

Potential sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe in der Grünlandproduktion

¹C. MALISCH, ¹T. REINSCH, ¹C. LOZA, ¹R. LOGES, ¹A. POYDA UND ¹F. TAUBE

¹Grünland und Futterbau/Ökol. Landbau, Hermann-Rodewald Str. 9, 24118 Kiel

cmalisch@gfo.uni-kiel.de

Einleitung und Problemstellung

Die Landwirtschaft muss sich derzeit einen Diskurs bezüglich ihrer Nachhaltigkeit und insbesondere den negativen Umweltauswirkungen stellen. Zu den intensiv diskutierten Themen gehören der Grundwasser- und Klimaschutz sowie der Verlust an Biodiversität.

Derzeit ist die Tierhaltung für etwa 12-17% aller europäischen (EU-27) Treibhausgas (THG)-emissionen verantwortlich, wobei die Methanemissionen (CH₄) aus der enterischen Fermentation von Wiederkäuern mit 36% den größten Anteil daran haben (Bellarby et al., 2013). Der Klima-Aktionsplan 2050 für Deutschland sieht deswegen vor, die derzeitigen Emissionen aus der Landwirtschaft bis zum Jahr 2030 um ~30 % zu reduzieren, wobei bis 2050 noch deutlichere Reduktionen erforderlich sind. Im Rahmen dieser Strategie sollen auch die THG-Emissionen aus der Wiederkäuerhaltung gesenkt werden um eine Milch- und Fleischproduktion mit geringen Umweltauswirkungen zu ermöglichen (BMUB, 2016). Der Einsatz von organischen und mineralischen Stickstoffdüngern im Futterbau sind mit gasförmigen Stickstoffverlusten verbunden und tragen so zusätzlich zum Klimawandel bei, wobei die Mineraldünger durch ihren hohen Energiebedarf während der Produktion mit zusätzlichen Emissionen in der Vorkette verbunden sind (Brentrup et al., 2004). Die in den letzten Jahrzehnten stetig zunehmende betriebliche Spezialisierung führte zu einem Verlust von Agrobiodiversität und kleinräumigen Mosaikstrukturen in der Landschaft, was jeweils für den Rückgang von solchen Insekten mitverantwortlich gemacht wird, die für die biologische Schädlingsbekämpfung nützlich sind (Chaplin-Kramer et al., 2011). Zusammen mit dem weiterhin hohen Einsatz von Pestiziden trug dies zum Rückgang der Bestäuberarten in Europa bei, wie z.B. der Rückgang der Populationen der europäischen Honigbienen (*Apis mellifera*) zwischen 1985 und 2005 (Potts et al., 2010). Es ist zu konstatieren, dass bei 50 % der europäischen Arten, einschließlich bedrohter und endemischer Arten, die von landwirtschaftlichen Lebensräumen abhängig sind, eine vielfältige Agrarlandschaft von größter Bedeutung ist (Stoate et al., 2009).

In der Milchproduktion zeigen bei geeigneten Standortbedingungen Weidesysteme ein großes Potential einige dieser negativen Umweltwirkungen zu reduzieren (Reinsch et al., 2018). Generell steigen diese Vorzüge mit wachsender botanischer Diversität der Weidebestände, insbesondere wenn Gräser zusammen mit Leguminosen und Kräutern angebaut werden. So zeigte eine europaweite Studie mit 31 Standorten, dass Vier-Artengemenge im Vergleich mit der leistungsstärksten Grasreinsaat den Futterertrag steigern und Unkräuter in Grünlandgemeinschaften reduzieren (Finn et al., 2013). Infolgedessen könnten Vier-Arten-Gras-Leguminosen-Gemenge bei geringerem Stickstoffeinsatz (50 kg ha⁻¹ a⁻¹) den Ertrag von intensiv gedüngten Grasreinsaat (450 kg ha⁻¹ a⁻¹) übersteigen (oder waren mit diesem vergleichbar) (Nyfeler et al., 2009). Zudem wird die Ertragsstabilität erhöht, insbesondere unter Trockenstressbedingungen (Hofer et al., 2016). Der Hauptgrund für diese Ertragssteigerungen sind eine höhere Nischenkomplementarität (zeitlich und räumlich) und positive interspezifische Interaktionen (Hooper et al., 2005; Nyfeler et al., 2009). Zudem enthalten zahlreiche Leguminosen und Kräuter relevante sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe. Diese sekundären Pflanzeninhaltsstoffe sind entgegen der Primärmetaboliten nicht direkt essentiell für das Überleben der Pflanze, sondern verschaffen dieser in erster Linie kompetitive Vorteile, assistieren als Signal- und

