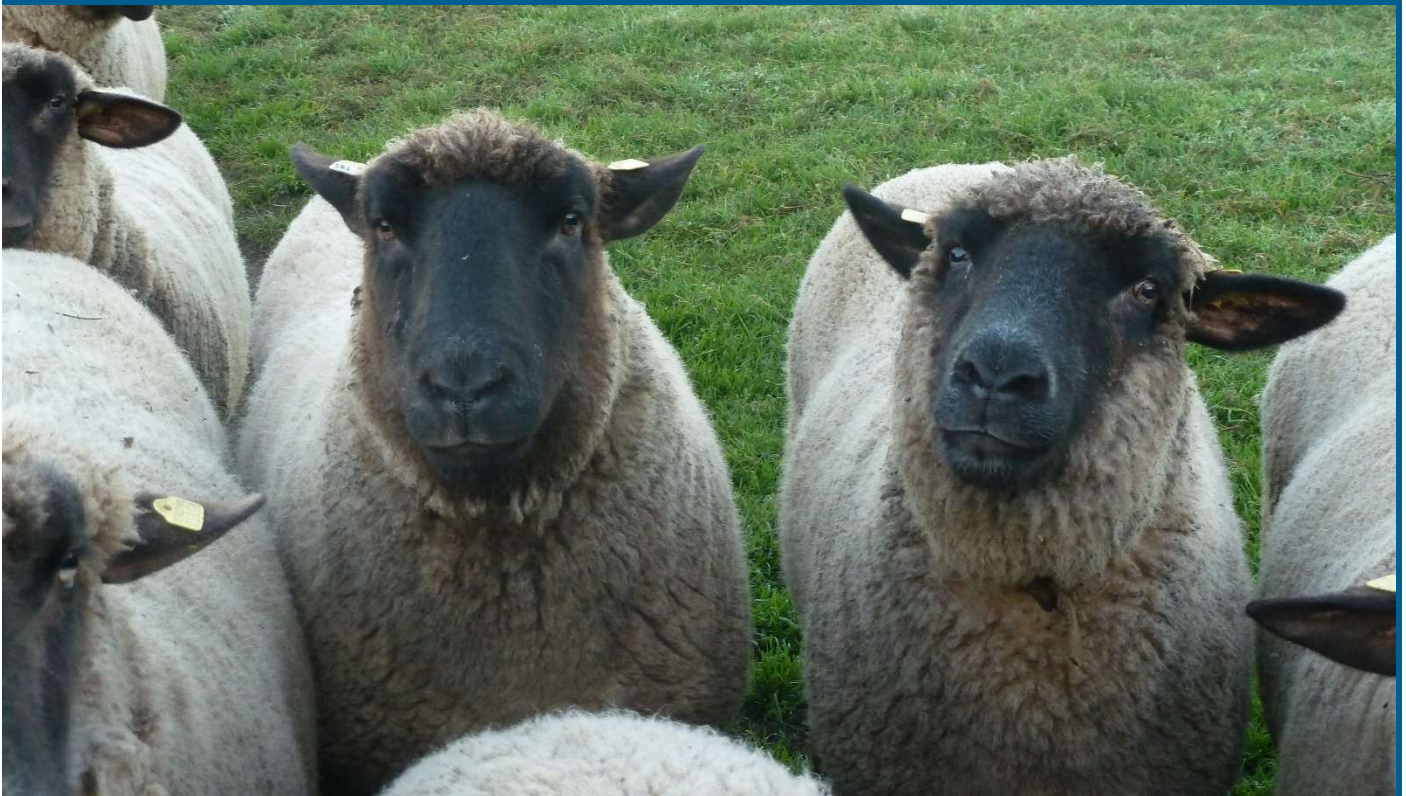


ABSCHLUSSBERICHT

Ermittlung der NDF-Verdaulichkeit verschiedener Futtermittel – ein Methodenvergleich



IMPRESSUM

Titel

Ermittlung der NDF-Verdaulichkeit verschiedener Futtermittel – ein Methodenvergleich

Forschungs-Nr.

1/61

Berichtszeitraum

7/2024 – 8/2026

Herausgeber

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen

Telefon: 0385/588 60-001

Fax: 0385/588 60-011

poststelle@lfa.mvnet.de

www.lfamv.de

Autoren

Antje Priepke • Telefon: 0385-588-60327

Sarah Rehberg • Telefon: 0385-588-60331

Unter Beteiligung von:

Bernd Losand, ehemals LFA MV

Bianca Boss, ehemals LKV Berlin-Brandenburg



Wolfram Richardt, LKV Sachsen



Titelfotos

Antje Priepke

Dummerstorf, 14.08.2026

INHALT

1	Zusammenfassung	6
2	Hintergrund	6
3	Zielstellung	7
4	Material und Methoden	7
4.1	Hammelve rsuche	8
4.1.1	Methode der Hammelve rsuche	8
4.1.2	Analyse der Nährstoffe in den Hammelve rsuchen	8
4.2	Labormethoden - Methodische Prinzipien und Analytik	8
4.2.1	Bestimmung der EiNDF zur Schätzung der NDFD (LKV BB)	8
4.2.2	Schätzung der NDFD nach CNCPS (LKS SN)	9
4.3	Schätzung der NDFD mit dem Lucas-Prinzip nach Weisbjerg et al. (2004a, b)	9
4.4	Statistische Auswertung	10
5	Ergebnisse und Diskussion	11
5.1	NDFD in vivo versus NDFD aus EiNDF (LKV BB)	11
5.2	NDFD in vivo versus Schätzung der NDFD nach CNCPS (LKS SN)	13
5.3	NDFD in vivo versus Schätzung der NDFD mit Lucas-Prinzip nach Weisbjerg et al. (2004a, b)	14
6	Fazit	17
7	Literatur	18

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: NDFD in vivo vs. NDFD-LKV-BB1,.....	11
Abbildung 2: NDFD in vivo vs. NDFD-LKV-BB2 (Methodenumkehr), Regressions-Darstellung.....	11
Abbildung 3: Bland-Altman-Plot NDFD in vivo (%) vs. NDFD nach LKV BB-1 (%)	11
Abbildung 4 : Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD (%) nach LKV BB-2 – Methodenumkehr.....	11
Abbildung 5: NDFD in vivo vs. NDFD-LKV-BB1, Werte > 50 %, Regressions-Darstellung	12
Abbildung 6: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD (%) nach LKV BB-1, Werte > 50 %.....	12
Abbildung 7: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 12 bzw. 30 h, Regressive Darstellung.....	13
Abbildung 8: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 72 bzw. 120 h, Regressive Darstellung.....	13
Abbildung 9: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 120 bzw. 240 h, Regressive Darstellung.....	14
Abbildung 10: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei einheitlich 120 h, Regressive Darstellung.....	14
Abbildung 11: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 12 bzw. 30 h	14
Abbildung 12: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 72 bzw. 120 h	14
Abbildung 13: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 120 bzw. 240 h	14
Abbildung 14: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei einheitlich 120 h	14
Abbildung 15: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung.....	15
Abbildung 16: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung.....	15
Abbildung 17: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung.....	15
Abbildung 18: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach BL 2 (%) – OMD kalkuliert aus Schätzgleichungen (GfE 2023) bzw. Tabellenwerten, Regressive Darstellung..	15
Abbildung 19: Bland-Altman-Plot NDFD in vivo (%) vs. NDFD-Schätzung nach WB 1 (%).....	16
Abbildung 20: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach WB 2 (%)	16
Abbildung 21: Bland-Altman-Plot NDFD in vivo (%) vs. NDFD- Schätzung nach BL 1 (%) – OMD aus Hammelversuchen	16
Abbildung 22: Bland-Altman-Plot NDFD in vivo (%) vs. NDFD-Schätzung nach BL 2 (%) – OMD kalkuliert aus Schätzgleichungen (GfE 2023) bzw. Tabellenwerten.....	16

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADFom	Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (Acid Detergent Fibre expressed exclusive residual ash)
ADL	Säure-Detergenzien-Lignin (Acid Detergent Lignin)
aNDFom	Neutral-Detergenzienfaser nach Amylasebehandlung und Veraschung (Neutral Detergent Fibre assayed with a heat stable amylase and expressed exclusive residual ash)
CF	Rohfaser (Crude Fibre)
CNCPS	Cornell Net Carbohydrate and Protein System
CVB	Centraal Veevoederbureau (Netherlands)
dNDF	verdauliche aNDFom
dNDS	verdauliche Neutral-Detergenzien-lösliche Substanzen
EiNDF	Enzymunlösliche (insoluble) aNDFom
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
FC	Faser- bzw. Struktur-Kohlenhydrate (fibre carbohydrates)
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
HFT	Hohenheimer Futterwerttest
INRA	Institut national de la recherche agronomique (heute INRAE National Research Institute for Agriculture, Food and Environment)
NASEM	National Academies of Sciences, Engineering and Medicine
NDFD	Verdaulichkeit der amylase-behandelten neutralen Detergenzienfaser, aschefrei
NDS	Neutral-Detergenzien-lösliche Substanzen (neutral detergent solubles)
NFC	Nichtfaserkohlenhydrate (non fibre carbohydrates)
NRC	National Research Council
OM	Organische Masse
OMD	Verdaulichkeit der Organischen Masse (Organic Matter Digestibility)
r	Korrelationskoeffizient (nach Pearson)
R ²	Bestimmtheitsmaß
TM	Trockenmasse
S _R	Reststreuung
%	Prozent

