

4 Ergebnisse

4.1 Am Tier (-körper) erhobene Befunde und Parameter

4.1.1 Gesundheitszustand der Schweine

Während der dreiwöchigen Fütterungsperiode zeigten die Tiere stets ein ungestörtes Allgemeinbefinden. Es wurden keinerlei Hinweise auf Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, des Atmungsapparates, des Sensoriums oder des Bewegungsapparates festgestellt. Auch Durchfallerkrankungen traten nicht auf. Der Kot der Tiere der Gruppe CMC war deutlich weicher als der aller anderen Tiere.

Bei der Probenentnahme wurde besonders auf makroskopisch erkennbare pathologische Veränderungen an den inneren Organen der Schweine geachtet. Auch hierbei wurden keine besonderen, von der Normalität abweichende Befunde erhoben. Desweiteren wurden keine makroskopisch erkennbaren Endo- oder Ektoparasiten gefunden.

4.1.2 Lebendmassenzunahme und am Intestinaltrakt erhobene Parameter

Alle am Tier (-körper) erhobenen Parameter sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Tabelle 4 zeigt die errechneten Parameter für alle Tiere im Einzelnen.

Tabelle 3: Lebendmassen sowie die am Intestinaltrakt erhobenen Parameter der sieben Wochen alten Ferkel der vier verschiedenen Fütterungsgruppen.

| Schwein | | Lebend- masse | | Gewicht | | Länge | | Viskosität der Digesta | | |
|---------|------------------------------|------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|--------------|--------|
| Nr. | Gruppe- Wurf ¹ | Vers.- Beginn | Vers.- Ende | Dünn- darm | Dick- darm | Dünn- darm | Dick- darm | Duo- denum | Je- junum | Ileum |
| | | kg | kg | g | g | cm | cm | mPas | mPas | mPas |
| 1 | C-1 | 8.01 | 13.8 | 658.2 | 126.3 | 1250 | 200 | 0.98 | 0.87 | * |
| 2 | C-1 | 9.78 | 17.2 | 762 | 185.5 | 1450 | 242 | 0.93 | 1.16 | 1.95 |
| 3 | C-1 | 8.43 | 14.9 | 818.4 | 166.2 | 1490 | 215 | 0.99 | 1.87 | 3.17 |
| 4 | C-2 | 6.70 | 15.4 | 642.2 | 161.1 | 1362 | 220 | 0.88 | 1.22 | 1.78 |
| 5 | C-2 | 6.24 | 13.6 | 562.9 | 148 | 1345 | 220 | 0.91 | 1.28 | 2.4 |
| 6 | C-2 | 4.55 | 12.8 | 567.7 | 147.8 | 1290 | 192 | 0.87 | 1.14 | 1.22 |
| 1 | CMC-1 | 11.47 | 18.2 | 836.2 | 200.9 | 1629 | 262 | 2.51 | 360.85 | 1021 |
| 2 | CMC-1 | 9.87 | 16.8 | 735.3 | 156.8 | 1524 | 221 | 1.99 | 218.25 | 274.37 |
| 3 | CMC-2 | 8.13 | 16.6 | 821.5 | 168.2 | 1522 | 223 | 3.63 | 70.64 | 80.3 |
| 4 | CMC-2 | 7.78 | 15.8 | 739.2 | 146.8 | 1466 | 230 | 3.43 | 673.73 | 1021 |
| 5 | CMC-1 | 6.75 | 12.7 | 584.7 | 152.1 | 1423 | 217 | 2.26 | 7.99 | * |
| 6 | CMC-2 | 5.97 | 11.8 | 505.8 | 87.3 | 1378 | 220 | 1.6 | 507.1 | 1021 |
| 1 | K-3 | 8.86 | 14.5 | 855.8 | 217.4 | 882 | 207 | 4.7 | 10 | * |
| 2 | K-3 | 10.23 | 14.1 | 865.4 | 213.2 | 1345 | 265 | 5.14 | 52.1 | 22.4 |
| 3 | K-3 | 9.06 | 13.6 | 469.9 | 209.1 | 662 | 287 | 2.05 | 87.7 | * |
| 4 | K-4 | 10.52 | 15.4 | 938 | 210.2 | 1218 | 271 | 2.1 | 88.7 | 792 |
| 5 | K-4 | 8.57 | 13.8 | 937.2 | 252.3 | 1362 | 284 | 3.42 | 24.2 | 41.35 |
| 6 | K-4 | 10.52 | 16.1 | 1065 | 308.9 | 1346 | 277 | 3.67 | 60.2 | 7.71 |
| 1 | E-3 | 8.48 | 13.7 | 710 | 212.7 | 1331 | 247 | 1.69 | 165.5 | 28.3 |
| 2 | E-3 | 9.10 | 13.1 | 598.6 | 206.5 | 1204 | 288 | 2.65 | 9.9 | 1.7 |
| 3 | E-4 | 12.20 | 18.5 | 881.1 | 138.3 | 1215 | 340 | 2.25 | 3.97 | 3.45 |
| 4 | E-3 | 8.31 | 15.7 | 839.7 | 391.3 | 1197 | 303 | 1.52 | 38.2 | * |
| 5 | E-4 | 8.31 | 14.3 | 701.3 | 271 | 1368 | 297 | 1.43 | 5.03 | 5.36 |
| 6 | E-4 | 10.13 | 14.9 | 629.6 | 608.8 | 1177 | 253 | 1.78 | 13.7 | 4.98 |

¹ Die gleiche Ziffer signalisiert Wurfgeschwister.

*: Zum Zeitpunkt der Probenentnahme war im Ileum dieser Tiere keine Digesta enthalten.

Tabelle 4: Lebendmassenzunahme, Länge und Gewicht der Darmabschnitte relativ zur Lebendmasse (LM) sowie die Wanddicke von Dünn- und Dickdarm der sieben Wochen alten Ferkel der verschiedenen Fütterungsgruppen.

| Schwein | | LMZ ¹ | Relatives Gewicht | | Relative Länge | | Wanddicke ² | |
|---------|--------------------------|------------------|-------------------|-----------|----------------|-----------|------------------------|-----------|
| Nr. | Gruppe-Wurf ³ | | Dünn-darm | Dick-darm | Dünn-darm | Dick-darm | Dünn-darm | Dick-darm |
| | | kg | g/kg LM | g/kg LM | cm/kg LM | cm/kg LM | mg/cm | mg/cm |
| 1 | C-1 | 5.74 | 47.87 | 9.19 | 90.91 | 14.55 | 526.57 | 631.50 |
| 2 | C-1 | 7.37 | 44.43 | 10.82 | 84.55 | 14.11 | 525.49 | 766.53 |
| 3 | C-1 | 6.52 | 54.74 | 11.12 | 99.67 | 14.38 | 549.26 | 773.02 |
| 4 | C-2 | 8.70 | 41.70 | 10.46 | 88.44 | 14.29 | 471.50 | 732.27 |
| 5 | C-2 | 7.36 | 41.39 | 10.88 | 98.90 | 16.18 | 418.51 | 672.86 |
| 6 | C-2 | 8.25 | 44.35 | 11.55 | 100.78 | 15.00 | 440.09 | 769.79 |
| 1 | CMC-1 | 6.73 | 45.95 | 11.04 | 89.51 | 14.40 | 513.32 | 766.64 |
| 2 | CMC-1 | 6.93 | 43.77 | 9.33 | 90.71 | 13.15 | 482.48 | 709.50 |
| 3 | CMC-2 | 8.47 | 49.49 | 10.13 | 91.69 | 13.43 | 539.76 | 754.44 |
| 4 | CMC-2 | 8.02 | 46.78 | 9.29 | 92.78 | 14.56 | 504.23 | 638.35 |
| 5 | CMC-1 | 5.95 | 46.04 | 11.97 | 112.05 | 17.09 | 410.92 | 700.74 |
| 6 | CMC-2 | 5.83 | 42.86 | 7.39 | 116.78 | 18.64 | 367.05 | 396.59 |
| 1 | K-3 | 5.64 | 59.02 | 15.00 | 60.83 | 14.28 | 970.27 | 1050.43 |
| 2 | K-3 | 3.87 | 61.38 | 15.12 | 95.39 | 18.79 | 643.43 | 804.57 |
| 3 | K-3 | 4.54 | 34.55 | 15.38 | 48.68 | 21.10 | 709.74 | 728.57 |
| 4 | K-4 | 4.88 | 60.91 | 13.65 | 79.09 | 17.60 | 770.12 | 775.65 |
| 5 | K-4 | 5.23 | 67.92 | 18.28 | 98.70 | 20.58 | 688.13 | 888.38 |
| 6 | K-4 | 5.58 | 66.16 | 19.18 | 83.60 | 17.20 | 791.32 | 1115.02 |
| 1 | E-3 | 5.26 | 51.68 | 15.48 | 96.87 | 17.98 | 533.46 | 860.97 |
| 2 | E-3 | 4.00 | 45.69 | 15.76 | 91.91 | 21.98 | 497.17 | 717.01 |
| 3 | E-4 | 6.30 | 47.63 | 7.48 | 65.68 | 18.38 | 725.16 | 406.76 |
| 4 | E-3 | 7.39 | 53.49 | 24.92 | 76.24 | 19.30 | 701.54 | 1291.35 |
| 5 | E-4 | 5.99 | 49.04 | 18.95 | 95.66 | 20.77 | 512.65 | 912.46 |
| 6 | E-4 | 4.77 | 42.25 | 40.86 | 78.99 | 16.98 | 534.90 | 2406.36 |

