

Aus dem Department für Pferde und Kleintiere
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Klinische Abteilung für Pferdechirurgie
(Leiterin: Dipl.ACVS Univ.-Prof. Dr.med.vet. Dipl.ECVS Florian Jenner)

Vergleich von Sattelunterlagen hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften

Bachelorarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von

Eva Powaschnig

Wien, im August 2022

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Peham

1. Gutachter: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Peham
2. Gutachter: Dr. Robert Stodulka

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung	1
2. Literaturüberblick	2
2.1. Sattellage	2
2.1.1 Brustwirbelsäule (Columna thoracica).....	2
2.1.2 Lendenwirbelsäule (Columna lumbalis)	3
2.1.3 Schulterblatt (Skapula).....	3
2.1.4 Muskulatur und Faszien	5
2.2. Der englische Sattel	6
2.2.1 Zweck eines Sattels	6
2.2.2 Geschichte des Sattels	6
2.2.3 Arten von Sätteln.....	7
2.3. Sattelherstellung und Pflege	8
2.3.1 Materialien	8
2.3.2 Aufbau des englischen Sattels.....	9
2.3.3 Sattelzubehör.....	12
2.3.4 Sattelpflege.....	13
2.4. Sattelunterlagen	13
2.4.1 Arten von Sattelunterlagen.....	13
2.4.2 Verwendete Materialien für Sattelunterlagen	15
2.4.3 Pflege von Sattelunterlagen.....	16
3. Material und Methode	17
3.1. Messsystem.....	17
3.2. Sattelunterlagen	17
3.2.1 Gruppe 1	18
3.2.2 Gruppe 2.....	18
3.2.3 Gruppe 3.....	18
3.2.4 Gruppe 4.....	19
3.3. Messmethode	19
3.4. Auswertung der Daten/Statistik.....	20
4. Ergebnisse	22
4.1. Zusammenhänge der Daten innerhalb einer Gruppe	22

4.1.1 Korrelationen der Gruppe 1	22
4.1.2 Korrelationen der Gruppe 2.....	22
4.1.3 Korrelationen der Gruppe 3.....	23
4.1.4 Korrelationen der Gruppe 4.....	23
4.2. Vergleich der vier Gruppen	24
4.2.1 Vergleich in Bezug auf ER und k.....	26
4.2.2 Vergleich in Bezug auf Gmax und d.....	29
4.3. Vergleich zweier Sattelunterlagen bezüglich der Energierückgewinnung.....	32
4.4. Vergleich zweier Sattelunterlagen bezüglich der Steifigkeit	32
5. Diskussion	34
5.1. Steifigkeit.....	34
5.2. Energierückgewinnung.....	35
5.3. Maximale Beschleunigung und Eindringtiefe	36
5.4. Hypothesen	37
5.5. Ausblick auf weitere Forschung	37
6. Zusammenfassung.....	38
7. Summary	40
8. Literaturverzeichnis.....	41
9. Abbildungsverzeichnis	44
10. Tabellenverzeichnis	45
Anhang	46

1. Einleitung und Fragestellung

Die Verwendung von Sattelunterlagen ist keine Neuerscheinung der letzten Jahrhunderte, sondern wurden schon von den Skythen verwendet. Bei den Skythen handelte es sich um ein Reiternomadenvolk, das zwischen dem siebten und dritten Jahrhundert vor Christus im asiatischen Raum lebte. Dieses Volk nutzte eine Satteldecke aus Filz, die eine dekorative sowie funktionelle Bedeutung hatte. Während der langen Ritte der Skythen wurde sie zum Schutz des Pferderückens unter den Sattel gelegt und nachts diente sie den Reitern als wärmende Decke. Im 19. Jahrhundert wurde der Höhepunkt der dekorativen Bedeutung der Sattelunterlage erreicht. Soldaten und Offiziere besaßen eine Paradeausrüstung, die eine mit Gold- und Silberborten verzierte Schabracke als Bestandteil hatte. Diese Decke aus Baumwollgewebe beziehungsweise Leder- oder Rohhaut wurde jedoch über und nicht unter dem Sattel getragen. Unter dem Sattel wurde die sogenannte „Schweißdecke“ benutzt, die vom Vorderziesel bis zu den Flanken reichte und ebenfalls aufwändig verziert war (Edwards 1996).