Botenstoffe oder sind in die Verteidigung der Pflanze gegen Fressfeinde involviert (Lattanzio et al., 2009). Aus diesem Grund wurden Polyphenole und insbesondere die Tannine in der Wahrnehmung der landwirtschaftlichen Forschung den antinutritiven Substanzen zugeordnet, oder sogar eine akute Toxizität vermutet (Mueller-Harvey, 2006). Inzwischen hat sich diesbezüglich jedoch eine differenziertere Sichtweise durchgesetzt und insbesondere den Tanninen werden inzwischen vielfache Vorteile für die Wiederkäuerproduktion auch hinsichtlich der oben erläuterten negativen Umweltwirkungen nachgesagt, welche im Folgenden im Detail erörtert werden sollen:

Was sind Tannine?

Es werden zwei Gruppen von Tanninen unterschieden. Während hydrolysierbare Tannine aus Estern von Galloylgruppen und einem Kernpolyol, meist Glucose, bestehen, sind Proanthocyanidine (PA) dagegen Polymere von Flavan-3-ol-Einheiten (Abb. 1). Der synonyme Name der Proanthocyanidine, "kondensierte Tannine", bezieht sich historisch auf ihre Fähigkeit, Leder durch Ausfällung von Proteinen in frischen Häuten zu gewinnen (Santos-Buelga and Scalbert, 2000). Für die Flavanol-Untereinheiten bestehen die strukturellen Unterschiede darin, ob das Flavanol ein Procyanidin (PC) (d.h. Catechin oder Epicatechin) oder ein Prodelphinidin (PD) (d.h. Gallocatechin oder Epigallocatechin) ist. Zusätzlich können alle diese Flavanole in Oligomeren und Polymeren unterschiedlicher Länge vorkommen, wobei Polymere mit einem Molekulargewicht von über 30.000 Dalton gefunden wurden (Bravo, 1998). Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Eigenschaften können in einer Art Millionen unterschiedlicher PA-Strukturen vorhanden sein. Aufgrund der unterschiedlichen Wirkweise die inzwischen innerhalb der verschiedenen Tanninuntereinheiten und Struktureigenschaften identifiziert wurde lässt sich auch erklären, dass die Wirkweise der Tannine sehr lange nicht exakt definiert werden konnte. Diverse gängige Analysemethoden, allen voran die Säure-Butanolanalyse, können die Struktureigenschaften nicht identifizieren, sondern einzig die Gesamttanninkonzentration bestimmen. Seit moderne massenspektrometrische Analysen entwickelt wurden, können nun auch die Struktureigenschaften deutlich schneller und genauer identifiziert werden (Engström et al., 2014). Seitdem werden kontinuierlich neue Erkenntnisse über die Tannine generiert die eine genauere Identifizierung positiver Eigenschaften zulassen. Damit ist auch eine wachsende Bedeutung der tanninhaltigen Arten in der Wiederkäuerernährung prognostizierbar, sodass die gängigsten Vorteile und deren aktueller Stand der Forschung im Folgenden kurz zusammengestellt werden sollen.