1 Lebendmassenzunahme

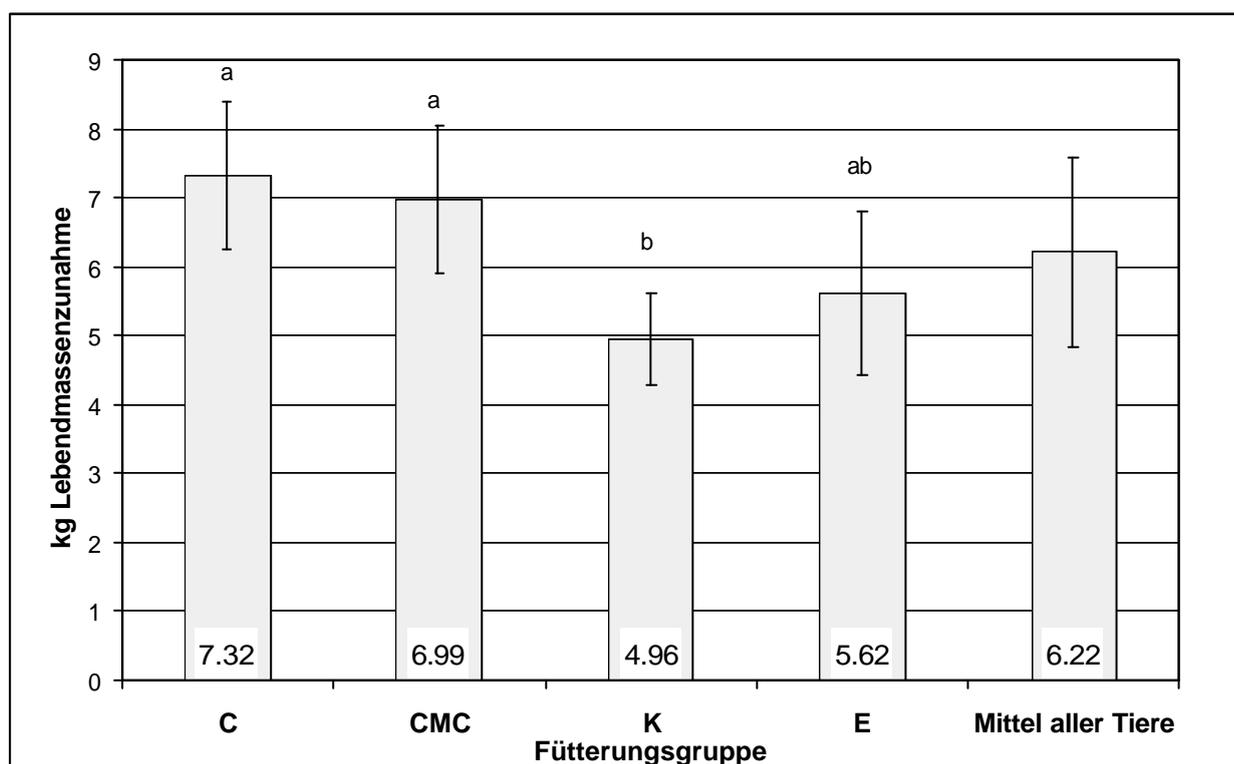
2 Wanddicke wurde berechnet als Quotient von Gewicht und Länge des jeweiligen Darmabschnittes.

3 Die gleiche Ziffer kennzeichnet Wurfgeschwister.

4.1.2.1 Lebendmassen bei Versuchsbeginn und Versuchsende sowie Lebendmassenzunahmen

Die durchschnittliche Lebendmasse (LM) der Schweine aus allen Gruppen betrug bei Versuchsbeginn 8.67 kg. Bei Versuchsende wogen die Tiere im Mittel 14.89 kg. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren zu beiden Zeitpunkten nicht signifikant. Die Lebendmassenzunahme (LMZ) lag im Mittel bei 6.22 kg (Grafik 1). Ferkel beider mit semisynthetischen Rationen gefütterten Gruppen (C und CMC) nahmen in dem Versuchszeitraum signifikant mehr zu als die Tiere der mit Getreide gefütterten Gruppe K. Die Digestaviskosität allein beeinflusste die Lebendmassenzunahme nicht. Auch der Zusatz der Xylanase wirkte sich nicht statistisch erkennbar auf die Gewichtsentwicklung der Tiere aus.

Grafik 1: Lebendmassenzunahme der Ferkel der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=6) sowie aller untersuchten Ferkel (n=24) während der dreiwöchigen Fütterungsphase. Angegeben sind je Mittelwert \pm Standardabweichung.



a,b Verschiedene Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0.05$).

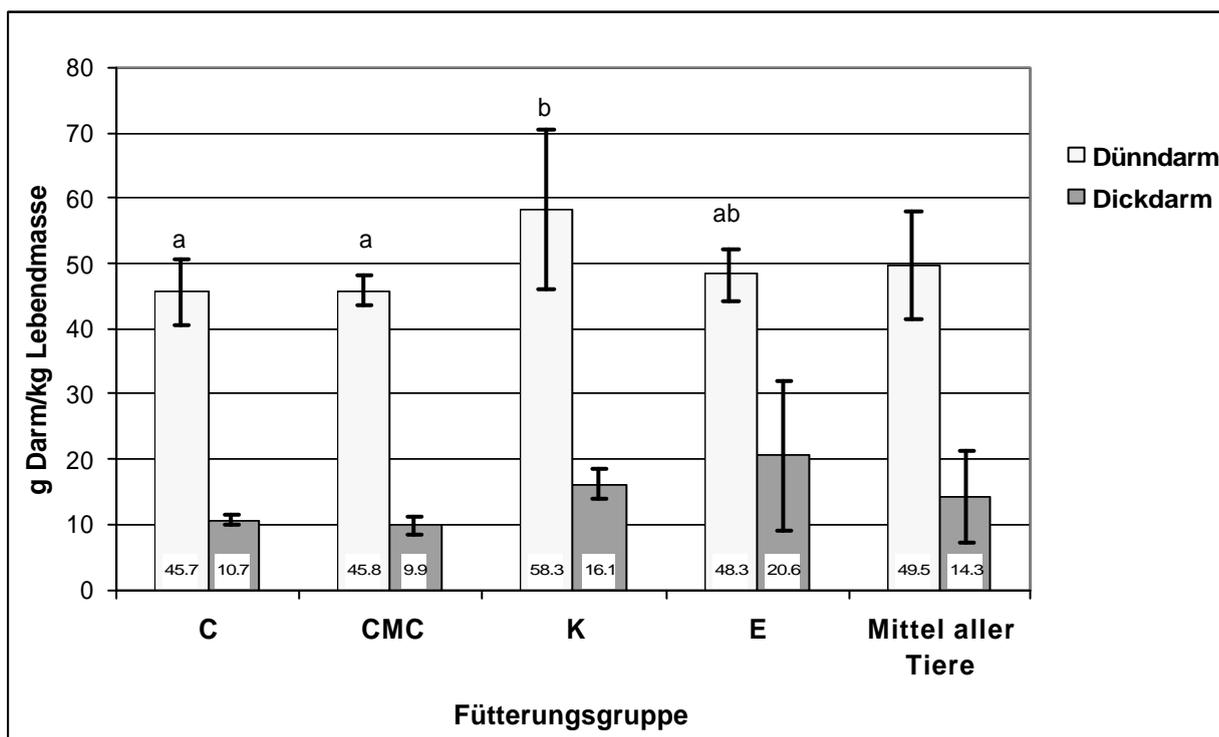
4.1.2.2 Gewichte, Längen und Wanddicke von Dün- und Dickdarm

Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung dargestellt, wobei der Übersichtlichkeit wegen überwiegend nur die Unterschiede erwähnt werden.

Gewichte: Im Durchschnitt wog der Dünndarm 49.55 g/kg LM. Bei Schweinen aus den beiden mit semisynthetischer Diät gefütterten Gruppen C (45.75 g/kg LM) und CMC (45.82 g/kg LM) war der Dünndarm signifikant leichter als bei der mit Getreide gefütterten Kontrollgruppe K (58.32 g/kg KGW). Die Unterschiede zwischen den Gruppen eines Versuchsdurchganges (C gegen CMC und K gegen E) sind nicht signifikant.

Der Dickdarm wog im Mittel aller Tiere 14.3 g/kg LM. Die Differenzen zwischen den Gruppen waren nicht signifikant.

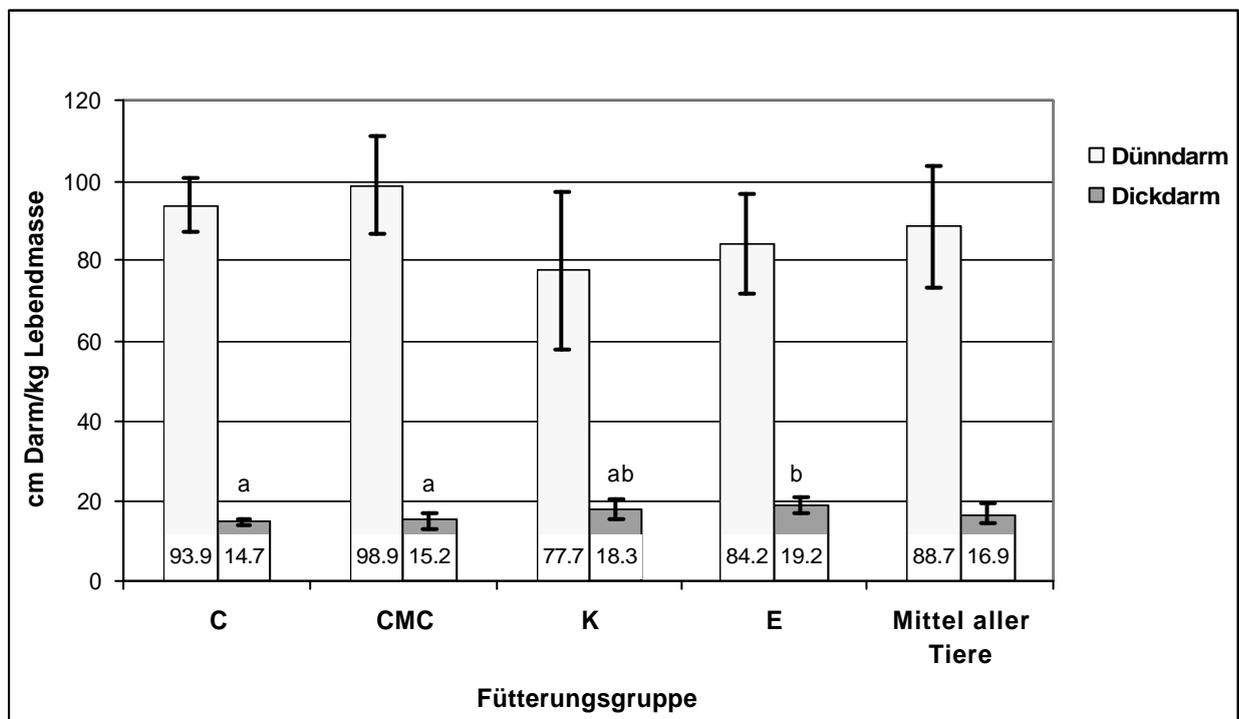
Grafik 2: Gewicht von Dün- und Dickdarm relativ zur Lebendmasse der Ferkel der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=6) sowie aller untersuchten Tiere (n=24). Angegeben sind je Mittelwert \pm Standardabweichung.