1 Zusammenfassung

Kohlenhydrate sind die wichtigste Energiequelle für die Pansenmikroben. Bei Grobfuttern fällt der größte Anteil auf die Faserkohlenhydrate. Dabei wird die aNDFom-Fraktion als geeignetster Parameter zur Charakterisierung von Faserstoffen angesehen, da sie die wichtigsten Bestandteile der Struktur-Kohlenhydrate der Zellwand (Zellulose, Hemizellulose und Lignin) enthält. In der praktischen Fütterung werden die Faserkohlenhydrate in erster Linie im Zusammenhang mit der Förderung des Kauens und Wiederkauens und damit hinsichtlich der Pansengesundheit betrachtet. Das Ausmaß der aNDFom-Verdaulichkeit (NDFD) beeinflusst den Futterdurchsatz durch den Pansen und die TM-Aufnahme. Mit Kenntnis der verdaulichen aNDFom (dNDF) kann zudem ein kalkulierbarer, quantitativer Beitrag zur Fermentationsleistung der Ration im Pansen beschrieben werden.

Die NDFD von Futtermitteln ist sehr variabel und wird dabei von der Pflanzenart, dem Reifegrad bzw. Erntezeitpunkt beeinflusst. Die Bestimmung erfolgt im Rahmen von in vivo-Versuchen mit Hammeln. Vorteilhaft wären einfache analytische Möglichkeiten zur Ermittlung der NDFD auf Basis klassischer Analyseverfahren. In der vorliegenden Untersuchung wurden daher verschiedene Verfahren zur Schätzung der NDFD vergleichend mit den Ergebnissen aus Hammelversuchen bewertet.

2 Hintergrund

Kohlenhydrate sind die wichtigste Energiequelle für die Pansenmikroben. Der größte Anteil besteht bei Konzentratfuttermitteln aus schnellverdaulichen Nichtfaserkohlenhydraten (non fibre carbohydrates NFC wie Zucker, Stärke, Pektin), während bei Grobfuttern der größte Anteil auf die Faserkohlenhydrate wie aNDFom (Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung) entfällt. Die aNDFom-Fraktion wird als geeignetster Parameter zur Charakterisierung von Faserstoffen angesehen, da sie die wichtigsten Bestandteile der Struktur-Kohlenhydrate der Zellwand enthält (Zellulose, Hemizellulose und Lignin) und somit die Unterteilung der Kohlenhydrate in Faser- bzw. Struktur-Kohlenhydrate und Nichtfaser-Kohlenhydrate (FC, NFC) ermöglicht (GRUBER, 2010). Dabei sind pflanzliche Gerüstsubstanzen heterogen und komplex zusammengesetzt, wobei die Pflanzenspecies und das Vegetationsstadium der Pflanzen von größtem Einfluss sind (GRUBER, 2010).

In der praktischen Fütterung werden die Faserkohlenhydrate in erster Linie im Zusammenhang mit der Förderung des Kauens und Wiederkauens und damit hinsichtlich der Pansengesundheit betrachtet. Aufgrund der begrenzten Futteraufnahmekapazität von Hochleistungskühen sind deren Rationen reich an hochverdaulichen NFC, deren Fermentation im Pansen zu großen Mengen an Propionsäure mit starker Säurewirkung führt. Dagegen verläuft die Fermentation der NDF langsamer und auch in geringerem Ausmaß (NRC 2001). Bei Berücksichtigung der Fermentierbarkeit der Faserkohlenhydrate könnte die ruminale Leistungsfähigkeit einer Ration besser quantifiziert und optimiert werden, da verdauliche Faserkohlenhydrate einen ähnlich hohen ME-Gehalt aufweisen wie die leicht fermentierbaren Kohlenhydrate. Insofern kann die verdauliche NDF (dNDF) einen kalkulierbaren, quantitativen Beitrag zur Fermentationsleistung der Ration im Pansen beschreiben, was – so differenziert – mit der verdaulichen organischen Masse nicht möglich ist (LOSAND et al., 2024).

Einen zweiten Aspekt birgt laut LOSAND et al. (2024) das Potenzial zur Beschreibung der biochemischen Verhältnisse als Indikator für die Lebensbedingungen des Pansenmikrobioms. Zusätzlich zur Strukturwirkung der Faserkohlenhydrate im Hinblick auf Wiederkauen und Speichelbildung kann hier auch deren verzögerte Abbaurate und die daraus resultierende Bildung flüchtiger Fettsäuren zur Beschreibung unterschiedlicher Abbaudynamiken in die Betrachtungen einbezogen werden.

Als 3. Aspekt wird die mögliche Berücksichtigung bei der Rationskalkulation und der jeweiligen Komponentenauswahl genannt. So zeigte sich in Untersuchungen von ENGELHARD et al. (2020) beim Einsatz von Biertreber mit hoch verdaulicher NDF bei gleichzeitig abgesenkten Stärke- und Zuckergehalten und gleicher TM- und Energieaufnahme eine signifikant erhöhte Milchleistung. Als Hintergrund wurden positive Effekte

auf die Produktivität des Pansenmikrobioms durch Verwendung von Futtermitteln mit hoher NDF-Verdaulichkeit bei gleichzeitiger Begrenzung von Stärke diskutiert. In eigenen Untersuchungen zur Ermittlung der Nährstoffverdaulichkeit und zum energetischen Futterwert von verschiedenen Futtermitteln (PRIEPKE UND LOSAND 2022) zeigte sich bei Ergänzung mit Trockenschnitzeln eine erhöhte Verdaulichkeit der OM und der CF der eingesetzten Grassilage. In Rusitec-Untersuchungen von MÜNNICH et al. (2016) wurde beim anteiligen Austausch von Maissilage durch Trockenschnitzel eine erhöhte NDF-Verdaulichkeit der Gesamtration ermittelt.

In internationalen Futterbewertungssystemen spielt die NDFD daher schon seit längerem eine Rolle (CNCPS (VAN AMBURGH et al., 2015), NRC/NASEM (2021), INRA (2018), CVB (2022)). Auch seitens der DLG werden Potenziale bei Nutzung der NDFD gesehen (DLG 2025a). Aufbauend darauf könnte der Fermentationsindex FI_{KH} genutzt werden, um die Stabilität des Pansen-pH einzuschätzen. FI_{KH} stellt den Anteil der DNDF an der Summe aller im Pansen abbaubaren Kohlenhydrate dar.

Auswertungen von LOSAND et al. (2024) zeigen einen engen Zusammenhang zwischen der NDF-Verdaulichkeit (NDFD) und der Verdaulichkeit der organischen Masse (OMD), da die NDFD immanenter Bestandteil der OMD ist. Dennoch ist die Enge dieses Zusammenhangs nicht zwingend von der Höhe des Anteils aNDFom an der OM allein abhängig, sondern auch von der NDFD selbst und insofern zwischen den Futtermittelgruppen unterschiedlich ausgeprägt.

Die NDFD kann im Rahmen von in vivo-Versuchen mit Hammeln erfasst werden, davon ausgehend, dass das Ergebnis der Analyse sowohl in den verschiedensten Futterstoffen als auch im Kot vergleichbar ist. Der Beitrag von LOSAND et al. (2024) befasste sich mit der Frage, ob und wie die NDFD futtermittelspezifisch repräsentativ charakterisiert werden kann. Für einige Futtermittelgruppen wie Samen und Verarbeitungsprodukte von Getreide, Raps und Körnerleguminosen erschien eine tabellarische Darstellung möglich. Für andere Futtermittel, im Wesentlichen Grobfutter, wie Ernteprodukte von Grasaufwüchsen, Silomais und oder Getreideganzpflanzensilagen, sollte die konkrete NDFD ermittelt werden.

Daraus leitete sich die im Folgenden dargestellte Zielstellung ab.

3 Zielstellung

Ziel dieser Arbeit war es, verschiedene Labormethoden zur Schätzung der NDFD vergleichend zu in vivo-Ergebnissen aus Hammelversuchen zu prüfen.

Zunächst sollte gemeinsam mit dem LKV BB eine Labormethode zur Bestimmung der NDFD entwickelt werden, die auf den bereits bestehenden Standardanalysen für die Ermittlung von ELOS und aNDFom beruht. Dabei sollte die Vergleichbarkeit dieser Methode mit den in vivo-Ergebnissen aus Hammel-Versuchen geprüft werden. Darüber hinaus sollte auch die NDF-Abbaubarkeit im Pansen (nach CNCPS, LKS SN) den in vivo-Ergebnissen gegenübergestellt werden. Dazu wurden Futterrückstellproben aus Hammelversuchen an beide Labore geschickt. Ergänzend wurden die aNDFom-Verdaulichkeiten mit dem Lucas-Prinzip nach WEISBJERG et al. (2004 a,b) und in adaptierter Form nach LOSAND et al. (2024) geschätzt.

