterienspezies an der Bereitstellung der N-Quellen resultieren unterschiedliche Ansprüche an die N-Versorgung, da nicht alle Bakterien dasselbe N-Nutzungsmuster aufweisen (siehe Tab. 3).

### Abbau und Nutzung von Protein

Im Gegensatz zur Differenzierung der Bakterien hinsichtlich ihrer Enzymausstattung für die CHO-Fermentation kann dieses Schema für Proteolyten nicht angewendet werden, da keine Bakteriengruppe die proteolytische Nische im Pansen obligat für sich beansprucht. Nach Untersuchungen von COTTA UND HESPELL (1984) und WALLACE (1996) weisen 40 % und mehr der isolierten Spezies proteolytische Aktivität auf. Zu ihnen zählen *Prevotella* spp., *R. amylophilus*, *Sel. ruminantium*, *But. fibrisolvens*, *S. bovis* (WALLACE UND BRAMMAL, 1985; WALLACE ET AL., 1997), wobei *P. ruminicola* und *But. fibrisolvens* als dominierend von

## Kapitel 2

ATTWOOD UND REILLY (1995) und WALLACE ET AL. (1997) angeführt werden. Beide können gleichzeitig auch mit Protein als alleiniger N-Quelle überleben (HAZLEWOOD UND NUGENT, 1978; COTTA UND HESPELL, 1986). Auch *S. bovis* ist in der Lage auf Casein zu wachsen (RUSSELL ET AL., 1981).

Der bakterielle Beitrag zum Proteinabbau besitzt einen höheren Stellenwert im Vergleich zu Protozoen und Pilzen (SCHWAB ET AL., 2005). Von BROCK ET AL. (1982) wird die bakterielle Proteaseaktivität 6-10 fach höher als die protozoale eingestuft.

Tabelle 3: N-Versorgung der Pansenbakterien, modifiziert nach RUSSELL (1984)

	<i>Fibrobacter succinogenes</i>	<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	<i>Ruminococcus albus</i>	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	<i>Prevotella ruminicola</i>	<i>Ruminobacter amylophilus</i>	<i>Selenomonas ruminantium</i>	<i>Streptococcus bovis</i>	<i>Succinomonas amylolytica</i>	<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>	<i>Eubacterium ruminantium</i>	<i>Megasphaera elsdenii</i>	<i>Lachnospira multipara</i>	<i>Clostridium aminophilum</i>
Proteinabbau	-	-	-	+	+	+	+	+		?	+	-	+	+
Proteinnutzung	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Peptidabbau	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-
Peptidnutzung	+	-	-	-	±	-	-	+	-	-	-	-	+	+
AS-Abbau	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+
AS-Nutzung	±	+	+	+	±	-	+	+	-	+	+	+	+	+
NH <sub>3</sub> -Nutzung	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+		+	-

+ Majorität der Stämme nutzt dieses Substrat                      – Majorität der Stämme kann dieses Substrat nicht nutzen

### Abbau und Nutzung von Peptiden

Nach der Hydrolyse des Proteins zu Oligopeptiden werden diese durch bakterielle Peptidasen rasch abgebaut und Peptide sind nur dann in größeren Mengen vorhanden, wenn Protein schnell fermentiert wird (NUGENT UND MANGAN, 1981).

Bei der Peptidhydrolyse handelt es sich um einen zweistufigen Prozess, beginnend mit einer Aminopeptidaseaktivität, die als Dipeptidylpeptidase Dipeptide von der Peptidkette abspaltet (WALLACE ET AL., 1993; WALLACE, 1996; WEBB, 1992). *P. ruminicola* ist die wichtigste bakterielle peptidolytische Spezies (WALLACE ET AL., 1990) mit besonders ausgeprägter Dipeptidylpeptidaseaktivität in Form von vier Serinproteasen (WALLACE UND MCKAIN, 1991; MCKAIN ET AL., 1992), auch unter dem Aspekt einer potentiell enorm hohen Populationsdichte von bis zu 60 % der gesamten bakteriellen Population in vivo bei Kühen mit Grassilagefütterung (VAN GYLSWYK, 1990).

## Kapitel 2

---

Herrscht jedoch, beispielsweise bei konzentratreicher Fütterung, eine höhere Konzentration an *S. bovis* gegenüber *P. ruminicola* vor, dominiert dessen Leucinaminopeptidaseaktivität, welche zur Abspaltung einzelner AS tendiert (WALLACE UND BRAMMAL, 1985; RUSSELL UND ROBINSON, 1984).