Heute soll die Sattelunterlage je nach Ausführung verschiedene Funktionen erfüllen. Als Hauptfunktion ist der Schutz des Sattels vor Schweiß und Schmutz zu nennen, dies soll das Leder vor Austrocknung schützen und den Reinigungsbedarf des Sattels verringern. Eine ebenfalls erwünschte Eigenschaft ist die Temperaturregulierung bzw. Atmungsaktivität, um einen Hitzestau am Pferderücken zu verhindern. Weiters sollen Sattelunterlagen eine stoßdämpfende und druckverteilende Wirkung haben, die die Gesunderhaltung des Pferderückens gewährleistet. Damals, wie auch zur heutigen Zeit ist der dekorative Nutzen der Sattelunterlagen von großer Bedeutung. Am heutigen Markt sind Sattelunterlagen in allen erdenklichen Farben und mit Verzierungen wie Kordeln, Samt und Glitzersteinen zu finden. Auch im Turniersport sind Schabracken als Werbeträger nicht mehr wegzudenken.

Ziel der Arbeit war die Untersuchung von Sattelunterlagen auf ihre mechanischen Eigenschaften und die daraus resultierenden Unterschiede bezüglich des Preises, Materials und Gebrauchszustands. Hierzu wurden folgende Hypothesen aufgestellt.

- I. Sattelunterlagen, die mit Lammfell unterlegt sind, weisen bessere mechanische Eigenschaften auf als Schabracken, die nur aus Baumwolle bzw. Synthetikfasern bestehen.
- II. Die Steifigkeit der gebrauchten Schabracken nimmt höhere Werte an als die neuwertigen Sattelunterlagen.

2. Literaturüberblick

2.1. Sattellage

Die Lage des Sattels wird durch die Form der Brustwirbelsäule, der Lendenwirbelsäule, der Schulter und der Ausbildung der Muskulatur und der Faszien bestimmt. Durch eine nicht fachgerechte Anpassung des Sattels oder falsches Satteln bzw. Gurten kann es zu unerwünschten Blockaden bzw. Verspannungen der Muskulatur kommen. Weiters besteht auch das Risiko Schäden auf der Haut oder an den Nerven, in der Sattel- und Gurtlage, zu verursachen (Schulte Wien und Kurz 2022).

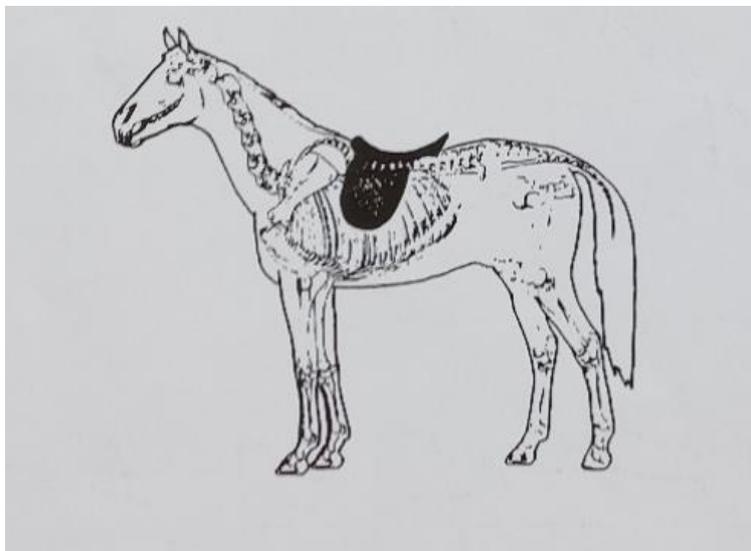


Abbildung 1: Die Lage des Sattels (Andre et al. 2014)