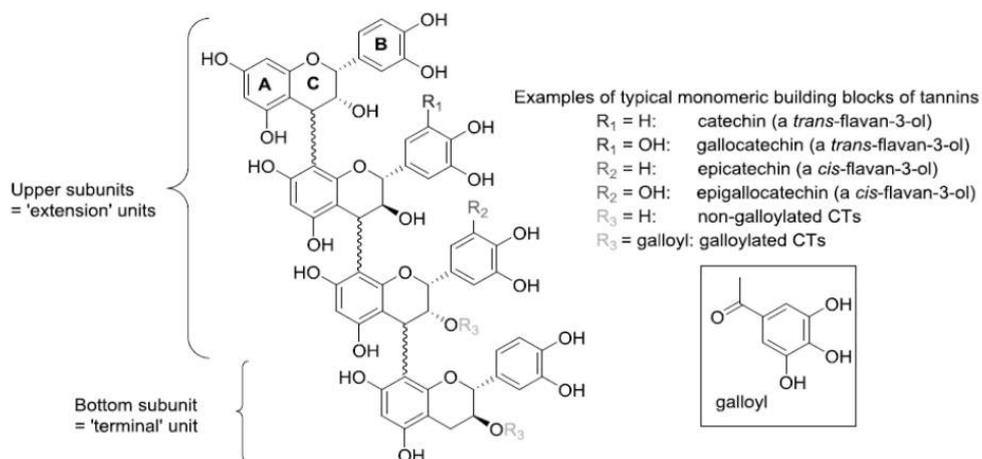


Abb. 1: Beispielstruktur eines kondensierten Tannins, bestehend aus vier Flavan-3-ol Monomeren. Die Monomere bestehen aus den Procyanidinen (Catechin und Epicatechin), sowie den Prodelphinidinen (Gallocatechin und Epigallocatechin). Quelle: Mueller-Harvey et al. (2017).

Potentiale bezüglich der Treibhausgasemissionen

Aufgrund der erst seit kurzem verfügbaren neuartigen Methoden zur Identifikation der Struktureigenschaften von Tanninen in einer großen Probenanzahl ist bisher noch eine sehr große Variation in den Methanreduktionseigenschaften von PAs zu beobachten, welche noch nicht eindeutig erklärbar ist. Beispielsweise wurde für die PAs der Esparsette (*Onobrychis viciifolia*) in mehreren *in vitro*-Studien eine Effektbandbreite von einem Rückgang der Methanemissionen um 30% (Theodoridou et al., 2011) bis hin zu keinem Einfluss auf die absoluten Emissionen berichtet (Chung et al., 2013). PAs von Quebrachobäumen (*Schinopsis quebracho-colorado* und *Schinopsis balansae*) waren bisher sogar generell unwirksam, um die Methanemissionen bei Wiederkäuern zu reduzieren (Beauchemin et al., 2007; Benchaar et al., 2008). Generell wurde bereits ein Zusammenhang zwischen der Struktur und den Methanemissionen dahingehend festgestellt, dass langkettige Tanninpolymere der Esparsette generell ein höheres Methanunterdrückungspotential bewiesen als kurzkettige (Hatew et al., 2016) und Prodelphinidine generell potenter sind als Procyanidine. Bei den hydrolysierbaren Tanninen aus dem schmalblättrigen Weidenröschen (*Epilobium angustifolium*) wurden bereits Versuche mit aufgereinigten Tanninfraktionen durchgeführt, in welchen reine Polymere die Methanproduktion um bis zu 90% reduzierten und es deutliche Unterschiede in der Wirksamkeit verschieden langer Polymerketten gab (Baert et al., 2016).

Es wird angenommen, dass Tannine die Methanemissionen auf drei Arten unterdrücken: i) sie gehen Verbindungen mit Faserfraktionen ein, wodurch sie die Verdauung im Pansen und die Reduktion des limitierenden Substrats für die Methanogenese beeinflussen; ii) sie verringern die Protozoenaktivität; und iii) sie beeinträchtigen das Wachstum und die Aktivität von methanogenen Bakterien (Baert et al., 2016; Tedeschi et al., 2014).

Als weiteren Vorteil für die Treibhausgasemissionen können PAs zudem überschüssiges N bei Wiederkäuern vom Urin in den Kot verlagern und somit die N₂O-Emissionen reduzieren (Grosse Brinkhaus et al., 2016), sowie die Nitratauswaschung aus dem Urin (Decau et al., 2004). Jedoch sind bisher diese gewünschten Effekte in Fütterungsversuchen bisher nur bei hohen Anteilen der bioaktiven Pflanzen in der Ration in großen Mengen erzielt worden, sodass weitere Forschung hier notwendig sein wird um drastische Emissionsminderungen zu erzielen ohne Produktivitätseinbußen bei der Milch- oder Fleischproduktion hinnehmen zu müssen.