a,b Verschiedene Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0.05$). Sind keine Buchstaben vorhanden, sind die Differenzen nicht signifikant.

Längen: Die Länge des Dünndarmes relativ zur Lebendmasse betrug durchschnittlich 887 cm/kg LM. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Futtergruppen waren nicht signifikant. Die Länge des Dickdarmes relativ zur Lebendmasse betrug durchschnittlich 16.9 cm/kg LM. Tiere der Gruppen C (14.7 cm/kg LM) und CMC (15.2 cm/kg LM) hatten signifikant kürzere ($p < 0.05$) Dickdärme als Tiere der Gruppe E (84.2 cm/kg LM).

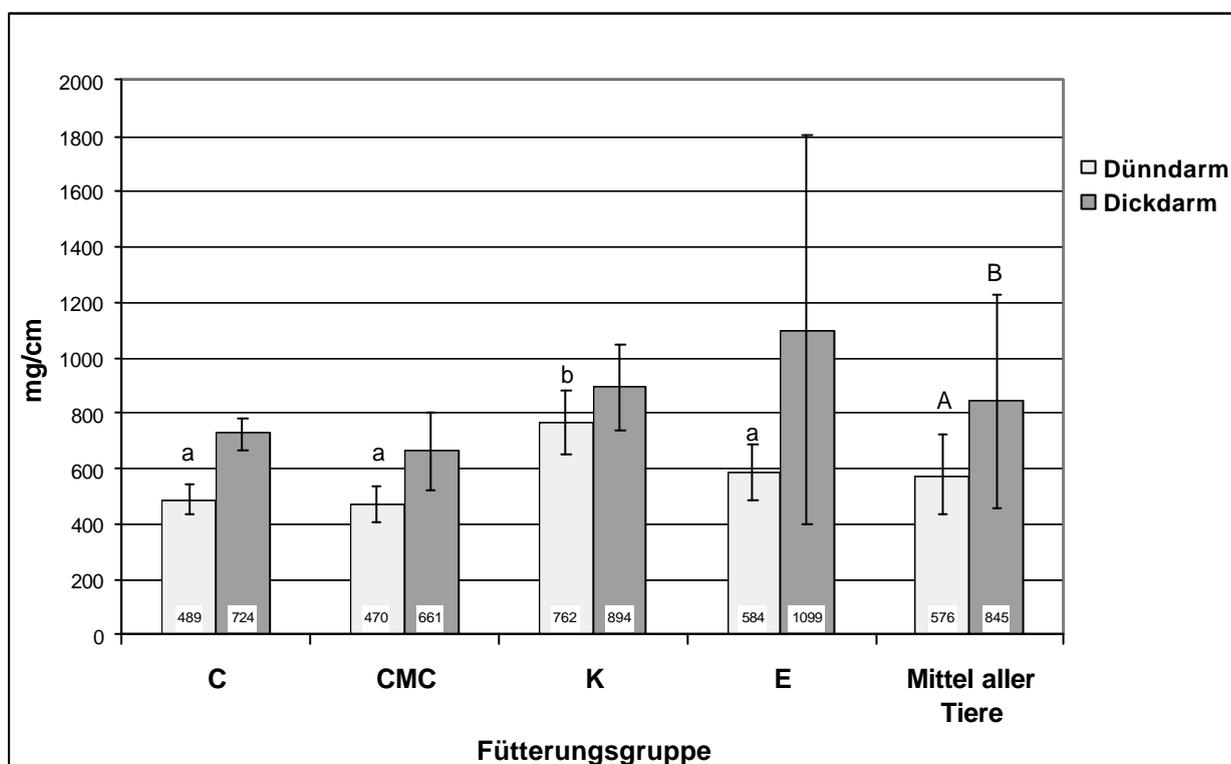
Grafik 3: Länge von Dün- und Dickdarm relativ zur Lebendmasse der Ferkel der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=6) sowie aller untersuchten Tiere (n=24). Angegeben sind je Mittelwert \pm Standardabweichung.



a,b Verschiedene Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0.05$). Sind keine Buchstaben vorhanden, sind die Differenzen nicht signifikant.

Wanddicke: Das Verhältnis des Gewichts eines Darmabschnittes zu der entsprechenden Länge wurde als Maß für die Wanddicke errechnet (Grafik 4). Ein 1 cm langes Stück Dünndarm war mit durchschnittlich 576.13 mg signifikant leichter als ein gleich großes Stück Dickdarm, das im Mittel 844.57 mg wog. Die Wand des Dünndarmes von Schweinen der mit Getreide gefütterten Kontrollgruppe K war signifikant schwerer als die von Tieren jeder anderen Gruppen. Die Wanddicke des Dickdarmes variierte zwischen den Gruppen nicht signifikant.

Grafik 4: Wanddicke, ausgedrückt in Gewicht pro Länge, von Dün- und Dickdarm der Ferkel der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=6) sowie aller untersuchten Tiere (n=24). Angegeben sind je Mittelwert \pm Standardabweichung.



a,b Verschiedene Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0.05$). Sind keine Buchstaben vorhanden, sind die Differenzen nicht signifikant.

4.1.2.3 Digestaviskositäten in Duodenum, Jejunum und Ileum

In Tabelle 5 sind die Digestaviskositäten der einzelnen Gruppen und der drei Dünndarmabschnitte angegeben.

Im Allgemeinen steigt die Viskosität der Digesta nach aboral an. Eine Ausnahme stellt die Gruppe E dar, bei der die ileale Digesta niedrigere Viskositäten aufweist als die jejunale.

Generell hat die Digesta der Schweine der Gruppe CMC deutlich die höchste Viskosität, während die der Tiere der Gruppe C die geringsten Werte aufweist. Im Duodenum unterscheiden sich die Viskositäten der Gruppen CMC und C sowie der Gruppen K und C als auch K und E signifikant von einander. Im Jejunum liegt der mittlere Wert der Gruppe CMC signifikant höher als die der drei anderen Gruppen. Die Viskosität der ilealen Digesta weist nicht nur zwischen, sondern auch innerhalb der Versuchsgruppen erhebliche Unterschiede auf, sodass keine statistisch nachweisbaren Differenzen vorhanden sind.

Im Rahmen eines parallel verlaufenden Versuchs (Bartelt et al., 2002), der der Ermittlung der Nährstoffverdaulichkeit und der endogenen Stickstoffmenge diente, wurden 24 Schweine mit einer durchschnittlichen Lebendmasse von 24.4 kg je mit einer Duodenal- und einer Ileumfistel versehen. Nach zweiwöchiger Adaptation an eine der vier Diäten, die mit denen der vorliegenden Arbeit nahezu identisch waren, wurde über einen Zeitraum von 12 Stunden fortlaufend Digesta gesammelt. Material von jeweils drei Stunden wurde zu einer Sammelprobe zusammengefaßt und darin die Digestaviskosität bestimmt.

Die duodenale Digesta der Schweine der Gruppe C hatte im Durchschnitt von 12 Stunden eine Viskosität von 0.90 mPas. Signifikant höher lag die Viskosität der Duodenaldigesta der Schweine der Gruppe CMC; sie betrug für den gleichen Zeitraum 2.32 mPas. Ebenfalls eine signifikante Erhöhung der Viskosität wurde durch Verfütterung von Karboximethylzellulose in der ilealen Digesta erreicht. Hier lag der 12-Stunden-Durchschnitt der Gruppe C bei 1.82 mPas, der entsprechende Wert der Gruppe CMC betrug 649.5 mPas.