4 Material und Methoden

Es wurde aus insgesamt 52 Futter-Rückstellproben (Grob- und Konzentratfutter), die bereits im Hammelversuch getestet wurden, Material an die Labore LKV BB eV (48 Proben) sowie LKS mbH Sachsen (50 Proben) geschickt, um die im Hammelversuch ermittelte aNDFom-Verdaulichkeit (NDFD) mit zwei verschiedenen Labormethoden zur Beurteilung der aNDFom-Verdaulichkeit zu vergleichen. Dabei handelte es sich um 18 Konzentratfutter (Roggen, Rapsprodukte, Körnerleguminosen, Biertreber, Trockenschnitzel, Feuchtmals) und 33 Grobfutter (verschiedene Silagen, Dinkelspelzen sowie Kälber-Trocken-TMR).

4.1 Hammelversuche

4.1.1 Methode der Hammelversuche

Die Durchführung der Verdauungsversuche orientierte sich an den von SCHIEMANN (1981) bzw. an den vom Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1991) herausgegebenen Richtlinien zur Durchführung von Verdauungsversuchen zur Futterwertschätzung sowie an eigenen Untersuchungen zur Methodenstandardisierung. Die Konzentratfutter wurden grundsätzlich im Differenzversuch nach vorheriger Prüfung des verwendeten Beifutters (Direktversuch) geprüft. Die Grobfutter wurden im Direktversuch untersucht, wobei in den letzten Jahren eine definierte Menge an Konzentratfutter mit bekannter Nährstoffverdaulichkeit zugegeben wurde, um Fehlversorgungen im Pansen zu vermeiden (PRIEPKE UND LOSAND, 2021). Eine detaillierte Beschreibung zur Haltung, Fütterung, Probenahme und Kalkulation der Verdaulichkeit im Direkt- bzw. Differenzversuch ist bei PRIEPKE UND LOSAND (2023) zu finden.

4.1.2 Analyse der Nährstoffe in den Hammelversuchen

Die Nährstoffanalyse erfolgte an der LUFA Rostock nach nasschemischen Verfahren und umfasste die Weender Analyse, ADFom und aNDFom, sowie beim Futter zusätzlich Zucker, Stärke, ADL, die Enzymlöslichkeit der organischen Substanz (ELOS) sowie die Gasbildung nach dem Hohenheimer Futterwert-Test (HFT). Die Analytik der Nährstoffzusammensetzung wurde nach dem Methodenbuch III des Verbandes VDLUFA (2012) durchgeführt. Zudem erfolgte in den Silageproben die Gärsäure- und Alkoholbestimmung zur notwendigen TM-Korrektur auf flüchtige Substanzen (nach WEISSBACH UND KUHLA, 1995).

4.2 Labormethoden - Methodische Prinzipien und Analytik

4.2.1 Bestimmung der EiNDF zur Schätzung der NDFD (LKV BB)

Dieser neue Ansatz dient der methodischen Prüfung einer in vitro-Schätzung der NDFD. Er stellt eine Kombination der ELOS- und aNDFom –Analytik dar. Die Grundidee ist, dass die Differenz aus aNDFom und EiNDF (Enzymunlösliche NDF) der verdaulichen aNDFom entspricht.

Geräte:

- Verwendung von ANKOM Filter Bags F57
- Inkubator für ELOS: ANKOM DAISY II-Inkubator®
- Bestimmung der aNDFom: ANKOM 2000

1. Schritt:

Bestimmung der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) in Futtermitteln (VDLUFA Methodenbuch Bd. III 6.6.1):

Die Probe (im Filter Bag F57 eingeschweißt) wird in der Ankom Daisy 24h mit Pepsin-Salzsäure-Lösung behandelt, danach 24h mit Cellulasepufferlösung versetzt.

Der methodische Schritt Trocknen/Wägen/Veraschen/Wägen entfällt.

Im Filter Bag verbleibt die in den Enzymen (Pepsin und Cellulase) unlösliche Substanz (organisch und anorganisch) und Wasser.

2. Schritt:

Bestimmung von aNDFom in der enzymunlöslichen Substanz (VDLUFA Methodenbuch Bd. III 6.5.1, 2012)

Die im ersten Schritt vorbehandelten Filter Bags werden der aNDFom-Bestimmung mittels Ankom 2000 unterzogen. Im Filter Bag verbleibt die in den Enzymen (Pepsin und Cellulase) und der neutralen Detergenzienlösung unlösliche Substanz (organisch und anorganisch).

3. Der Schritt Trocknung/Wägen/Veraschen/Wägen wird vollzogen. Es verbleibt der anorganische Anteil des nach zwei Bestimmungen verbleibenden Rückstands.

4. Berechnung der NDFD (%)

Durch Rückwaage des Ascherestes und Verrechnung mit dem getrockneten Rückstand nach zwei Bestimmungen ergibt sich die enzymunlösliche organische NDF (EiNDF). Die Differenz zwischen dem ursprünglichen Gewicht der Probe und dem Gewicht nach der Inkubation (enzymunlösliche organische NDF bzw. unabbaubarer Anteil) ergibt die Menge abgebauter NDF in der Probe. Die NDF-Verdaulichkeit NDFD wird als Prozentsatz der abgebauten aNDFom im Vergleich zur ursprünglich eingeführten aNDFom berechnet.

Nach Vorliegen der Ergebnisse wurde in einem Teil des Probenmaterials in Wiederholungsuntersuchungen geprüft, ob eine Methodenänderung eine größere Anpassung der Schätzergebnisse an die in vivo-Ergebnisse ergibt. Dazu wurden die Schritte 2 und 1 getauscht und somit im Rückstand der aNDFom-Bestimmung der ELOS-Gehalt ermittelt.

4.2.2 Schätzung der NDFD nach CNCPS (LKS SN)

Mit der Bestimmung der Pansenabbaubarkeit der Fraktion Neutral-Detergenzien-Faser sollen das Ausmaß und die Schnelligkeit des mikrobiellen NDF-Abbaus im Pansen geschätzt werden. Die NDFD zielt also im eigentlichen Sinne auf die NDF-Abbaubarkeit im Pansen, dem Hauptort der NDF-Verdauung ab. Ein gewisser Anteil (5-20 %) kann auch noch im Dickdarm verdaut werden.

Geräte:

- Verwendung von ANKOM Filter Bags F57
- Inkubator für ELOS: ANKOM DAISY II-Inkubator®
- Bestimmung der aNDFom: ANKOM 2000

Prinzip:

1. Das Futtermittel wird in einem Filter-Bag in einem ANKOM DAISY II-Inkubator® mit einer Pansensaft-Pufferlösung gemischt und 12, 72 oder 120 h (Konzentrate) bzw. 30, 120 oder 240 Stunden (Grobfutter) bei 39 °C inkubiert. Der erste Messpunkt entspricht einer mittleren Verweilzeit eines Futtermittelpartikels bei hoher Futteraufnahme. Der zweite Messpunkt wird für die Berechnung der Abbaugeschwindigkeit und der Passagerate benötigt. Der dritte Messpunkt dient zur Ermittlung der nicht abbaubaren/unverdaulichen NDF.
2. Nach der Inkubation wird aus dem Probenrückstand über eine klassische NDF-Bestimmung mittels ANKOM 2000 Faseranalysator (VDLUFA Methodenbuch Band III Kapitel 6.5.1, 2012) die NDF- Fraktion analysiert.

Die abbaubare NDF bzw. die Abbaubarkeit der NDF werden mit Hilfe der Probeneinwaage und dem Probenrückstand nach der Inkubation berechnet. Die Pansenabbaubarkeit wird als Prozentsatz des abgebauten NDF im Vergleich zum ursprünglich eingeführten NDF berechnet.

4.3 Schätzung der NDFD mit dem Lucas-Prinzip nach Weisbjerg et al. (2004a, b)

Eine weitere Möglichkeit ist, den engen statistischen Zusammenhang zwischen OMD und NDFD für die Schätzung der NDFD entsprechend WEISBJERG et al. (2004a, b), heranzuziehen (siehe Losand et al., 2024). Aufbauend auf dem „Lucas-Prinzip“ haben WEISBJERG et al. (2004a, b) einen Datenpool aus Verdaulichkeitsuntersuchungen mit Hammeln zwischen 1984 und 2004 an 493 Futtermitteln ausgewertet und einen engen

Zusammenhang zwischen dem Gehalt an NDS (neutral detergent solubles = OM – NDF) und der Verdaulichkeit der NDS festgestellt. Die scheinbare Verdaulichkeit der Neutral Detergent Solubles NDS berechnet sich nachfolgend aus dem Gehalt an NDS in der Trockenmasse (TM):

$$\text{Scheinbare NDS-Verdaulichkeit (NDS\%, \%)} = 101,3 - [902/\text{NDS (\% in TM)}] ; R^2 = 0,97 \quad s_R = 2,3$$

(WEISBJERG et al. 2004a)

Wenn die OMD bekannt ist, lässt sich über die Berechnung der Differenz aus OMD und Verdaulichkeit der NDS der Anteil verdaulicher NDF und darüber die Verdaulichkeit der NDF (NDFD) berechnen:

$$\text{NDFD (\%)} = [\text{OM} * \text{OMD}/100 - \text{NDS} * \text{NDS-D}/100] * 100 / \text{aNDFom}; \quad R^2 = 0,74 \quad s_R = 6,4$$

(WEISBJERG et al. 2004b).