2.1.1 Brustwirbelsäule (Columna thoracica)

Die Columna thoracica besteht aus 18 Thorakalwirbeln, die lange Dornfortsätze aufweisen. Die Dornfortsätze der Brustwirbel drei bis neun bilden den Widerrist. In der Regel ist der fünfte Thorakalwirbel der höchste Punkt des Widerristes. Eine Besonderheit der Brustwirbelsäule ist die Ausrichtung der Dornfortsätze. Die ersten 14 Brustwirbel besitzen eine caudale Neigung, der 15. steht vertikal und die Thorakalwirbel 16-18 neigen sich cranial. Die Wölbung der Columna thoracica wird als c-förmig angesehen und daher auch mit einer Bogensehnenbrücke verglichen. Von jedem Brustwirbel zieht ein Rippenpaar zu dem Brustbein (Sternum). Die Rippen (Costae), das Sternum und die Brustwirbelsäule werden in ihrem Zusammenhang als Brustkorb bezeichnet (Schulte Wien und Lamparter 2009, Schulte Wien und Kurz 2022).

2.1.2 Lendenwirbelsäule (Columna lumbalis)

Die Columna lumbalis besteht aus sechs Wirbeln, wobei Pferde der Rasse Achal Tekkiner, oder andere Pferde mit einem außergewöhnlich langen Rücken, einen siebten Lumbalwirbel besitzen können. Die Lendenwirbelsäule hat identisch zur Brustwirbelsäule auch eine c-förmige Ausprägung. Die Wirbel der Columna lumbalis verfügen über ausgeprägte Dorn- sowie Querfortsätze. Die Querfortsätze können auch miteinander verwachsen, weil sie so nahe aneinander liegen. Dies bereitet dem Pferd aber keinerlei Probleme, da dem Pferd auch ohne Verwachsung kaum Seitwärtsbewegungen der Lendenwirbelsäule möglich sind. Hierzu müssten die Querfortsätze übereinander gleiten. Allgemein findet kaum Bewegung im Lendenbereich statt, die Hauptbewegungen (Streckung und Beugung) werden durch die Übergänge zwischen Lendenwirbelsäule und Kreuzbein bzw. Brustwirbelsäule bewerkstelligt (Schulte Wien und Lamparter 2009, Schulte Wien und Kurz 2022).

2.1.3 Schulterblatt (Skapula)

Beim Schulterblatt handelt es sich um einen dreieckigen flachen Knochen, der zur Besonderheit hat, dass sich ein Knorpelaufsatz an seinem proximalen Ende befindet. Dieser Knorpelaufsatz reicht nahezu bis zum Widerrist des Pferdes. Liegt der Sattel zu nahe an dem Knorpel, kann die Bewegungsfreiheit des Schulterblattes und daraus folgend der gesamten Schulter eingeschränkt werden. Um dies zu vermeiden, sollte das Kopfeisen des Sattels in etwa zwei Fingerbreiten hinter dem Schulterblattknorpel zu liegen kommen (Schulte Wien und Kurz 2022).