Potentiale bezüglich der Bodenkohlenstoffspeicherung

Die im Boden gebildete Humusmenge ist abhängig von der Menge der eingetragenen organischen Substanz über Ernte- und Wurzelreste sowie die chemische Beschaffenheit dieser. Enge Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N)- Verhältnisse führen per se zu hohem Umsatzraten im Boden und damit nur zu einer kurzen Verweilzeit. Substrate mit weiten C/N-Verhältnissen weisen hingegen eine hohe Stabilität auf. Neben diesem bekannten Zusammenhang wurde allerdings basierend auf Studien aus Waldökosystemen in den letzten Jahren zudem die Bedeutung der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe, insbesondere diverser Polyphenole, auf die Umsetzungskinetik im Boden erkannt. So haben z.B. PAs verschiedene Wirkweisen, mit denen sie die Nährstoffkreisläufe beeinflussen können: Einerseits haben sie die Fähigkeit, extrazelluläre Enzyme zu hemmen, wodurch der Abbau organischer Masse durch Mikroorganismen verhindert wird. Gleichzeitig können sie die Nitrifikation oder N-Mineralisation hemmen. Dies führt zu einer mittelfristigen Stabilisierung der organischen Bodensubstanz und ist in Wäldern häufig sichtbar. Andererseits können PAs aber auch die gegensätzliche Wirkung haben und die C- und N- Mineralisation beschleunigen. Die unterschiedliche Wirkweise der kondensierten Tannine resultiert hierbei maßgeblich aus Unterschieden in ihren strukturellen Eigenschaften (Adamczyk et al., 2017; Chomel et al., 2016). Die gleichen Effekte die in Waldökosystemen beobachtet wurden

können auch auf die Wurzel- und Erntereste in landwirtschaftlichen Kulturen wirken. Da sich zudem die neue Forschung bei all diesen Arten bisher auf die Wirkung der Polyphenole in der Tierernährung und somit auf die oberirdische Biomasse konzentrierte, sind Rückschlüsse auf die Wirkung im Boden noch nicht möglich. Denn im Gegensatz zu den Waldökosystemen ist der Hauptpfad der Polyphenole in den Boden nicht über die Blattmasse sondern über die Wurzeln, welche durch Exsudate und den Wurzelumsatz die Polyphenole freigeben. Frühere Experimente, welche Polyphenole in den Wurzeln quantifiziert haben und daraus auf den Einfluss der Polyphenole auf die N-Mineralisation schließen wollten, wiesen zwar Polyphenole in den Wurzeln nach, blieben aber inkonklusiv in Bezug auf die N-Mineralisation aufgrund der mangelnden Differenzierung der Polyphenole (Fox et al., 1990). Aufgrund dessen ist eine genauere Charakterisierung der Polyphenole in den Wurzelsystemen der gängigen Futterleguminosen und –kräuter notwendig, inklusive deren Strukturcharakteristika. Zusätzlich müssen die Freisetzungspfade der Wurzelpolyphenole durch Exsudation oder Seneszenz der Wurzeln identifiziert und quantifiziert werden um den Polyphenoleintrag in das Bodenreich für eine Extrapolation der Ergebnisse auf Feldebene zu ermöglichen.

Potentiale bezüglich der Tiergesundheit

Ein Problem in Wiederkäuersystemen ist die steigende Anzahl multiresistenter gastrointestinaler Nematodenpopulationen, welche inzwischen unter dem Wortspiel „global worming“ Bekanntheit erlangt haben (Kaplan and Vidyashankar, 2012). So wurde in einer Studie in Deutschland, Frankreich und Großbritannien bereits in mehr als 50% der Fälle eine reduzierte Wirksamkeit der Antiparasitika Moxidectin und Ivermectin festgestellt und 12.5% der untersuchten Herden zeigte bereits eine Resistenz gegen diese Wirkstoffe (Geurden et al., 2015)

In vitro konnte mit Extrakten der Tannine aus der Esparsette eine Reduktion von gastrointestinalen Nematoden (in diesem Fall *Haemonchus contortus*) um mindestens 76% erzielt werden (Brunet et al., 2008). Hierbei ist ebenfalls wichtig, dass die anthelmintische Bioaktivität in Experimenten mit der Esparsette auch nach der Konservierung als Heu oder Silage noch vorhanden oder sogar verstärkt war, sodass eine Fütterung unabhängig von der derzeitigen Vegetationsperiode an die Bedürfnisse der Tiere angepasst werden kann. Die Reduktion der gastrointestinalen Nematodenzahlen durch Tannine wurde inzwischen für sowohl hydrolysierbare als auch kondensierte Tannine in allen Lebensphasen der Nematoden und in vielen verschiedenen Wirtsarten zuverlässig sowohl in vivo als auch in vitro nachgewiesen und zählt insofern derzeit als vielversprechende Lösung (Lüscher et al., 2014; Mueller-Harvey et al., 2017). In Teilen der USA wird dies bereits in die Praxis umgesetzt und es wurde eine niedrigere Nematodenzahl in Lämmern bei der Beweidung von chinesischem Buschklees (*Lespedeza cuneata*) nachgewiesen, welcher reich an PAs ist (Burke et al., 2012).