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse aus den Hammelversuchen konnte für die Futtermittel eine entsprechende Kalkulation vorgenommen werden.

Da in der Regel keine unmittelbaren Ergebnisse aus dem Hammeltest vorliegen, erfolgte ergänzend die Kalkulation der NDFD auf Grundlage kalkulierter Werte bzw. Tabellenwerte für die OMD. Für die Grobfutterleguminosen, Maisprodukte und grasbetonte Grünlandaufwüchse wurden die Formeln nach GfE 2023, Kapitel 2.2.7., verwendet. Für die geprüften Konzentratfutter wurden Tabellenwerte (je nach Verfügbarkeit DLG 2025b bzw. GfE 1997) genutzt.

LOSAND et al. (2024) wandten den oben erläuterten prinzipiellen Zusammenhang zwischen dem Anteil verdaulicher NDS und dem Anteil NDS an der Trockenmasse auf eine eigene Datenmenge aus Hammelversuchen von n=768 an. Dabei ergab sich ein ähnlich enger Zusammenhang wie bei WEISBJERG et al. (2004a):

$$\text{dNDS (\% in TM)} = 1,111 * \text{NDS (\% in TM)} - 15,13 \quad R^2 = 0,97 \quad s_R = 2,62$$

Daraus errechnet sich die scheinbare Verdaulichkeit der NDS:

$$\text{apparent NDS\%} = 111,1 - [1513/\text{NDS (\% in TM)}]$$

Die Verdaulichkeit der NDF ergibt sich wie folgt:

$$\text{NDFD (\%)} = (\text{OM} * \text{OMD}/100 - \text{NDS} * \text{NDS\%}/100) * 100 / \text{aNDFom} \quad R^2 = 0,6 \quad s_R = 9,3$$

(OM, aNDFom, NDS jeweils in g/kg TM)

Auch dieser Formelansatz wurde für die vorliegenden Futterproben geprüft und mit den in vivo-Ergebnissen abgeglichen.

4.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 4.6.0) (R Core Team, 2025) unter Verwendung der Entwicklungsumgebung RStudio (Version 2026.5.0.218). Für den Datenimport und die Datenaufbereitung wurden die R-Pakete readxl, dplyr und stringr verwendet (WICKHAM & BRYAN, 2026; WICKHAM et al., 2026; WICKHAM, 2025).

Zur Abschätzung der Methodenübereinstimmung erfolgte neben einer regressiven Auswertung eine grafische Darstellung mittels Differenzdiagrammen, den sogenannten Bland-Altman-Plots (ALTMAN UND BLAND, 1983). Es werden die Ergebnisse aus Labormethode 1 bzw. 2 mit den Ergebnissen der Vergleichsmethode (hier in vivo) gemittelt (X-Achse) und der Differenz zwischen der jeweiligen Labormethode und den in vivo-Daten gegenübergestellt (Y-Achse). Die Linie „Mean of difference“ veranschaulicht die mittlere

Abweichung von der Vergleichsmethode. Die beste Übereinstimmung der Methoden besteht, wenn die Werte im Bereich von Null liegen. Mit Hilfe der Bland-Altman-Plots kann beurteilt werden, ob Vergleichsmethoden systematisch kleinere oder größere Methoden liefern. Anhand der Punkteverteilung kann zudem festgestellt werden, ob eher kleinere oder große Werte zu einer möglichen Verschiebung beitragen. Eine ausführliche Darstellung zur Beschreibung der Bland-Altman-Analyse findet sich bei GIAVARINA (2015).

Zusätzlich können über die Formel: „Mittelwert der Differenz $\pm$ 1,96*Standardabweichung der Differenz“ obere und untere Grenzen (Limits of Agreement) eingetragen werden, innerhalb derer 95 % der Differenzen zwischen den Methoden liegen. Die Limits of Agreement ermöglichen es, aus einer beobachteten Messung mit einer Methode abzuschätzen, wie hoch der Wert einer Messung am selben Objekt zur selben Zeit mit der anderen Methode sein könnte, und zwar als ein Bereich möglicher Werte.

Die Regressions- und Bland-Altman-Analysen sowie deren grafische Darstellung erfolgten unter Verwendung der Pakete tidyverse, purrr und scales (WICKHAM et al., 2019; WICKHAM & HENRY, 2026; WICKHAM et al., 2025).

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 NDFD in vivo versus NDFD aus EiNDF (LKV BB)

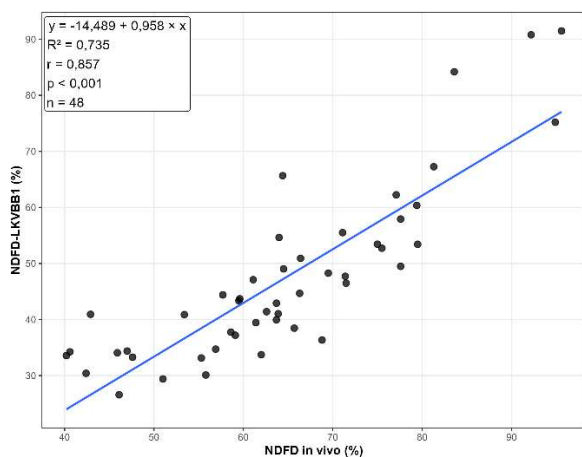


Abbildung 1: NDFD in vivo vs. NDFD-LKV-BB1, Regressions-Darstellung

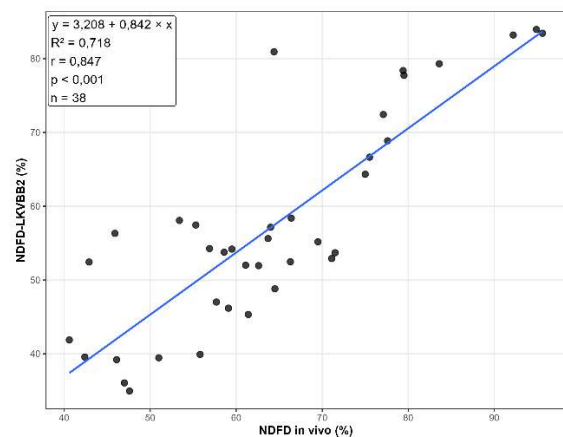


Abbildung 2: NDFD in vivo vs. NDFD-LKV-BB2 (Methodenumkehr), Regressions-Darstellung

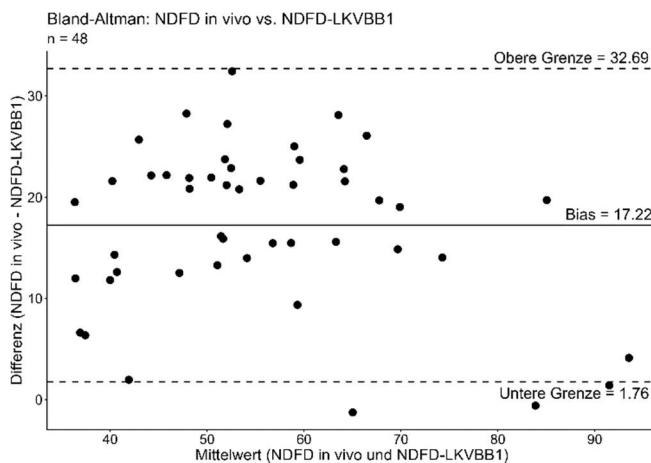


Abbildung 3: Bland-Altman-Plot NDFD in vivo (%) vs. NDFD nach LKV BB-1 (%)

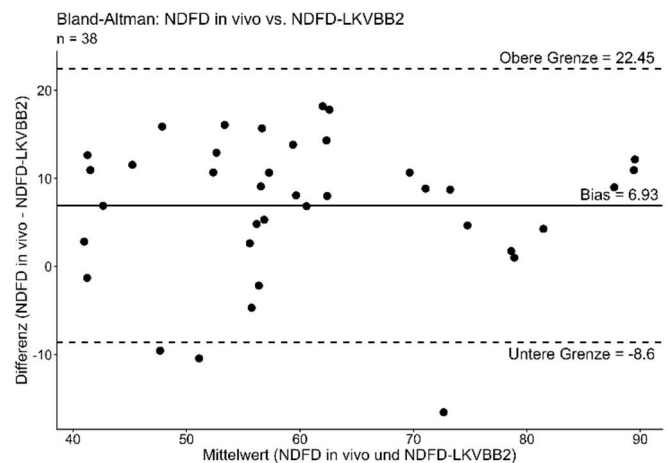


Abbildung 4 : Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD (%) nach LKV BB-2 – Methodenumkehr

Die Datenauswertung mittels linearer Regression zeigte bei der Methode 1 einen recht engen Zusammenhang zwischen der NDFD aus EiNDF zu den in vivo-Ergebnissen ($R^2 = 0,735$, Abbildung 1). Im Nachgang der Untersuchungen wurde 38 Futterproben auch das umgekehrte Verfahren getestet. Als erstes wurde die NDF-Bestimmung durchgeführt und danach im ND-unlöslichen Rest die Enzymunlösliche Substanz ermittelt (NDFEi). Die regressive Darstellung kam zu einem ähnlichen Zusammenhang wie die Methode 1 ($R^2 = 0,718$, Abbildung 2). Die Korrelationskoeffizienten liegen mit $r = 0,857$ bzw. $0,847$ sehr nahe beieinander.