Im zweiten Versuchsdurchgang variierten die Viskositäten der Duodenaldigesta zwischen den Gruppen K und E im gesamten Verlauf nicht signifikant. Sie betragen im Durchschnitt von 12 Stunden für Gruppe K 1.52 mPas, für Gruppe E 1.42 mPas. Die Viskosität der ilealen Digesta hingegen wurde durch den Zusatz der Xylanase signifikant reduziert. Die zeitlichen Verläufe der ilealen Digestaviskositäten beider Versuchsdurchgänge sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 5: Viskosität der duodenalen, jejunalen und ilealen Digesta von Schweinen, die mit einer semisynthetischen (C und CMC) oder einer auf Getreide basierenden Diät (K und E) gefüttert wurden. Angegeben sind jeweils Mittelwerte \pm Standardabweichung.

| Gruppe | Viskosität der Digesta [mPas] | | |
|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| | Duodenum | Jejunum | Ileum |
| C <i>n</i> = | 0.93 (\pm 0.05) ^a 6 | 1.26 (\pm 0.33) ^a 6 | 2.10 (\pm 0.73) 5 |
| CMC <i>n</i> = | 2.57 (\pm 0.81) ^{bc} 6 | 306 (\pm 257) ^b 6 | 684 (\pm 467) 5 |
| K <i>n</i> = | 3.51 (\pm 1.28) ^c 6 | 53.8 (\pm 32.3) ^a 6 | 215 (\pm 384) 4 |
| E <i>n</i> = | 1.89 (\pm 0.47) ^{ab} 6 | 39.4 (\pm 63.0) ^a 6 | 8.76 (\pm 11.0) 5 |

a,b,c Verschiedene Buchstaben einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0.05$). Sind keine Buchstaben vorhanden, sind die Differenzen nicht signifikant.

Tabelle 6: Viskosität [mPas] der ilealen Digesta von Schweinen, die mit einer semisynthetischen (C und CMC) oder einer auf Getreide basierenden Diät (K und E) gefüttert wurden in Abhängigkeit von der Zeit nach der Fütterung ($n=4$; Bartelt et al., 2002). Angegeben sind jeweils Mittelwerte \pm Standardabweichung.

| Zeit nach der Fütterung [Stunden] | Viskosität der ilealen Digesta [mPas] | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | Gruppe C | Gruppe CMC | Gruppe K | Gruppe E |
| 0-3 | 1.35 (\pm 0.09) ^A | 107 (\pm 40) ^B | 5.09 (\pm 1.11) ^a | 2.06 (\pm 0.36) ^b |
| 3-6 | 1.41 (\pm 0.06) ^A | 714 (\pm 159) ^B | 11.79 (\pm 2.67) ^a | 3.18 (\pm 0.44) ^b |
| 6-9 | 1.47 (\pm 0.03) ^A | 667 (\pm 194) ^B | 13.38 (\pm 2.66) ^a | 4.96 (\pm 1.33) ^b |
| 9-12 | 1.84 (\pm 0.08) ^A | 416 (\pm 219) ^B | 12.91 (\pm 7.34) | 2.82 (\pm 0.56) |

A, B Verschiedene Buchstaben einer Zeile bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen C und CMC ($p < 0.05$).

a, b Verschiedene Buchstaben einer Zeile bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen K und E ($p < 0.05$). Sind keine Buchstaben vorhanden, sind die Unterschiede nicht signifikant.

4.2 Ergebnisse der morphologischen Untersuchung der Dünndarmwand

Die in diesem Kapitel vorhandenen Abbildungen (Abb.) enthalten in ihren Beschriftungen folgende Abkürzungen: REM: Rasterelektronenmikroskopisches Bild; TEM: Transelektronenmikroskopisches Bild; LM, Färbung: Lichtmikroskopisches Bild eines wie angegeben gefärbten Präparates.

4.2.1 Der Aufbau der Dünndarmwand

Generell besteht die Wand des Dünndarmes aus der der Digesta zugewandten Tunica mucosa, der Tela submucosa, der Tunica muscularis und der Tunica serosa.

Die Tunica mucosa (Mukosa) ist lumenseitig von einem einschichtigen, hochprismatischen Epithel bedeckt. Von einer Basalmembran abgetrennt folgen die bindegewebige Eigenschicht, Lamina propria mucosae (Propria), sowie die abschließende Muskelschicht, Lamina muscularis mucosae.

Die Tunica muscularis ist in zwei Schichten unterteilt. Die Muskelfasern der beiden Schichten verlaufen senkrecht zueinander, wobei die innere Lage etwa zwei- bis dreimal so dick ist wie äußere.

4.2.2 Die Tunica mucosa

Generell ist die Oberfläche der Schleimhaut durch Auffaltungen vergrößert. Das proximale Drittel des Dünndarmes zeichnet sich durch Falten aus, an deren Bildung neben der gesamten Schleimhaut auch Teile der Tela submucosa beteiligt sind. Diese Falten sind trotz des Aufspannens der Darmproben während des Fixierens erhalten geblieben. An dieser Stelle sei bereits darauf hingewiesen, dass die Schleimhautmorphologie im Bereich dieser Falten von der der umliegenden Bereiche deutlich abweicht. In den distalen Abschnitten des Jejunums und im Ileum kamen solchen Falten nicht vor.

Die dreidimensionale Form der Dünndarmzotten, die eine weitere Vergrößerung der Schleimhautoberfläche darstellen, wurde im Rasterelektronenmikroskop untersucht und mit den zweidimensionalen Befunden der Lichtmikroskopie verglichen. Tendenziell sind die Zotten des gesamten Dünndarmes bei allen untersuchten Tieren zungenähnlich geformt. Ihre Grundflächen sind meist oval bis nierenförmig und scheinen nicht systematisch ausgerichtet zu sein. Rasterelektronenmikroskopisch betrachtet erreichen alle Zotten einer Dünndarmprobe die gleiche Höhe und bilden einen mehr oder weniger dichten Rasen. Lichtmikroskopisch variiert die Zottenhöhe hingegen stark, da die einzelnen Zotten nur selten an ihrem höchsten Punkt angeschnitten sind.

Im Duodenum bilden die Zotten meist einen dichten Besatz. Die Form der Zotten kann innerhalb einer Gewebeprobe regional stark variieren: Abschnitte mit gleichförmig erscheinenden, schlanken, finger- bis zungenförmigen Zotten (Abb. 1) grenzen unmittelbar an Bereiche mit unregelmäßigen Zottenformen. Neben relativ plump wirkenden, dicken, zungenförmigen gibt es kammähnliche Zotten, die etwa so breit sind wie zwei bis drei benachbarte Zotten zusammen. Sie können gerade verlaufen (Abb. 2), aber auch gebogen oder gegabelt sein (Abb. 3). Trotz der relativ großen Variabilität ist die Zungenform im Duodenum aller untersuchten Schweine vorherrschend. Teilweise wirken diese Zotten etwas plump und wulstig (Abb. 4), manchmal sind sie etwas schlanker (Abb. 5). Vereinzelt werden relativ dünne, fächerähnliche Zotten gefunden, die an ihrem freien Ende gefurcht oder gegabelt erscheinen, wodurch sie einem Ginko- oder einem Ahornblatt ähneln (Abb. 6). Aufgrund der unregelmäßig auftretenden Zottenformen ist kein Zusammenhang zwischen der Schleimhautmorphologie und der verfütterten Diät erkennbar.

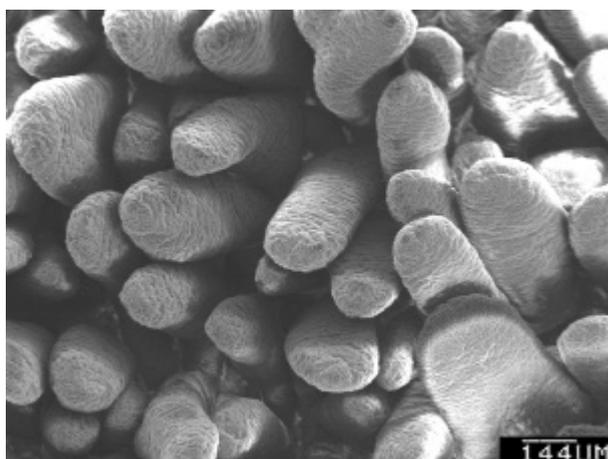


Abb. 1 (REM): Schlanke, finger- bis zungenförmige Zotten im Duodenum eines Ferkels der Gruppe E.

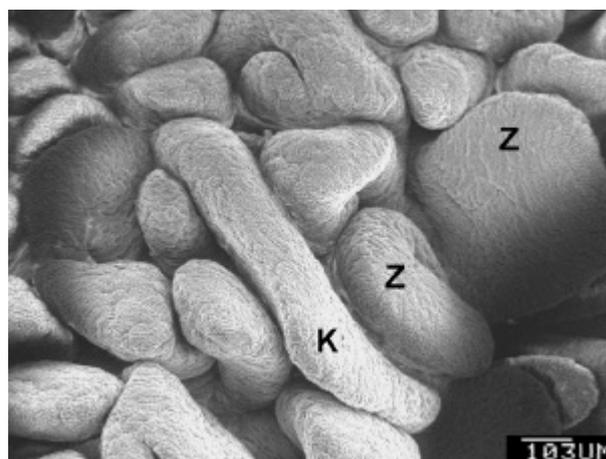


Abb. 2 (REM): Zungenförmige (Z) neben kammähnlichen, gerade verlaufenden (K) Zotten im Duodenum eines Ferkels der Gruppe E.

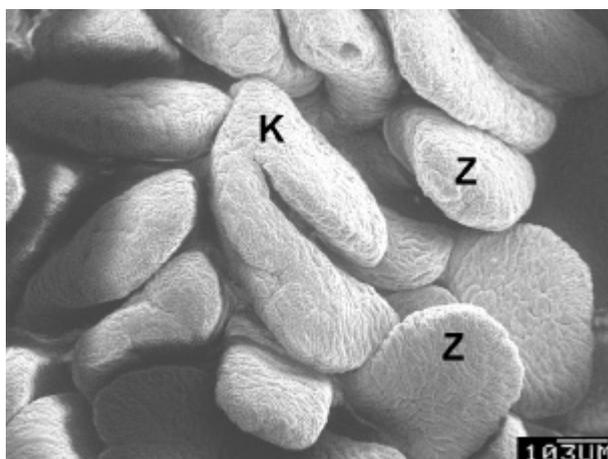


Abb. 3 (REM): Zungenförmige Zotten (Z) neben kammähnlicher, gegabelter (K) Zotte im Duodenum eines Ferkels der Gruppe E.