Ein weiterer positiver Aspekt für die Tiergesundheit ist, dass PAs das Blähen signifikant reduzieren. Hierbei wurde nachgewiesen dass ein Esparsetteanteil von 35% in der Mischung ausreichen kann um das Risiko um >70% zu reduzieren (Wang et al., 2006).

Relevante Arten in gemäßigten Klimaten

Insbesondere im Grünland und Futterbau kommen viele Leguminosen, die hohe Polyphenolgehalte aufweisen und insbesondere PA beinhalten vor (z.B. Esparsette, Hornschotenklee (*Lotus corniculatus*), Sumpfhornklee (*Lotus pedunculatus*) und Spanische Esparsette (*Hedysarum coronarium*)) (Malisch et al., 2015; Waghorn, 2008). Bei der Esparsette wurde allerdings eine hohe Variabilität der Konzentrationen und strukturellen

Eigenschaften der Tannine sowohl zwischen Sorten, als auch innerhalb der Einzelpflanze festgestellt (Malisch et al., 2015).

Doch auch Arten mit geringen oder keinen Tanninkonzentrationen können bioaktive Potenziale entfalten. So wurde auch bei der Zichorie eine Reduktion von Darmparasiten nachgewiesen. Diese waren allerdings stark sortenabhängig. Anders als bei den oben genannten Arten sind in der Zichorie nicht die geringen Anteile der kondensierten Tannine, sondern die Sesquiterpenlactone die Substanzen mit der bioaktiven Wirkung (Williams et al., 2016). Zudem erzielte der kleine Wiesenknopf (*Sanguisorba minor*) eine sehr starke Reduktion der Methanemissionen *in vitro*, obwohl er verhältnismäßig geringe Tanninkonzentrationen hat, sodass hier weitere Forschung vielversprechend ist (Hamacher, 2016).

Fazit und Ausblick

Es bleibt festzuhalten, dass viele positive Effekte durch den Einsatz von Pflanzen, die hohe Gehalte an Tanninen oder anderen sekundären Pflanzeninhaltsstoffen aufweisen, gegeben sind. Neben den beschriebenen Potenzialen für Ertragsstabilität, die Umwelt und Tiergesundheit tragen sie zur botanischen Diversität der Grünlandbestände bei und erfüllen somit die intrinsischen und ökologischen Vorteile der Biodiversität. Im Falle der Leguminosen wird außerdem Stickstoff fixiert und somit der Bedarf an mineralischen Stickstoffdüngern weiter reduziert. Es ist aufgrund der Fortschritte in der Forschung in den nächsten Jahren damit zu rechnen, dass der genaue Effekt einzelner Teilmoleküle isoliert identifiziert werden kann und auch Wechselwirkungen erkannt werden. Erst danach kann dieses Wissen in die gezielte Züchtung von Sorten mit den optimalen Wirkeigenschaften investiert werden. Eine breite Anwendung von Pflanzen mit sekundären Inhaltsstoffen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen hat Potential, doch ist dies eher langfristig zu erreichen und derzeit schwer quantifizierbar. Zudem sind die oben genannten relevantesten Arten verhältnismäßig konkurrenzschwach und somit für den Anbau derzeit primär in extensiv geführten Ansaatbeständen einzusetzen. Derzeit ist hierzu weder genau identifiziert, welche Anteile der Arten im Futter erreicht werden müssen, noch ob dies agronomisch möglich ist. Diese Fragen werden in den nächsten Jahren auch in Kiel im Rahmen des Forschungsprojektes ‚Ökoeffiziente Weidemilcherzeugung Lindhof‘ intensiv erforscht und optimale Mischungspartner identifiziert.

Literatur

BAERT, N., PELLIKAAN, W.F., KARONEN, M. & SALMINEN, J.-P. (2016): A study of the structure-activity relationship of oligomeric ellagitannins on ruminal fermentation *in vitro*. *J Dairy Sci* 99, 8041-8052.