Bei Betrachtung der entsprechenden Bland-Altman-Plots für Methode 1 und 2 (Abbildung 3 und Abbildung 4) wird ersichtlich, dass die Werte mit wenigen Ausnahmen innerhalb der „Limits of Agreement“ lagen. Ob dieser Bereich als akzeptabel angesehen werden kann, ist jedoch fachlich zu diskutieren. Alle mittleren Differenzen lagen bei der LKV-BB-Methode $1 > 0$, was eine systematische Unterschätzung der NDFD-Werte im Vergleich zum Hammeltest anzeigt. Es fallen einige Werte auf, die nahe am Bereich „Null Differenz“ und nahe am unteren Limit of Agreement liegen, dies betraf u.a. einige Futtermittel mit hohen Verdaulichkeiten (u.a. Feuchtmals und Trockenschnitzel). Grundsätzlich stellen Mittelwertdifferenzen nahe Null eine gute Methodenübereinstimmung dar. Jedoch besteht hier die Möglichkeit, dass es bei diesen Futtermitteln im Hammeltest aufgrund suboptimaler Pansenbedingungen im Differenzversuch zu einer Überschätzung der Beifutterverdaulichkeit und bei Differenzbildung zu einer Unterschätzung der Verdaulichkeit des Konzentratfutters kam.

Mit der umgekehrten Methode LKVBB2 zeigte sich eine deutlich bessere Übereinstimmung mit der in vivo-Methode als LKVBB1. Der Bias betrug für LKVBB2 6,93 %-Punkte gegenüber 17,22 %-Punkten für LKVBB1. Damit lag der absolute Bias von LKVBB2 rund 60 % niedriger als der von LKVBB1. Besonders wichtig ist die Lage der 95%-Übereinstimmungsgrenzen. Bei der Methode LKVBB1 lagen die Grenzen bei +1,76 bis +32,69 %-Punkte. Damit lag sogar die untere 95%-Grenze noch oberhalb von 0, d.h. die Differenz *in vivo* – LKVBB1 ist immer positiv. Dies weist auf eine ausgeprägte systematische Unterschätzung der NDFD LKVBB1 im Vergleich zur in vivo-Methode hin. Die 95%-Übereinstimmungsgrenzen reichten dagegen bei LKVBB2 von –8,60 bis 22,45 %-Punkte und schlossen damit den Nullpunkt ein. Die Breite der 95%-Übereinstimmungsgrenzen war mit 31,05 %-Punkten für LKVBB2 und 30,93 %-Punkten für LKVBB1 nahezu identisch. Der Vorteil von LKVBB2 beruht somit v.a. auf der deutlich geringeren systematischen Abweichung und nicht auf einer geringeren Streuung der Differenzen.

Eine weitere Überlegung war, grundsätzlich nur Werte > 50 % NDF-Verdaulichkeit einzubeziehen (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6). Bei den Proben mit einer NDFD > 50 % (LKVBB1) reduzierte sich zwar der mittlere Bias gegenüber der Gesamtgruppe (17,22 auf 13,45 %-Punkte), die 95%-Übereinstimmungsgrenzen blieben jedoch weit. Es kam zu keiner verbesserten individuellen Übereinstimmung mit der in vivo-Methode.

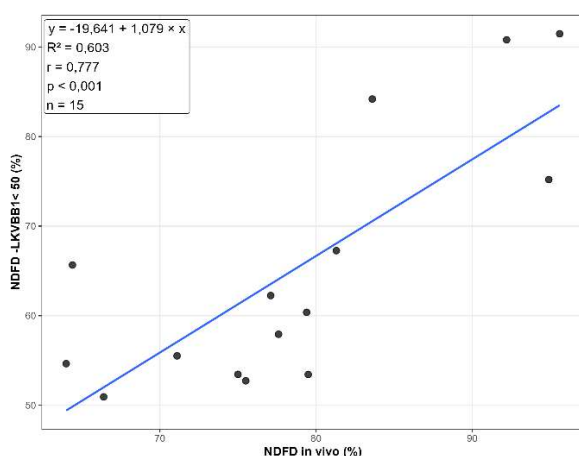


Abbildung 5: NDFD in vivo vs. NDFD-LKV-BB1, Werte > 50 %, Regressions-Darstellung

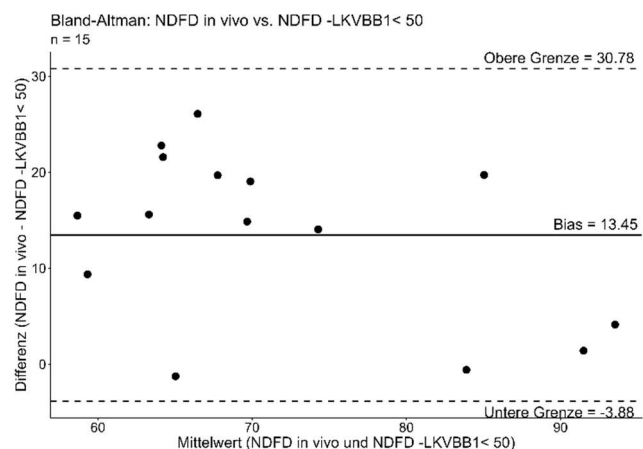


Abbildung 6: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD (%) nach LKV BB-1, Werte > 50 %

5.2 NDFD in vivo versus Schätzung der NDFD nach CNCPS (LKS SN)

Es wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten die NDF-Abbauraten von insgesamt 52 Futtermitteln bestimmt. Obwohl die Messung bei 120 h (Konzentratfutter) und 240 h (Grobfutter) das eigentliche Potenzial für die ruminale NDF-Abbaubarkeit darstellt, ergab sich bei Datenauswertung mittels linearer Regression und einheitlicher Auswertung der 120-h-Messwerte über alle Futtermittel der engste Zusammenhang zur in vivo-Verdaulichkeit (Abbildung 10). Jedoch zeigte sich im Vergleich zur EiNDF-Methode des LKV-BB (Abbildung 1, Abbildung 2) ein deutlich geringerer Zusammenhang zwischen der NDFD nach CNCPS zu den in vivo-Ergebnissen, was mit einer größeren Streuung im Zusammenhang steht.

Dies zeigt sich auch bei der Betrachtung der Bland-Altman-Plots (Abbildung 11 bis Abbildung 14). Die mittlere Differenz zwischen den beiden Messwerten lag bei einheitlicher Auswertung der 120h-Messwerte bei -0,55%-Punkten und war damit deutlich geringer als z.B. die EiNDF-Methode des LKV-BB2. Die Methode LKS-120/120 h wies damit nahezu keine systematische Abweichung auf. Jedoch waren die 95%-Übereinstimmungsgrenzen bei der Methode LKS-120/120 h deutlich weiter (-29,18 bis 28,08 %-Punkte), die Variabilität der Einzelmessungen damit erheblich höher. LKVBB2 wies demgegenüber eine größere systematische Unterschätzung, aber eine bessere Präzision bzw. engere Übereinstimmung mit den in vivo-Werten auf.