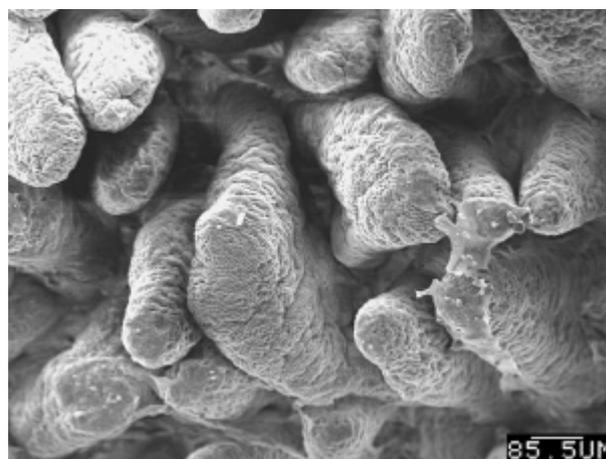


Abb. 4 (REM): Plumpe und wulstige zungenförmige Zotten im Duodenum eines Ferkels der Gruppe C.

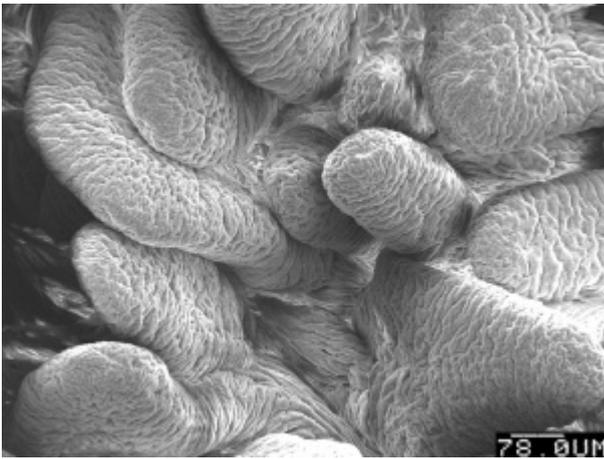


Abb. 5 (REM): Fingerförmige und schlanke zungenförmige Zotten im Duodenum eines Ferkels der Gruppe K.

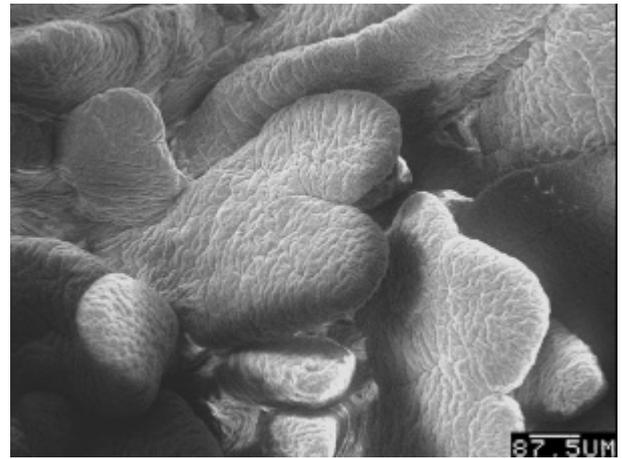


Abb. 6 (REM): Fächerähnliche, am freien Ende gefurchte Zotten im Duodenum eines Ferkels der Gruppe K.

Die Schleimhautoberfläche des mittleren Jejunums der Schweine, die mit den semisynthetischen Rationen gefüttert wurden, stellt sich im Überblick relativ homogen dar. Die Zotten sind in der Regel zungenförmig, vereinzelt auch fingerförmig. Ihre freien Enden laufen individuell unterschiedlich spitz oder stumpf zu. Vereinzelt treten breite, fächer- bis bogenähnliche Zotten auf. Generell lassen sich, wie im Duodenum auch, die einzelnen Zotten klar von einander abgrenzen. Die Zottenformen waren zwischen den Gruppen C und CMC nicht unterschiedlich (Abb. 7, 8).

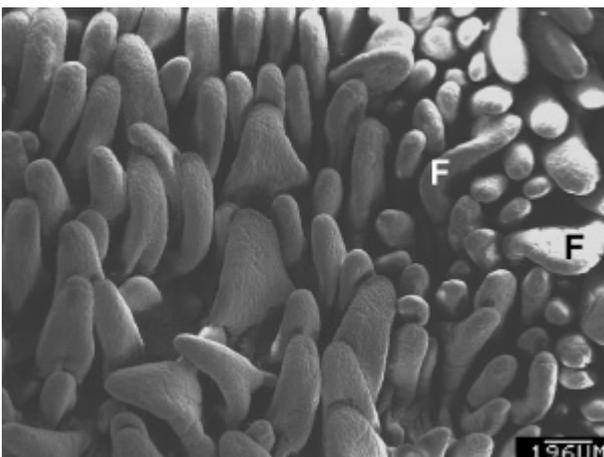


Abb. 7 (REM): Zungenförmige und vereinzelt fächerförmige (F) Zotten im mittleren Jejunum eines Ferkels der Gruppe C.

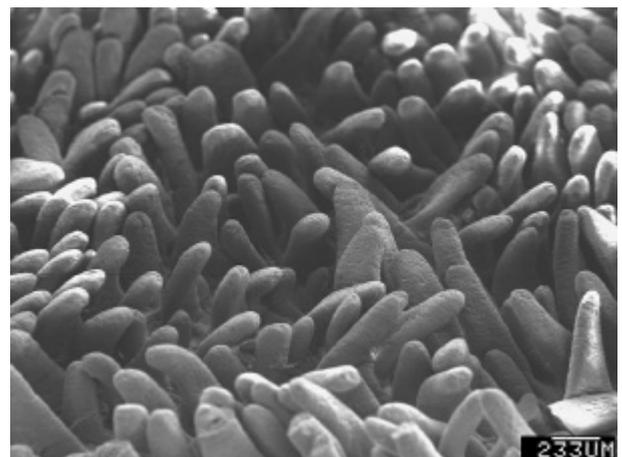


Abb. 8 (REM): Schlanke zungenförmige Zotten im mittleren Jejunum eines Ferkels der Gruppe CMC.

Die Schleimhautoberfläche des distalen Drittels des Jejunums von Schweinen, die mit einer getreidehaltigen Diät gefüttert wurden, erscheint im Überblick unruhig und inhomogen. Generell sind die Zotten sehr wulstig und dicht nebeneinander stehend, sodass sie sich nur selten von einander abgrenzen lassen (Abb. 9). Die meisten Zotten, die nur selten als zungenförmig beschrieben werden können, bleiben bis zu ihrem freien Ende sehr breit, verfügen also im Gegensatz zu denen der oberen Darmabschnitte über keine eindeutige Spitze (Abb. 10). Teilweise weisen solche breiten, einem Gebirgskamm ähnliche Zotten, die sich um andere herum winden können, mehrere Bereiche auf, die man als „Gipfel“ bezeichnen könnte (Abb. 9, 11). Weiterhin sind stellenweise seitlich an solchen einem Gebirgskamm ähnliche Zotten Ausläufer oder Gabelungen zu finden (Abb. 12). In anderen Proben der jejunalen Schleimhaut sind die Zotten so dicht gepackt, dass man ihre Form nicht klar erkennen kann (Abb. 13, 14). In der Aufsicht sind nur ineinander verschlungene Wülste sichtbar, die bizarre Figuren bilden. Ein Blick auf die Ebene der Zottenbasis ist nicht möglich. Unterschiede zwischen den Gruppen des zweiten Versuchsdurchgangs sind nicht vorhanden.

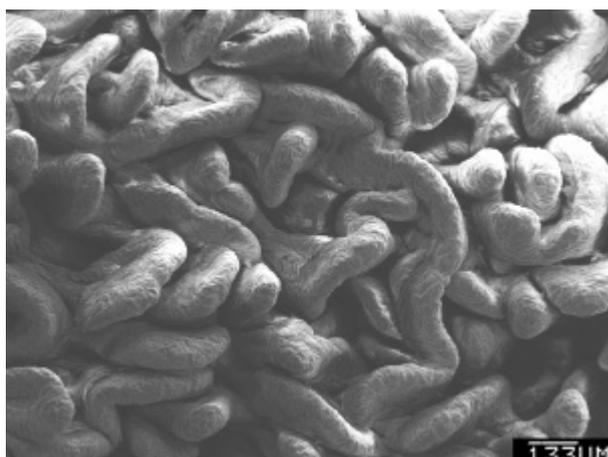


Abb. 9 (REM): Wulstige, schwer von einander abgrenzbare und einander umwindende, einem Gebirgskamm ähnliche Zotten mit mehreren „Gipfeln“ im distalen Jejunum eines Ferkels der Gruppe E.

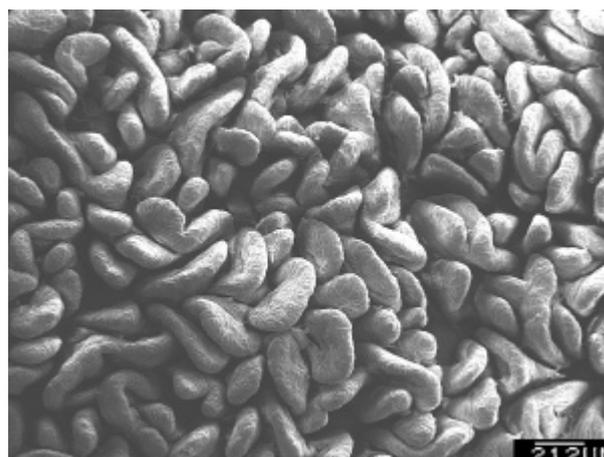


Abb. 10: Eng aneinander stehende, vereinzelt zungenförmige Zotten, meist ohne eindeutige Spitze, im distalen Jejunum eines Ferkels der Gruppe E.