BEAUCHEMIN, K.A., MCGINN, S.M., MARTINEZ, T.F. & MCALLISTER, T.A. (2007): Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle¹. *J Anim Sci* 85, 1990-1996.

BELLARBY, J., TIRADO, R., LEIP, A., WEISS, F., LESSCHEN, J.P. & SMITH, P. (2013): Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global Change Biol* 19, 3-18.

BENCHAAR, C., MCALLISTER, T.A. & CHOUINARD, P.Y. (2008): Digestion, Ruminal Fermentation, Ciliate Protozoal Populations, and Milk Production from Dairy Cows Fed Cinnamaldehyde, Quebracho Condensed Tannin, or *Yucca schidigera* Saponin Extracts¹. *J Dairy Sci* 91, 4765-4777.

- BRENTROP, F., KÜSTERS, J., LAMMEL, J., BARRACLOUGH, P. & KUHLMANN, H. (2004): Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *Eur J Agron* 20, 265-279.
- BRUNET, S., JACKSON, F. & HOSTE, H. (2008): Effects of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) extract and monomers of condensed tannins on the association of abomasal nematode larvae with fundic explants. *Int J Parasitol* 38, 783-790.
- BURKE, J.M., MILLER, J.E., MOSJIDIS, J.A. & TERRILL, T.H. (2012): Grazing sericea lespedeza for control of gastrointestinal nematodes in lambs. *Veterinary Parasitology* 186, 507-512.
- CHAPLIN-KRAMER, R., O'ROURKE, M.E., BLITZER, E.J. & KREMEN, C. (2011): A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters* 14, 922-932.
- CHUNG, Y.-H., MC GEOUGH, E.J., ACHARYA, S., MCALLISTER, T.A., MCGINN, S.M., HARSTAD, O.M. & BEAUCHEMIN, K.A. (2013): Enteric methane emission, diet digestibility, and nitrogen excretion from beef heifers fed sainfoin or alfalfa. *J Anim Sci* 91, 4861-4874.
- Decau, M.L., Simon, J.C. & Jacquet, A. (2004): Nitrate Leaching under Grassland as Affected by Mineral Nitrogen Fertilization and Cattle Urine. *J Environ Qual* 33, 637-644.
- ENGSTRÖM, M.T., PÄLIJÄRVI, M., FRYGANAS, C., GRABBER, J.H., MUELLER-HARVEY, I. & SALMINEN, J.-P. (2014): Rapid Qualitative and Quantitative Analyses of Proanthocyanidin Oligomers and Polymers by UPLC-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62, 3390-3399.
- FINN, J.A., KIRWAN, L., CONNOLLY, J., SEBASTIA, M.T., HELGADOTTIR, A., BAADSHAUG, O.H., BELANGER, G., BLACK, A., BROPHY, C. & COLLINS, R.P., ET AL. (2013): Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment. *J Appl Ecol* 50, 365-375.
- GEURDEN, T., CHARTIER, C., FANKE, J., DI REGALBONO, A.F., TRAVERSA, D., VON SAMSON-HIMMELSTJERNA, G., DEMELER, J., VANIMISSETTI, H.B., BARTRAM, D.J. & DENWOOD, M.J. (2015): Anthelmintic resistance to ivermectin and moxidectin in gastrointestinal nematodes of cattle in Europe. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance* 5, 163-171.
- GROSSE BRINKHAUS, A., WYSS, U., ARRIGO, Y., GIRARD, M., BEE, G., ZEITZ, J.O., KREUZER, M. & DOHME-MEIER, F. (2016): In vitro ruminal fermentation characteristics and utilisable CP supply of sainfoin and birdsfoot trefoil silages and their mixtures with other legumes. *Animal*, 1-11.
- HAMACHER, M. (2016): Potentiale sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe in Futterleguminosen und Wiesenkräutern für eine verbesserte N-Verwertung beim Wiederkäuer. In *Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau* (Kiel: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), pp. 118.
- HATEW, B., STRINGANO, E., MUELLER-HARVEY, I., HENDRIKS, W.H., CARBONERO, C.H., SMITH, L.M.J. & PELLIKAAN, W.F. (2016): Impact of variation in structure of condensed tannins from sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on in vitro ruminal methane production and fermentation characteristics. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 100, 348-360.
- HOFER, D., SUTER, M., HAUGHEY, E., FINN JOHN, A., HOEKSTRA NYNCKE, J., BUCHMANN, N. & LÜSCHER, A. (2016): Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. *J Appl Ecol* 53, 1023-1034.
- HOOPER, D.U., CHAPIN, F.S., EWEL, J.J., HECTOR, A., INCHAUSTI, P., LAVOREL, S., LAWTON, J.H., LODGE, D.M., LOREAU, M. & NAEEM, S., ET AL. (2005): Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75, 3-35.
- KAPLAN, R.M. & VIDYASHANKAR, A.N. (2012). An inconvenient truth: Global worming and anthelmintic resistance. *Veterinary Parasitology* 186, 70-78.