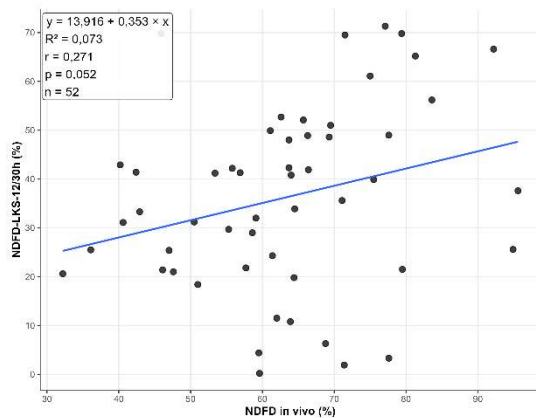


Abbildung 7: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 12 bzw. 30 h, Regressive Darstellung

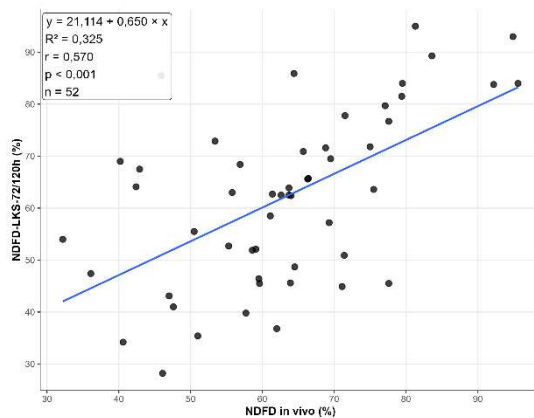


Abbildung 8: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 72 bzw. 120 h, Regressive Darstellung

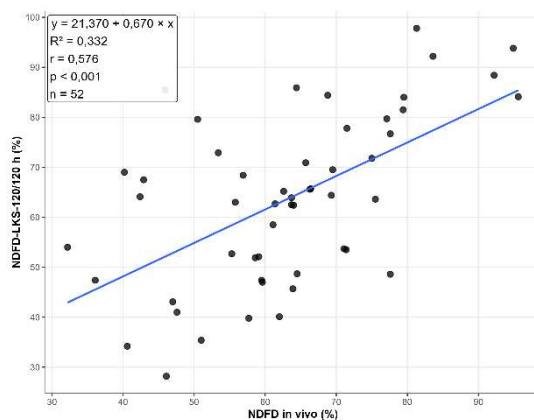
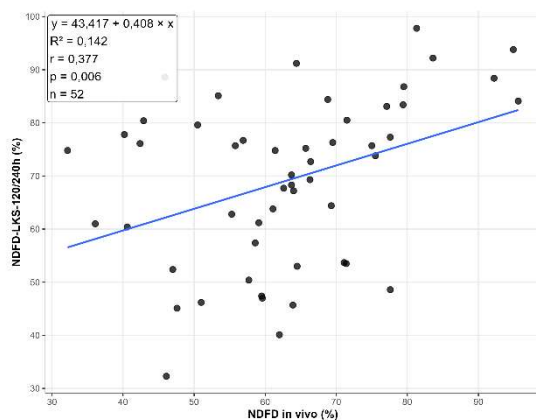


Abbildung 9: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 120 bzw. 240 h, Regressive Darstellung

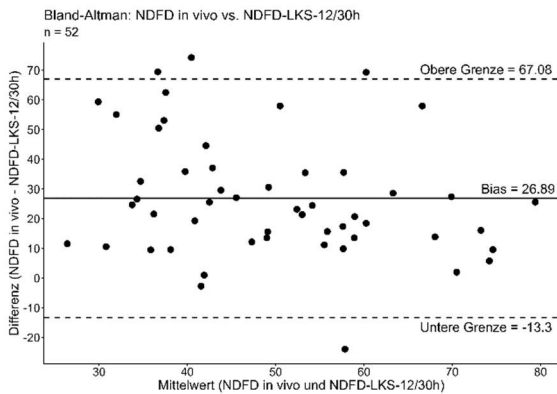


Abbildung 10: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei einheitlich 120 h, Regressive Darstellung

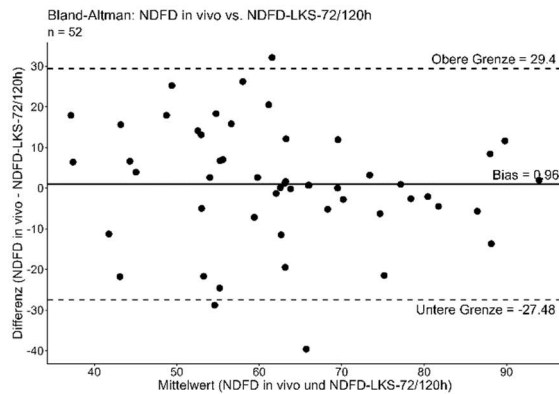


Abbildung 11: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 12 bzw. 30 h

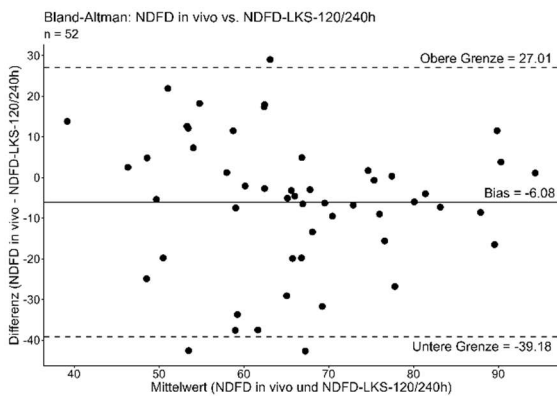


Abbildung 12: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 72 bzw. 120 h

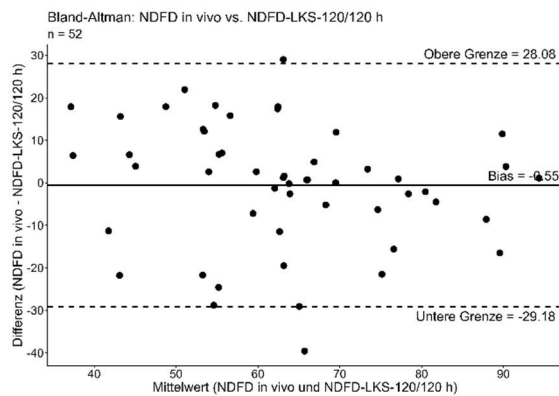


Abbildung 13: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei 120 bzw. 240 h

Abbildung 14: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach LKS SN bei einheitlich 120 h

5.3 NDFD in vivo versus Schätzung der NDFD mit Lucas-Prinzip nach Weisbjerg et al. (2004a, b)

Die Schätzung der NDFD nach WEISBJERG et al. (2004a,b) basiert auf den Parametern Organische Masse (OM) und deren Verdaulichkeit (OMD), aNDF_{om} sowie Neutral-Detergenzien-löslicher Substanz (NDS, Zellinhaltsstoffe = OM - aNDF_{om}) und deren Verdaulichkeit (NDSD), die mit einer einfachen Formel berechnet werden kann. Mit der Kalkulation der NDFD nach WEISBJERG et al. (2004a, b) ergibt sich also eine Möglichkeit, auf Grundlage einfacher Analysenparameter ohne zusätzliche Analytik die NDFD zu schätzen. In den vorliegenden Untersuchungen erfolgte die Kalkulation zunächst auf Grundlage der OMD aus den Hammelversuchen (WB 1), zusätzlich auf Grundlage kalkulierter bzw. tabellierter OMD-Werte für die jeweiligen Futtermittel (WB 2; siehe Kapitel 4.4).

Zusätzlich wurde die adaptierte Formel zur NDFD nach LOSAND et al (2024) genutzt (BL 1 bzw. BL 2). Dabei wurde die Methode von WEISBJERG et al. (2004a,b) übernommen, allerdings die Berechnung der NDSD anhand von deutschen Untersuchungen neu abgeleitet. Wie die Methode von WEISBJERG (2004a,b) ist auch diese Ableitung für eine Vielzahl von Futtermitteln (Grob- und Konzentratfutter) anwendbar. Die Ableitung anhand von deutschen Daten spricht grundsätzlich für die Verwendung der adaptierten Methode nach LOSAND et al. (2024), da die Methode von WEISBJERG et al. (2004a,b) aus Dänemark stammt. Auch hier

wurde jeweils die OMD aus Hammelversuchen (BL 1) bzw. kalkulierte und tabellierte Werte (BL 2) vergleichend zur Kalkulation genutzt.

Auf Basis der OMD aus den Hammelversuchen ließ sich mittels linearer Regression sowohl bei der Kalkulation nach WEISBJERG et al. (2004a,b) als auch bei der Kalkulation nach LOSAND et al. (2024) ein enger Zusammenhang zur in vivo-NDFD darstellen ($R^2 = 0,817$ bzw. $0,841$, Abbildung 15 bzw. Abbildung 17). Liegen jedoch keine in vivo-Werte für die OMD vor, können für verschiedene Futtermittelgruppen Formeln (GfE, 2023) bzw. tabellierte Werte genutzt werden (GfE, 1997). Hier war der Zusammenhang zu den eigentlichen in vivo-Ergebnissen deutlich weniger stark ausgeprägt (Abbildung 16, Abbildung 18).