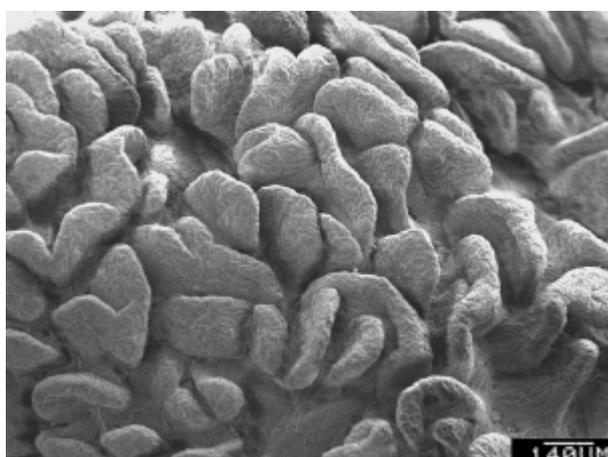
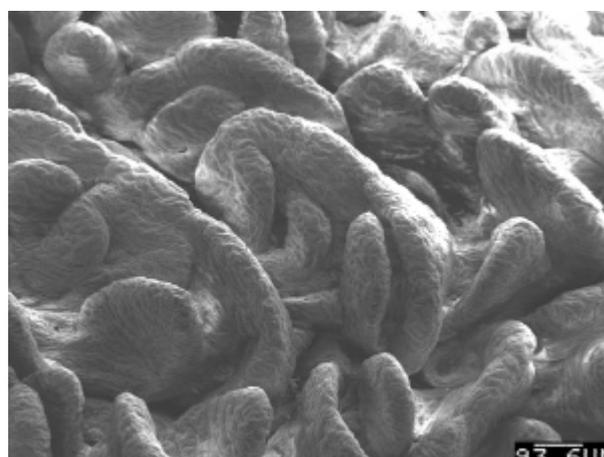


Abb. 11, 12 (REM): Einem Gebirgskamm ähnliche Zotten mit seitlichen Ausläufern oder Gabelungen im distalen Jejunum von Ferkeln der Gruppen K (Abb. 11) und E (Abb. 12).



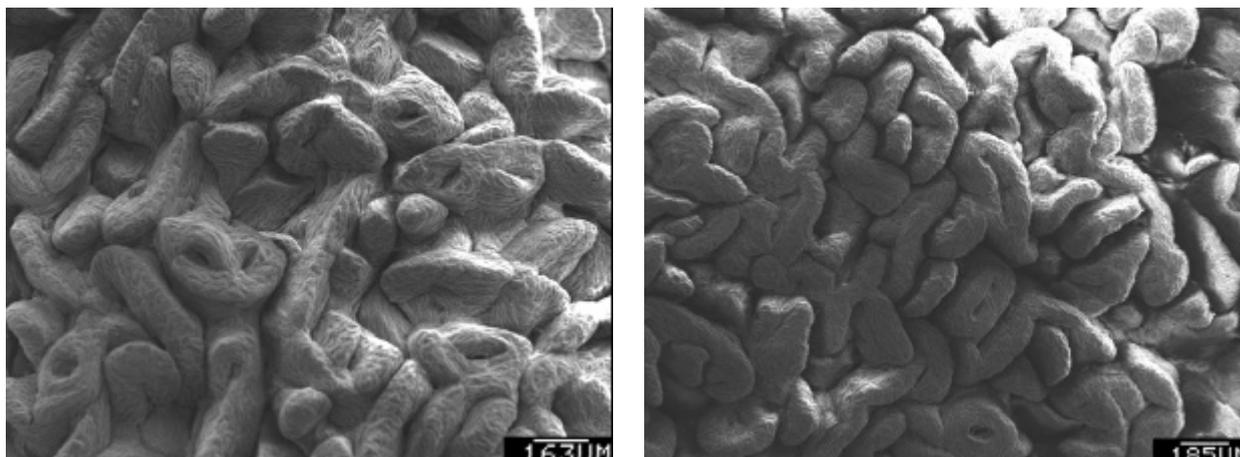


Abb. 13, 14 (REM): Nicht von einander abgrenzbare Zottenwülste, die umeinander verschlungen sind, im distalen Jejunum von verschiedenen Ferkeln der Gruppe E.

Die Ausbildung der Schleimhautoberfläche des Ileums ist abhängig von der An- oder Abwesenheit von Lymphfollikeln in der Darmwand. In follikelfreien Zonen des Ileums sind die Zotten von Tieren der Gruppen C und CMC denen des Jejunums dieser Tiere sehr ähnlich. Neben überwiegend zungen- bis blattförmigen Zotten gibt es vereinzelt fingerförmige (Abb. 15, 16). Zusätzlich werden sowohl solche Regionen gesehen, in denen die Zotten relativ breit und wulstig sind als auch solche Bereiche, in denen sie klein und stummelig erscheinen (Abb. 17, 18). Morphologische Unterschiede zwischen den Gruppen C und CMC sind nicht vorhanden.

Die Schleimhautoberfläche von follikelfreien Bereichen des distalen Ileums von Schweinen des zweiten Versuchsdurchgangs ähnelt ebenfalls der des Jejunums dieser Tiere. Die wulstige und dicht nebeneinander stehenden Zotten verhindern weitestgehend den Blick auf die Zottenbasis,

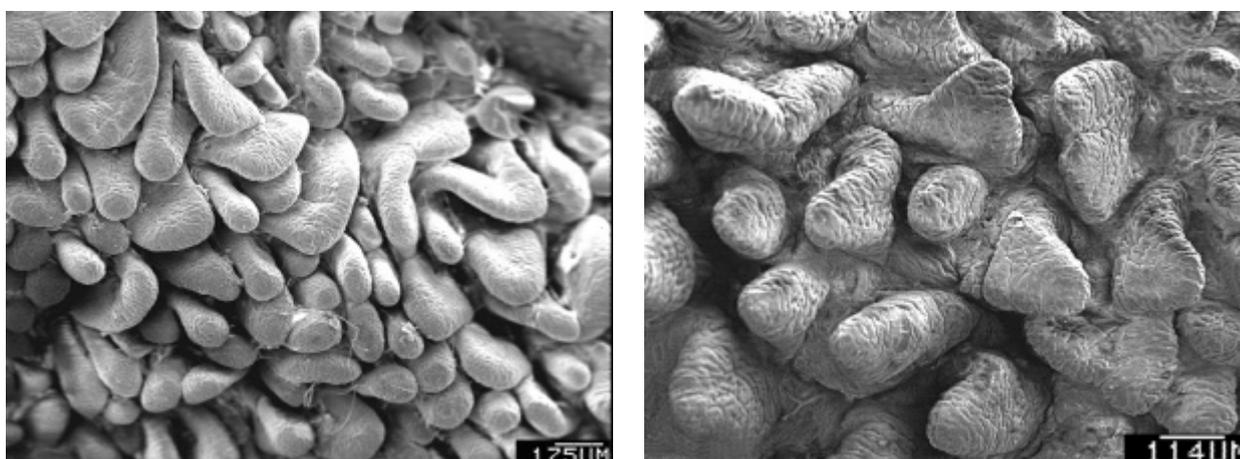


Abb. 15, 16 (REM): Zungen- bis blattförmige, dazwischen vereinzelt fingerförmige Zotten in follikelfreien Regionen des Ileums von Ferkeln der Gruppe CMC (Abb. 15) und C (Abb. 16).

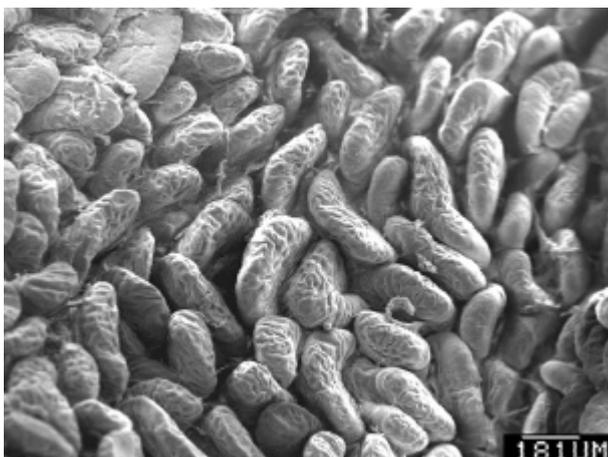


Abb. 17 (REM): Breite, etwas wulstige Zotten in einem follikelfreien Bereich des Ileums eines Ferkels der Gruppe C.

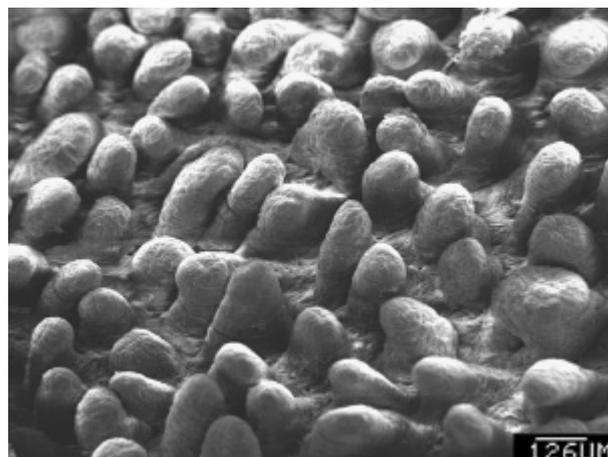


Abb. 18 (REM): Kleine, stummelig erscheinende Zotten in einer follikelfreien Region des Ileum eines Ferkels der Gruppe C.