- LATTANZIO, V., KROON, P.A., QUIDEAU, S. & TREUTTER, D. (2009): Plant Phenolics – Secondary Metabolites with Diverse Functions. In *Recent Advances in Polyphenol Research* (Wiley-Blackwell), pp. 1-35.
- LÜSCHER, A., MUELLER-HARVEY, I., SOUSSANA, J.F., REES, R.M. & PEYRAUD, J.L. (2014): Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass Forage Sci* 69, 206-228.
- MALISCH, C.S., LÜSCHER, A., BAERT, N., ENGSTRÖM, M.T., STUDER, B., FRYGANAS, C., SUTER, D., MUELLER-HARVEY, I. & SALMINEN, J.-P. (2015): Large Variability of Proanthocyanidin Content and Composition in Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63, 10234-10242.
- MUELLER-HARVEY, I. (2006): Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *J Sci Food Agric* 86, 2010-2037.
- MUELLER-HARVEY, I., BEE, G., DOHME-MEIER, F., HOSTE, H., KARONEN, M., KÖLLIKER, R., LÜSCHER, A., NIDERKORN, V., PELLIKAAN, W. & SALMINEN, J.P., ET AL. (2017): Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants: Importance of structure, concentration and diet composition. *Crop Sci*.
- NYFELER, D., HUGUENIN-ELIE, O., SUTER, M., FROSSARD, E., CONNOLLY, J. & LUSCHER, A. (2009): Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding. *J Appl Ecol* 46, 683-691.
- POTTS, S.G., BIESMEIJER, J.C., KREMEN, C., NEUMANN, P., SCHWEIGER, O. & KUNIN, W.E. (2010): Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 25, 345-353.
- SANTOS-BUELGA, C. & SCALBERT, A. (2000): Proanthocyanidins and tannin-like compounds – nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. *J Sci Food Agric* 80, 1094-1117.
- STOATE, C., BALDI, A., BEJA, P., BOATMAN, N.D., HERZON, I., VAN DOORN, A., DE SNOO, G.R., RAKOSY, L. & RAMWELL, C. (2009): Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe - A review. *Journal of Environmental Management* 91, 22-46.
- TEDESCHI, L.O., RAMÍREZ-RESTREPO, C.A. & MUIR, J.P. (2014): Developing a conceptual model of possible benefits of condensed tannins for ruminant production. *Animal* 8, 1095-1105.
- THEODORIDOU, K., AUFRERE, J., NIDERKORN, V., ANDUEZA, D., LE MORVAN, A., PICARD, F. & BAUMONT, R. (2011): In vitro study of the effects of condensed tannins in sainfoin on the digestive process in the rumen at two vegetation cycles. *Animal Feed Science and Technology* 170, 147-159.
- WAGHORN, G. (2008): Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology* 147, 116-139.
- WANG, Y., BERG, B.P., BARBIERI, L.R., VEIRA, D.M. & MCALLISTER, T.A. (2006): Comparison of alfalfa and mixed alfalfa-sainfoin pastures for grazing cattle: Effects on incidence of bloat, ruminal fermentation, and feed intake. *Canadian Journal of Animal Science* 86, 383-392.
- WILLIAMS, A.R., PENA-ESPINOZA, M.A., BOAS, U., SIMONSEN, H.T., ENEMARK, H.L. & THAMSBORG, S.M. (2016): Anthelmintic activity of chicory (*Cichorium intybus*): in vitro effects on swine nematodes and relationship to sesquiterpene lactone composition. *Parasitology* 143, 770-777.