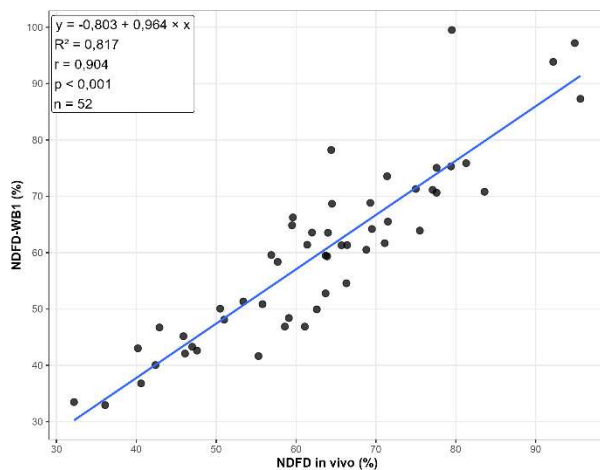


Abbildung 15: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach WB 1, Regressive Darstellung

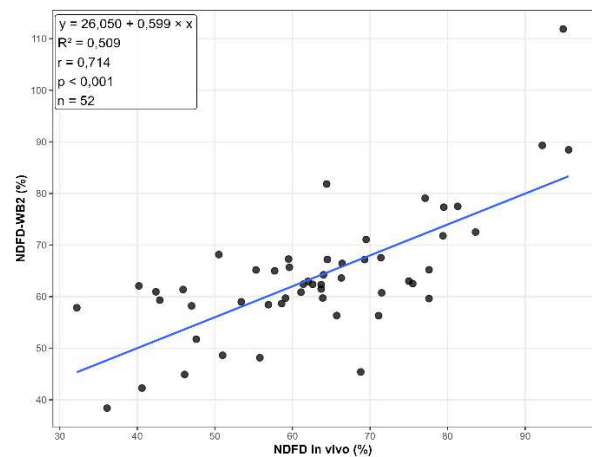


Abbildung 16: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach WB 2, Regressive Darstellung

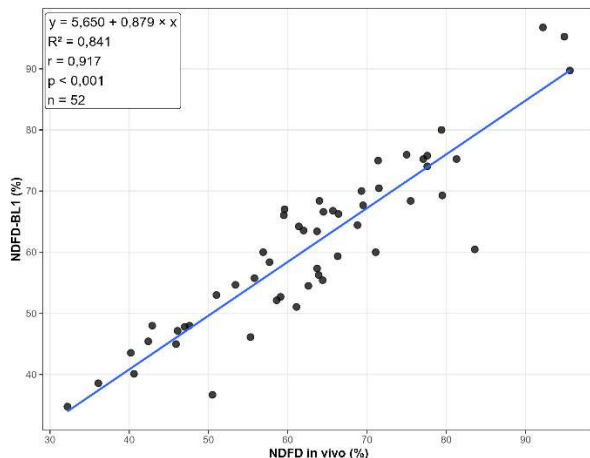


Abbildung 17: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach BL 1 (%) – OMD aus Hammelversuchen, Regressive Darstellung

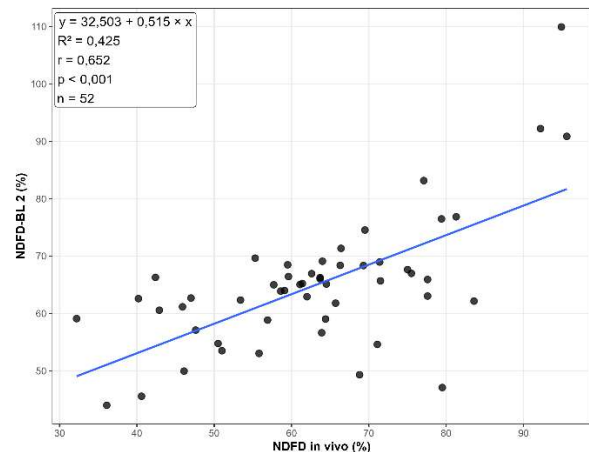


Abbildung 18: NDFD in vivo vs. NDFD-Schätzung nach BL 2 (%) – OMD kalkuliert aus Schätzgleichungen (GfE 2023) bzw. Tabellenwerten, Regressive Darstellung

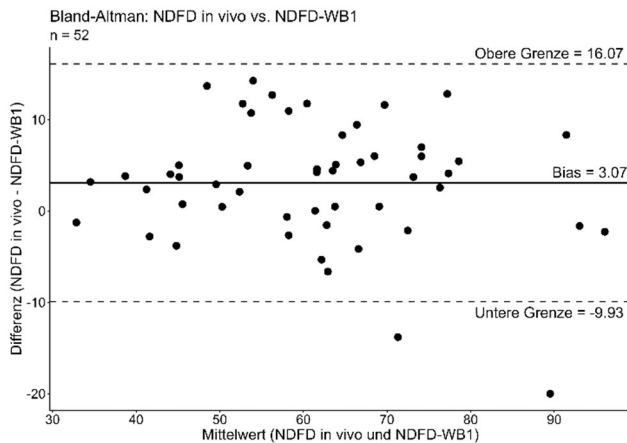


Abbildung 19: Bland-Altman-Plot NDFD in vivo (%) vs. NDFD-Schätzung nach WB 1 (%)

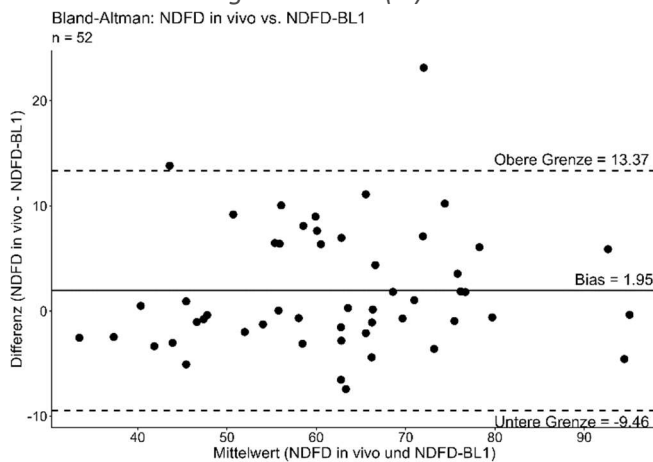


Abbildung 21: Bland-Altman-Plot NDFD in vivo (%) vs. NDFD-Schätzung nach BL 1 (%) – OMD aus Hammelversuchen

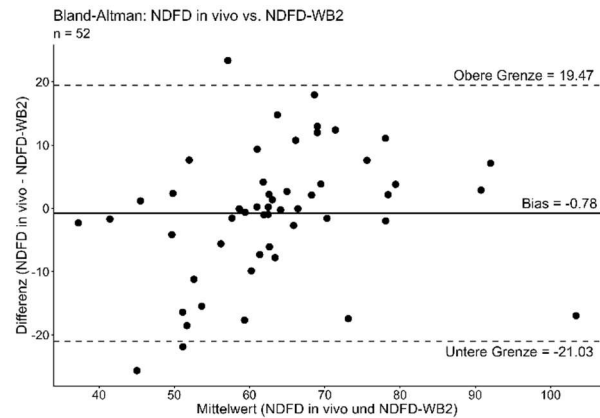


Abbildung 20: Bland-Altman-Plot NDFD (%) in vivo vs. NDFD-Schätzung nach WB 2 (%)

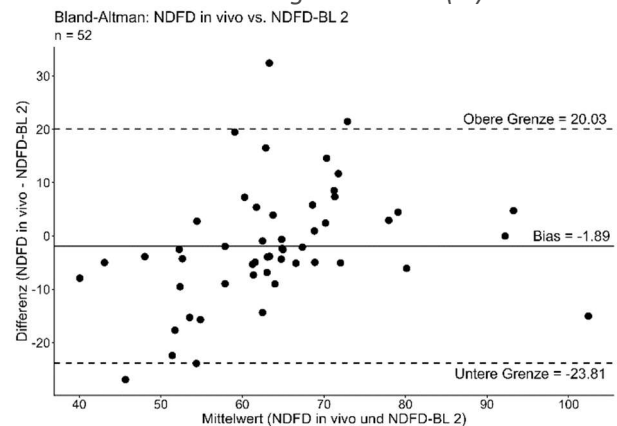


Abbildung 22: Bland-Altman-Plot NDFD in vivo (%) vs. NDFD-Schätzung nach BL 2 (%) – OMD kalkuliert aus Schätzgleichungen (GfE 2023) bzw. Tabellenwerten

In der Darstellung mittels Bland-Altman-Plot zeigte sich bei NDFD-WB1 im Vergleich zur in vivo-Methode ein positiver Bias von 3, was für eine leichte Unterschätzung der NDFD-Werte nach WB1 spricht. Die 95%-Übereinstimmungsgrenzen lagen zwischen -9,93 und +16,07. Zwei deutliche negative Ausreißer lagen außerhalb der Übereinstimmungsgrenzen. Zudem deutete die Verteilung der Differenzen über den Messbereich auf eine mögliche Abhängigkeit der Abweichung vom Messniveau hin.

Für NDFD-BL1 (Abbildung 21) zeigte sich im Bland-Altman-Vergleich eine bessere Übereinstimmung mit der in vivo-Methode als NDFD-WB1. Der Bias war für BL1 mit 1,95 geringer als für WB1 mit 3,07. Gleichzeitig waren die 95%-Übereinstimmungsgrenzen für BL1 (-9,46 bis 13,37) enger als für WB1 (-9,93 bis 16,07), was auf eine geringere Streuung der methodischen Differenzen hinweist. Während bei WB1 insbesondere deutliche negative Ausreißer beobachtet wurden, traten bei BL1 auffällige positive Ausreißer auf. Insgesamt wies BL1 die bessere methodische Übereinstimmung mit der in vivo-Methode auf. Dies bestätigt die Ergebnisse von LOSAND et al. (2024).