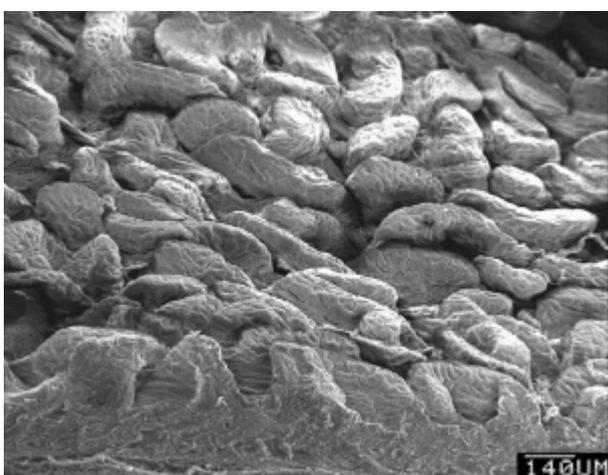


Abb. 19 (REM): Wulstige, dicht nebeneinander stehende, in ihrer Form nicht erkennbare Zotten in einer follikelfreien Region des Ileum eines Ferkels der Gruppe K.

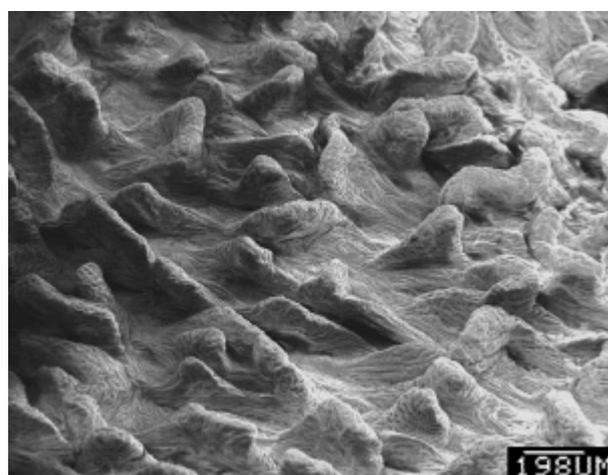


Abb. 20 (REM): Kurze, basal weit auslaufende Zotten in einem follikelfreien Bereich des Ileums eines Ferkels der Gruppe K.

sodass eine genaue Beschreibung der Zottenform auch hier nicht möglich ist (Abb. 19). Auch bei Schweinen dieser Gruppen gibt es Bereiche, in denen die Zotten stummelig erscheinen. Allerdings ist ihre Basis im Gegensatz zu denen der Gruppen C und CMC nicht rundlich, sondern deutlich in eine Richtung verlängert, wodurch die Zotte basal sehr weit ausläuft (Abb. 20).

Beschreibungen der Schleimhautoberfläche bei Vorhandensein von Lymphfollikeln in der darunter liegenden Darmwand beziehen sich im Folgenden ausschließlich auf Tiere, die mit Getreide gefüttert wurden, da in keiner rasterelektronenmikroskopischen Probe der Ferkel des ersten Versuchsdurchganges eine solche Region enthalten war. Die Darmwand ist in diesen Bereichen dicker, wobei die Ränder der Follikel licht- und rasterelektronenmikroskopisch deutlich zu erkennen sind (Abb. 21). Die über Follikeln gelegene Schleimhautoberfläche weist im Rasterelektronenmikroskop ein sehr unregelmäßiges Bild auf, ähnlich einigen Bereichen des Jejunums. Allerdings sind die ineinander greifenden, unförmigen Wülste nicht so dicht aneinander gepackt, sondern die Oberfläche wirkt insgesamt aufgelockerter, aber auch zerklüftet (Abb. 22).

Die Schleimhauterhebungen - die Bezeichnung „Zotten“ erscheint unpassend - ähneln wulstigen Leisten oder Kämmen, sind umeinander verschlungen, verlaufen aber teilweise auch gerade. Besonders auffällig sind dicke, in ihrem Querschnitt nahezu runde Erhebungen, die an ihrer lumenseitigen Oberfläche ein bis zwei trichterförmige Vertiefungen aufweisen (Abb. 23). Charakteristisch für die Ileumschleimhaut im Bereich von Peyer-Platten sind jedoch die annähernd kreisrunden, kuppelförmigen Erhebungen. Sie haben einen Durchmesser von etwa 400 bis 450 μm und erreichen meist das Niveau der Zottenbasis. Wie lichtmikroskopisch zu bestätigen ist, handelt es sich bei diesen Vorwölbungen um die Oberfläche erreichende Lymphfollikel (Abb. 23, 24). Morphologische Unterschiede zwischen Tieren der Gruppen K und E sind nicht vorhanden.

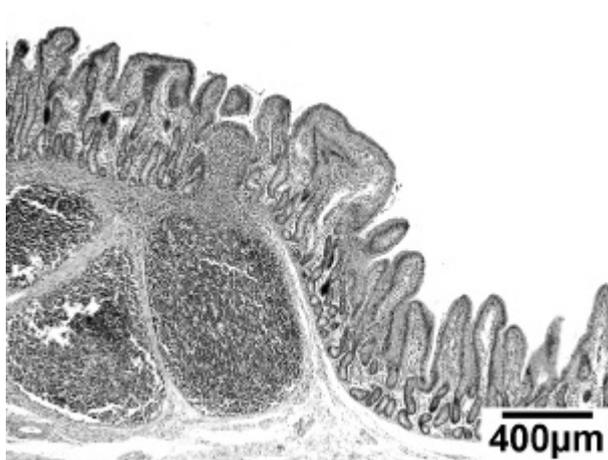


Abb. 21 (LM, HE): Übergang von einem Bereich mit Lymphfollikel (links) in eine follikelfreie Region (rechts) im Ileum eines Ferkels der Gruppe E.

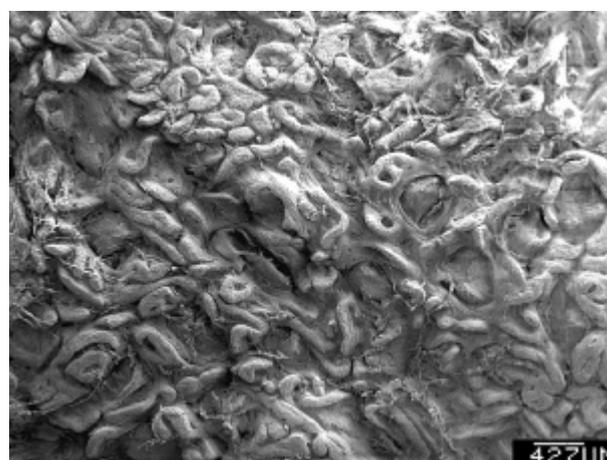


Abb. 22 (REM): Wulstig zerklüftete Oberfläche einer Schleimhautregion mit Lymphfollikel im Ileum eines Ferkels der Gruppe E.

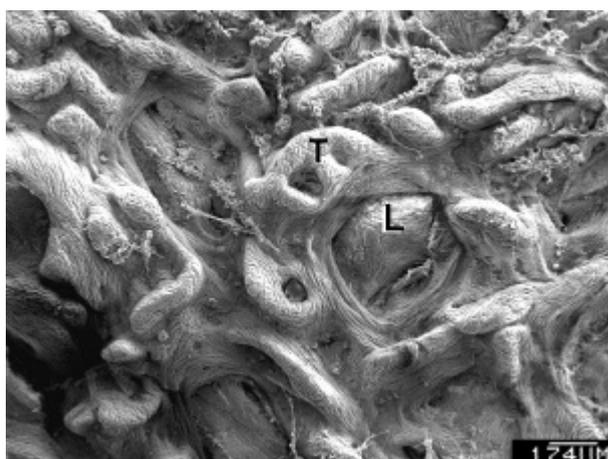


Abb. 23 (REM): Vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 22; Schleimhauterhebung mit trichterförmiger Vertiefung (T); Vorwölbung eines Lymphfollikels (L).

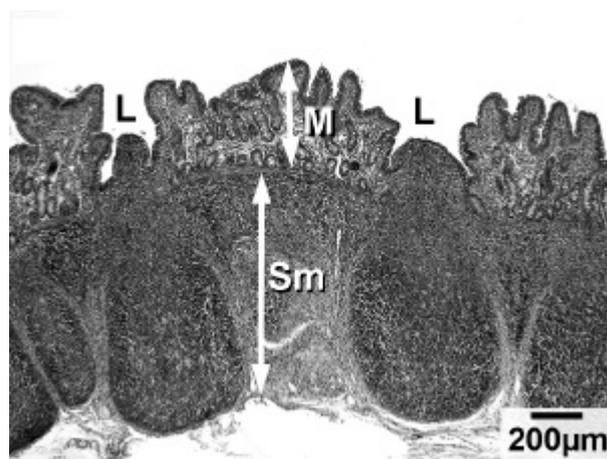


Abb. 24 (LM, HE): Die Oberfläche erreichende Lymphfollikel (L) im Ileum eines Ferkels der Gruppe E; Lamina mucosa (M); Lamina submucosa (Sm).

Die Beurteilung von Form und Verlauf der Lieberkühn-Krypten erfolgte überwiegend lichtmikroskopisch, teilweise auch rasterelektronenmikroskopisch. Krypten stellen sich als schlauchartige Einstülpungen des Darmepithels in das Bindegewebe der Lamina propria dar. Sie befinden sich ausschließlich in dieser Schicht der Darmwand.

Lichtmikroskopisch findet man in einem senkrechten Schnitt durch die Mukosa überwiegend Quer- und Schräganschnitte von Krypten (Abb. 25). Im Rasterelektronenmikroskop wird erkennbar, dass die Drüenschläuche in der Propria aufgeschlängelt sind (Abb. 26, 27).