Die zweite Stufe des Peptidabbaus besteht in der Spaltung der erhaltenen Dipeptide in AS. Neben *Prevotella* spp. besitzen *F. succinogenes* und *But. fibrisolvans*. *Lachnospira*, *Selenomonas* spp. und *M. elsdenii* die dafür notwendige Dipeptidaseaktivität (ATASOGLU UND WALLACE, 2003), welche im Falle von *M. elsdenii* bei gleichzeitiger Besiedlung des Pansens mit ciliaten Protozoen unterdrückt wird (WALLACE UND MCKAIN, 1991).

*Prevotella* spp. ist in der Lage Oligopeptide, nicht jedoch Tri- oder Dipeptide als N-Quelle zu nutzen (DEHORITY, 2003). Für *S. bovis* sind kurze Peptide essentiell (COTTA UND RUSSELL, 1982), außerdem können *Lachnospira* (BRYANT, 1984) und *Cl. aminophilum* Peptide zu ihrer N-Versorgung heranziehen (PASTER ET AL., 1993).

### Abbau von Aminosäuren, Harnstoff, Nitrat und Nukleinsäuren

Bis vor einigen Jahren wurden *But. fibrisolvans*, *M. elsdenii*, *P. ruminicola* und *Sel. ruminantium* als hauptverantwortlich für die AS-Deaminierung angeführt (BLADEN ET AL., 1961), jedoch weisen diese Spezies nur eine niedrige Aktivität auf. Ende der 80er Jahre konnten von RUSSELL ET AL. (1988) und CHEN UND RUSSELL (1989) eine weitere, weniger zahlreiche, jedoch deutlich aktiver Ammoniak produzierende Gruppe Bakterien isoliert werden, bei denen es sich um *Peptostreptococcus anaerobius*, *Cl. aminophilum* und *Cl. sticklandii* handelte (PASTER ET AL., 1993). Diese Bakteriengruppe fermentiert obligat AS. Von ATTWOOD ET AL. (1998), MCSWEENEY ET AL. (1999) und ESCHENLAUER ET AL. (2002) wurden in der Zwischenzeit weitere sogenannte Hyper-Ammoniak-produzierende (HAP)-Spezies wie *Eubacterium* spp, *Fusobacterium* spp, *Acidaminococcus* spp und *Desulfomonas* spp. isoliert.

Aus einem anderen Grund ist der Abbau bestimmter AS besonders wichtig, da hierbei Valin, Leucin und Isoleucin in Isobuttersäure, Isovaleriansäure und 2-Methylbuttersäure umgewandelt werden können. Diese verzweigt-kettigen flüchtigen Fettsäuren besitzen einen stark stimulierenden Effekt auf die vorherrschenden Cellulolyten und bestimmte Spezies Nichtcellulolyten oder sind für deren Wachstum sogar essentiell (ALLISON UND BRYANT, 1958; 1963, ALLISON ET AL., 1959; BRYANT, 1973; BRYANT UND ROBINSON 1961).

Der Harnstoff im Pansen stammt entweder aus dem Futter oder aus rezykliertem Speichelharnstoff und durch die Pansenwand diffundiertem, als Teile des ruminohepatischen Kreislaufs (KENNEDY UND MILLIGAN, 1980). Die Hydrolyse des Harnstoffs in Ammoniak und

## Kapitel 2

---

CO<sub>2</sub> erfolgt mittels bakterieller Ureasen, die etwa 5 % der Pansenisolate aufweisen, darunter die strikt anaeroben Spezies *Succ. dextrinosolvens*, bestimmte Stämme *Sel. ruminantium*, *P. ruminicola*, *R. bromii*, *Bifidobacterium*, *Butyrivibrio* und *Treponema* (YOKOYAMA UND JOHNSON, 1988). Auch geringere Populationen fakultativ anaerober Bakterien wie *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, und *Corynebakterium* sind mit hoher ureolytischer Aktivität ausgestattet (CHENG UND COSTERTON, 1980).

Nitrat wird über Nitrit zur N-Quelle Ammoniak reduziert (LEWIS, 1951). Dieser Prozess ist in vivo jedoch nur in begrenztem Umfang möglich, da bei erhöhten NO<sub>3</sub>-Gehalten im Futter die Gefahr einer Nitritvergiftung für das Wirtstier droht. Denn bei einer Nitritakkumulation im Pansen gelangt Nitrit durch Resorption über die Pansenwand ins Blut und verursacht durch Nitritreduktion oder Nitritoxidation die Umwandlung von Hämoglobin in Methämoglobin wodurch ein Sauerstoffmangel im Blut induziert wird (ULBRICH ET AL., 2004).

Beim Nukleinsäureabbau im Pansen nehmen Bakterien nur einen untergeordneten Stellenwert ein. FLINT UND THOMSON (1990) berichten über Nucleasen bei Stämmen von *P. ruminicola*, *F. succinogenes*, *Sel. ruminantium* und *Lachnospira multipara*.