Bei Nutzung tabellierter oder kalkulierter OMD-Werte zur Berechnung der NDFD (WB 2, Abbildung 20; BL2: Abbildung 22) war der mittlere Bias jeweils geringer als bei WB 1 bzw. BL 1, die Streubreite insgesamt jedoch größer. Die Genauigkeit der NDFD-Schätzung hängt damit entscheidend von der Genauigkeit der OMD-Schätzung ab.

6 Fazit

Die NDFD von Futtermitteln ist sehr variabel und wird dabei von der Pflanzenart, dem Reifegrad bzw. Erntezeitpunkt beeinflusst. Die Bestimmung erfolgt im Rahmen von in vivo-Versuchen mit Hammeln. Vorteilhaft wären einfache analytische Möglichkeiten zur Bestimmung der NDFD auf Basis klassischer Analyseverfahren. In der vorliegenden Untersuchung wurden daher verschiedene Verfahren zur Schätzung der NDFD vergleichend mit den Ergebnissen aus Hammelversuchen bewertet.

Mit der neu entwickelten Methode zur Bestimmung der NDFD auf Basis der ELOS- und NDF-Bestimmung zur Ermittlung der EiNDF (LKV BB) liegt ein vielversprechender Ansatz vor. Zwar zeigte sich eine gerichtete Unterschätzung der in vivo-Werte, allerdings recht konstant. Bei Ableitung einer Schätzformel könnte über einen entsprechenden Korrekturfaktor eine Annäherung erzielt werden.

Die Bestimmung NDFD auf Basis der Proteinabbaubarkeit (CNCPS, LKS SN) zeigte die größte Übereinstimmung bei den 120h-Messungen. Im Vergleich zur EiNDF-Methode ergab sich aufgrund größerer Streubreiten ein geringerer Zusammenhang zu den in vivo-Ergebnissen.

Mit der Methode nach WEISBJERG et al. (2004a,b) bzw. adaptiert nach LOSAND et al. (2024) liegen Methoden vor, die auf Grundlage einfacher Analyseverfahren eine gute Schätzung der NDFD ermöglichen. Die Genauigkeit der NDFD-Schätzung hängt dabei entscheidend von der Genauigkeit der OMD-Schätzung ab.

7 Literatur

- Altman, D.G., J.M. Bland (1983): Measurement in Medicine: the analysis of Method Comparison Studies. The Statistician 1983;32:307-317. <https://doi.org/10.2307/2987937>
- CVB (2022): Table Booklet Feeding of Ruminants 2022. CVB-series No. 66. Stichting Federatie Nederlandse Diervoederketen (FND), Almere/Wageningen, Niederlande
- DLG (2025a): Rationsoptimierung und Fütterungskontrolle bei Milchkühen. DLG Information 01/2025. S. 35
- DLG (2025b): DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. DLG e.V. 1. Auflage Stand 7/2025
- Engelhard, T., A. Meyer, M. Wensch-Dorendorf, W. Richardt (2020): Effekte veränderter Versorgung von Milchkühen mit NDF und Stärke durch die Fütterung von Biertreber. Forum für angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda, 29./30.9.2020, Soest, S. 92 - 95
- Giavarina, D. (2015): Understanding Bland Altman analysis. Lessons in biostatistics. Biochemia Medica 2015;25(2):141-151, <https://doi.org/10.11613/BM.2015.015>
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (1991): Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern, J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 65: 229-234
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (1997): DLG-Futterwerttabellen – Wiederkäuer, DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- GfE, Ausschuss für Bedarfsnormen (2023): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 12. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen. DLG-Verlag Frankfurt am Main
- Gruber, L. (2010): NDF zur Beschreibung der Struktur der Futterration und der Pansenfermentation. 17. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2010, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 7-22, ISBN: 978-3-902559-42-5
- INRA (2018): *INRA Feeding System for Ruminants*. 2nd Edition. Wageningen Academic Publishers.
- Losand, B., A. Priepke, J. Denißen, C. Böttger, D. Kampf (2024): Verdaulichkeit der Faserkohlenhydrate beim Wiederkäuer – Wie kann die Verdaulichkeit der NDF genutzt werden? Forum für angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda, 23./24.4.2024
- Münnich, M., A. Khol-Parisini, F. Klevenhusen, E. Humer, Q. Zebeli (2016): Die Auswirkungen von melassierten Trockenschnitzeln als Ersatz für Mais in konzentratreichen Milchkuhrationen auf die Fermentation *in vitro* (RUSITEC), 15. BOKU-Symposium Tierernährung, Wien, S. 44-48
- NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine) (2021): Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press. S. 57-68
- NRC (National Research Council) (2001): Nutrient Requirements of Dairy cattle, 7th Rev. Ed., National Academy Press, Washington DC, USA, S. 381
- Priepke, A. und B. Losand (2021): Einfluss unterschiedlicher Kraftfutterzulagen auf die Verdaulichkeit des Grobfutters - Ergebnisse aus Verdauungsversuchen mit Hammeln. Forum für angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda, 27./28.4.2021
- Priepke, A. und B. Losand (2022): Bestimmung des energetischen Futterwertes von Futtermitteln für Wiederkäuer auf Basis der Nährstoffverdaulichkeit aus dem Hammeltest – Methodische Fragen. Abschlussbericht der LFA MV, 2022

- Priepke, A. und B. Losand (2023): Bestimmung der Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe und des Energiegehaltes (Wiederkäuer) von unbehandeltem und druckthermisch behandeltem Rapsextraktionsschrot. Forum für angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda, 25./26.4.2023
- RCore Team (2025): R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schiemann, R. (1981): Methodische Richtlinien zur Durchführung von Verdauungsversuchen für die Futterwertschätzung. Arch. Tierernährung Bd. 31, Heft 1: 1-19
- Van Amburgh, M.E., E.A. Collao-Saenz, R.J. Higgs, D.A. Ross, E.B. Recktenwald, E. Raffrenato, L.E. Chase, T.R. Overton, J.K. Mills, A. Foskolos (2015): The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates to the model and evaluation of version 6.5., J Dairy Sci. 2015 Sep;98(9):6361-80. doi: 10.3168/jds.2015-9378. Epub 2015 Jul 2. PMID: 26142847.
- VDLUFA (2012): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Band III „Die chemische Untersuchung von Futtermitteln“ des VDLUFA, 8. Ergänzungslieferung
- Weissbach, F. und S. Kuhla (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übersichten Tierernährung, 23, 189-214
- Weisbjerg, M.R., T. Hvelplund and K. Sørengaard et al. 2004a: Prediction of digestibility of neutral detergent solubles using the Lucas principle. Journal of Animal and Feed Sciences, 13, Suppl. 1, 2004, 239-241
- Weisbjerg, M.R., T. Hvelplund and K. Sørengaard et al. 2004b: Prediction of NDF digestibility based on assumptions about true digestibility and endogenous loss of NDS. Journal of Animal and Feed Sciences, 13, Suppl. 1, 2004, 243-246
- Wickham, H. (2025). stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations_. doi:10.32614/CRAN.package.stringr <<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.stringr>>. R package version 1.6.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=stringr>>.
- Wickham, H., M. Averick, J. Bryan, W. Chang, L.D. McGowan, R. François, G. Golemund, A. Hayes, L. Henry, J. Hester, M. Kuhn, T.L. Pedersen, E. Miller, S.M. Bache, K. Müller, J. Ooms, D. Robinson, D.P. Seidel, V. Spinu, K. Takahashi, D. Vaughan, C. Wilke, K. Woo, H. Yutani (2019). “Welcome to the tidyverse.” _Journal of Open Source Software_, *4*(43), 1686. doi:10.21105/joss.01686 <<https://doi.org/10.21105/joss.01686>>.
- Wickham, H. and J. Bryan (2026). _readxl: Read Excel Files_. doi:10.32614/CRAN.package.readxl <<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.readxl>>. R package version 1.5.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=readxl>>.
- Wickham, H., R. François, L. Henry, K. Müller, D. Vaughan (2026). _dplyr: A Grammar of Data Manipulation_. doi:10.32614/CRAN.package.dplyr <<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dplyr>>. R package version 1.2.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>>.
- Wickham, H. and L. Henry (2026). _purrr: Functional Programming Tools_. doi:10.32614/CRAN.package.purrr <<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.purrr>>. R package version 1.2.2, <<https://CRAN.R-project.org/package=purrr>>.
- Wickham, H., T. Pedersen, D. Seidel (2025). _scales: Scale Functions for Visualization_. doi:10.32614/CRAN.package.scales <<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.scales>>. R package version 1.4.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=scales>>.