Vereinzelt sind Aufzweigungen sichtbar, die auch im Rasterelektronenmikroskop gefunden werden (Abb. 28, 29). Im Duodenum und Jejunum sind nur in seltenen Fällen die Krypten so gerade, dass sich ihr Lumen von der Schleimhautoberfläche bis an die Lamina muscularis mucosae durchgehend verfolgen läßt. Ein Einfluß der Fütterung auf die Morphologie der Krypten ist histologisch nicht zu erkennen.

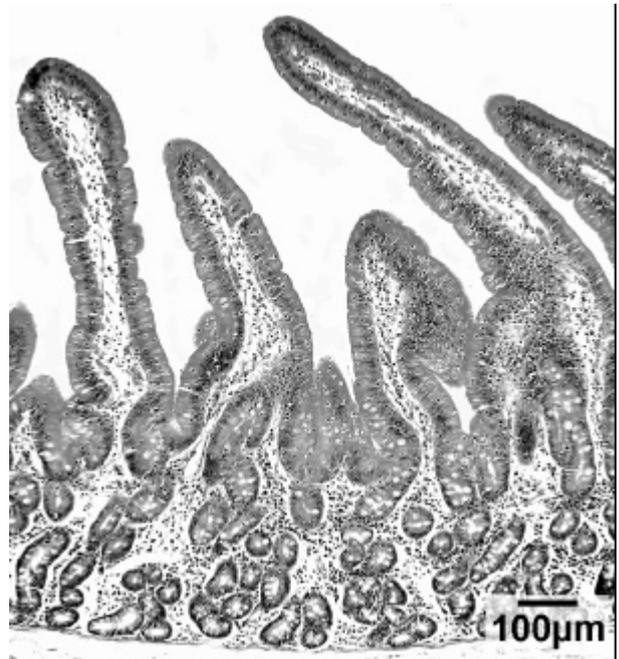


Abb. 25 (LM, HE): Senkrechter Schnitt durch die Schleimhaut des Jejunums. Die Krypten sind quer oder schräg angeschnitten.

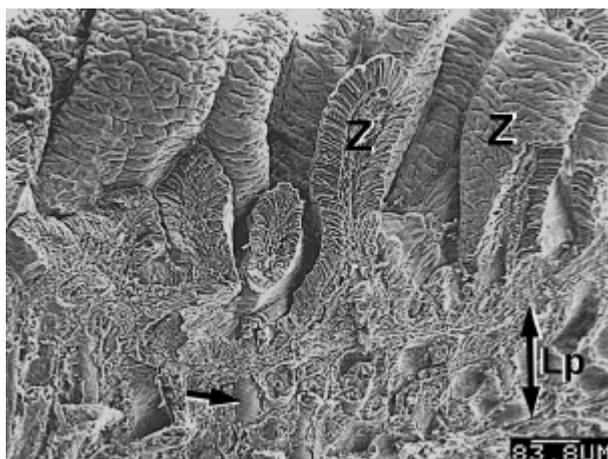


Abb. 26 (REM): Übersicht über Schleimhautquerschnitt. Angeschnittene Zotten (Z); Lamina propria mucosae (Lp); Krypte (→).

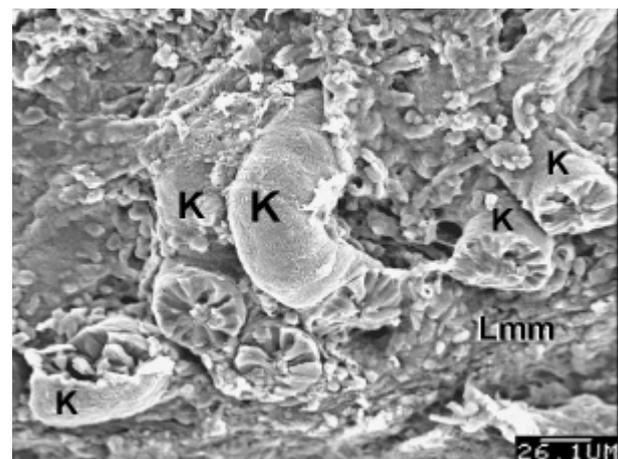


Abb. 27 (REM): Dreidimensional aufgeschlängelte Kryptenschläuche (K), umgeben von Bindegewebe der Lamina propria mucosae und basal begrenzt von der Lamina muscularis mucosae (Lmm).

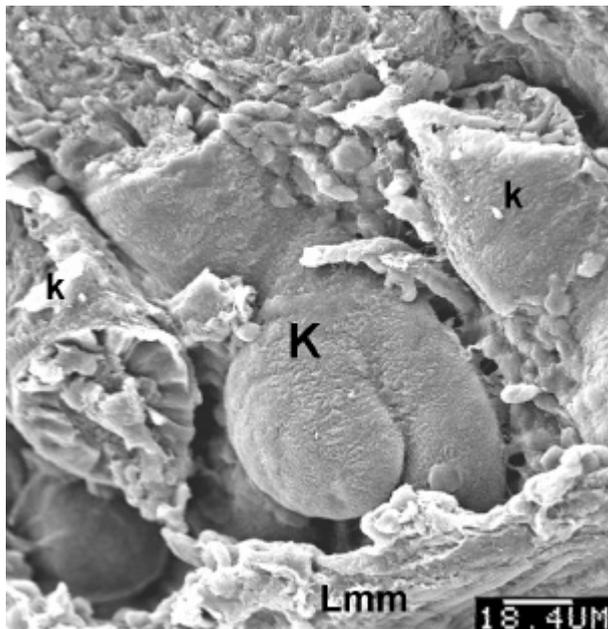


Abb. 28 (REM): Verzweigung einer Krypte (K), umgeben von Bindegewebe der Lamina propria mucosae, basal begrenzt von der Lamina muscularis mucosae (Lmm); benachbart weitere Krypten (k).



Abb. 29 (LM, HE): Schleimhautquerschnitt mit aufgezweigter Krypte (K). Zottenepithel (E); Anschnitte von Krypten (k).

Die Schleimhaut der oben beschriebenen Falten unterscheidet sich morphologisch, wie bereits angedeutet, von der der umliegenden Bereiche. Auf diesen Falten sind die freien Enden der Zotten derart an einander gedrängt, dass die Oberfläche im Rasterelektronenmikroskop hirnwindungsähnlich erscheint. Einander umwindende Leisten verhindern weitestgehend den Blick in die Tiefe, sodass die Form einzelner Zotten in diesen Bereichen nicht erfaßt werden kann. Lichtmikroskopisch ist zu erkennen, dass die Zotten auf diesen Falten deutlich kürzer sind als in den angrenzenden Bereichen. Desweiteren sind die Zottenanschnitte sehr homogen, also überwiegend gleich hoch und gleich breit und formen dadurch eine im Anschnitt mäanderähnliche Oberfläche (Abb. 30). Form und Verlauf der Krypten im Bereich dieser Falten weicht ebenfalls von denen anderer Regionen ab. Die Krypten zeigen einen überwiegend geraden Verlauf. Ihre Anschnitte sind überwiegend längs anstatt quer oder schräg. Außerdem scheinen die Krypten dichter gepackt zu sein als in Bereichen außerhalb solcher Falten (Abb. 31). Die Fütterung der verschiedenen Diäten scheint sich weder auf die Anzahl noch auf die Form solcher Schleimhautfalten auszuwirken.

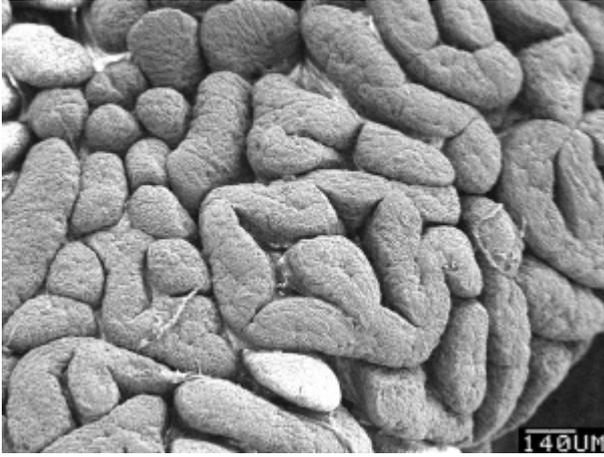


Abb. 30 (REM), Hirnwindungsähnliche Oberfläche einer Schleimhautfalte. Relativ flache, dicht gepackte, einander umwindende Schleimhautleisten verhindern den Blick in die Tiefe.

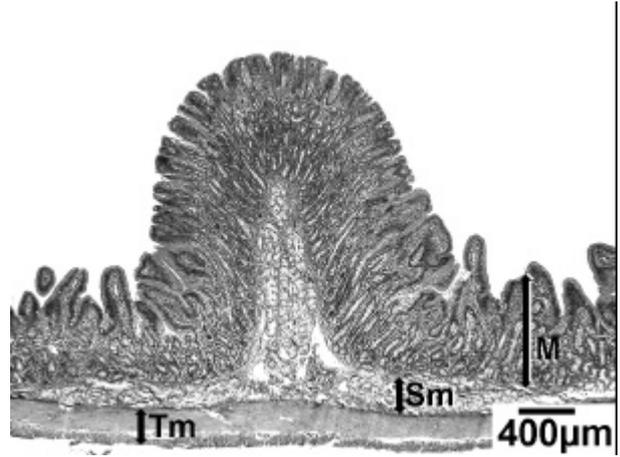


Abb. 31 (LM, HE): Querschnitt einer Schleimhautfalte. Die in diesem Bereich vorhandene Morphologie der Zotten und Krypten weicht deutlich von der der umliegenden Schleimhaut ab. Tunica mucosa (M); Tunica submucosa (Sm); Tunica muscularis (Tm).