### Nutzung von Aminosäuren und Ammoniak

In ihrer Gesamtheit vermögen Bakterien mit Ammoniak als alleiniger N-Quelle ihre Versorgung bei niedrigem bis mittlerem Leistungsniveau über längere Zeit sicherzustellen, was LOOSLI ET AL. bereits 1949 an wachsenden Lämmern mittels einer dreimonatigen Harnstoff-N-Fütterung bei positiver N-Bilanz und VIRTANEN (1966) bei laktierenden Milchkühen demonstrieren konnten. Diesem Sachverhalt zur Folge besitzen Bakterien in ihrer Gesamtheit keinen Aminosäuren-, Peptid- oder Proteinbedarf.

Jedoch wird das volle Leistungsvermögen der Mikroben erst ausgeschöpft, wenn N zusätzlich in Form von Protein, Peptiden und Aminosäuren zur Verfügung steht, da diese N-Quellen das Wachstum verschiedener Bakterien stimulieren (HUME, 1970; MAENG UND BALDWIN, 1976; ARGYLE UND BALDWIN, 1989). Einige isolierte Bakterienstämme (6%) wiesen in einer Untersuchung von BRYANT UND ROBINSON (1963) sogar einen absoluten Bedarf an Casein auf, weitere 56 % der isolierten Bakterienstämme wuchsen mit Caseinhydrolysat oder Ammoniak, während 25 % einen absoluten Bedarf an Ammoniak zeigten.

Besonders interessant ist in derselben Untersuchung die Präferenz verschiedener Bakterien für eine bestimmte N-Quelle, sobald sie die Wahl haben. So bevorzugten *Lach. multipara*, *S. bovis*, *Sel. ruminantium*, *But. fibrisolvens* und *Succ. dextrinosolvens* AS-N gegenüber Ammoniak-N. Einige Stämme *P. ruminicola*, *Sel. ruminantium*, *S. bovis*, *M. elsdenii* und *But. fibrisolvens*



## Kapitel 2

---

benötigen spezifische AS (FORSBERG, 1978; COTTA UND RUSSELL, 1982). Aus Tabelle 3 geht die N-Nutzung der einzelnen Spezies hervor, bemerkenswert ist, dass zwar viele AS nutzen können, jedoch nur wenige auf AS bei Fehlen einer Energiequelle aus CHO zu überleben vermögen, wie beispielsweise *M. elsdonii* oder *Cl. aminophilum* (RUSSELL, 1984; ATASOGLU UND WALLACE, 2003).

Die meisten Streptokokken weisen einen komplexen Nährstoffbedarf auf und benötigen mindestens acht AS (RUSSELL, 1998), aber *S. bovis* kann Ammoniak als alleinige N-Quelle nutzen (WOLIN ET AL., 1959; PRESCOTT ET AL., 1959; RUSSELL ET AL., 1981).

Betrachtet man die Untersuchung von BRYANT UND ROBINSON (1963) aus einem anderen Blickwinkel, so waren mehr als 80 % der Bakterienkulturen in der Lage auf Ammoniak als alleiniger N-Quelle zu wachsen. Demnach ist Ammoniak als zentrale Größe der N-Versorgung einer Vielzahl von Bakterien zu betrachten, rund 50-80 % des bakteriellen N-Pools stammen aus dem Ammoniak des Pansensaftes (FIRKINS ET AL., 1987). Nach SATTER UND SLYTER (1974) ist eine Ammoniakkonzentration von 3 mM ausreichend für das Wachstum ammoniaknutzender Bakterienstämme.

Die cellulolytischen Bakterien *F. succinogenes*, *R. albus*, *R. flavefaciens*, *B. fibrisolvans*, *E. cellulosolvans* besitzen einen absoluten  $\text{NH}_3$ -Bedarf (BRYANT UND ROBINSON 1961, 1962; HUNGATE, 1966), wobei *B. fibrisolvans* in Stämme zu trennen ist, für die  $\text{NH}_3$  essentiell ist und Stämme die entweder  $\text{NH}_3$  oder ein AS-Gemisch nutzen können (DEHORITY, 2003).

Für das Wachstum von *R. amylophilus* ist  $\text{NH}_3$  ebenfalls erforderlich, AS jedoch nicht (BLACKBURN; 1968, MIURA ET AL., 1980), dennoch werden sie begrenzt genutzt (HUNGATE, 1966). *Prevotella* spp. nutzen für ihre N-Versorgung  $\text{NH}_3$  (DEHORITY, 2003), jedoch keine freien AS, einige Stämme *P. ruminicola* wachsen schwach auf AS, dagegen sehr viel besser bei Austausch gegen Caseinhydrolysat (PITTMAN UND BRYANT, 1964).

Nach COOK (1976) kommt  $\text{NH}_3$  für ureolytische Bakterien nicht als N-Quelle in Frage.