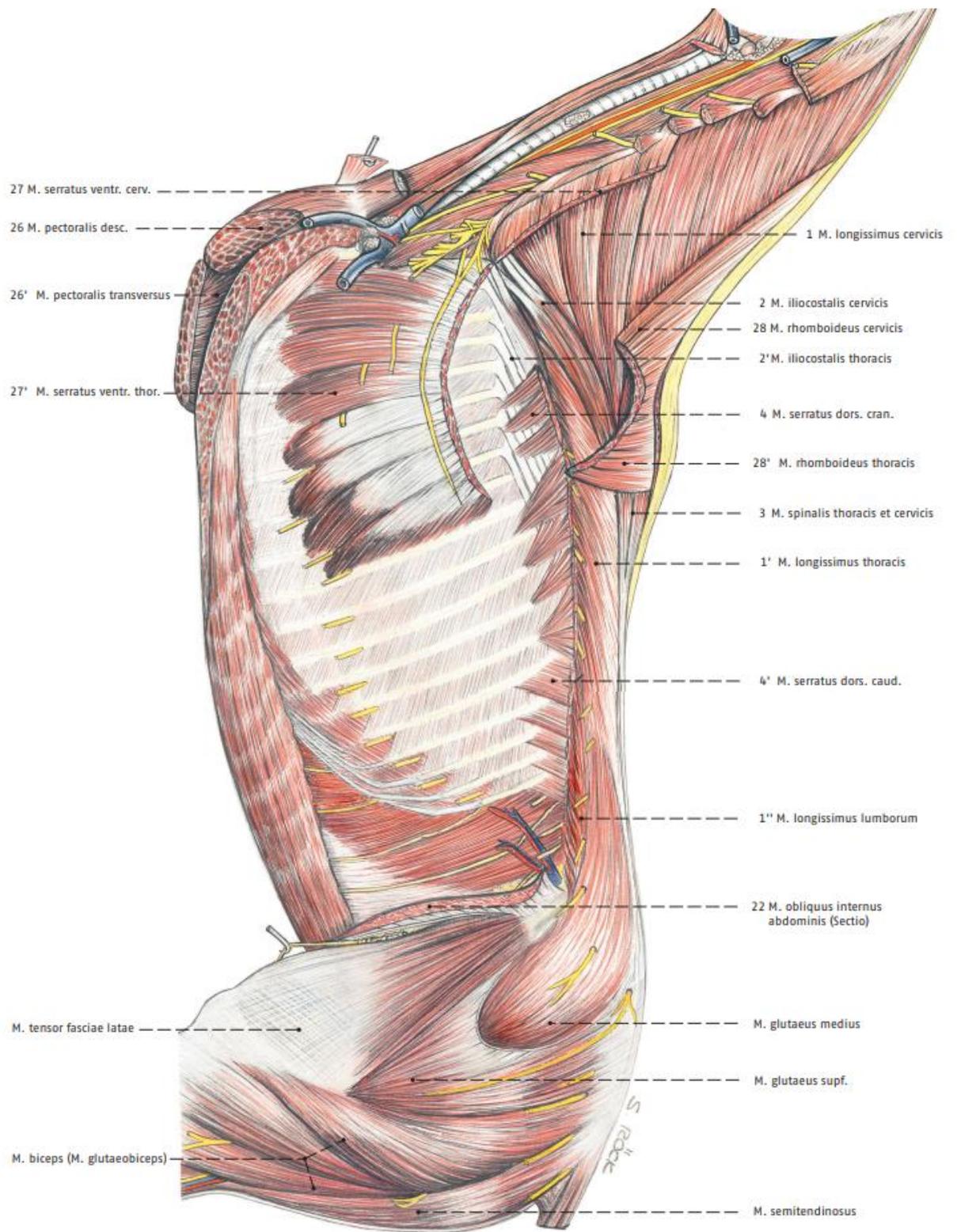


Abbildung 2: Oberflächliche Rumpfmuskulatur (Mülling et al. 2014)

2.1.4 Muskulatur und Faszien

Die wichtigsten Muskeln, die zur Formung der Sattellage beitragen sind der lange Rückenmuskel (M. longissimus dorsi), der gemeinschaftliche Rückenmuskel (M. iliocostalis), der Trapezmuskel (M. trapezius), der Dornfortsatzmuskel (M. spinalis), der breite Rückenmuskel (M. latissimus dorsi), die Zwischenrippenmuskeln (Mm. intercostales), und die Brust- und Bauchmuskeln (Mm. pectorales et abdominales). Neben der Muskulatur sind auch folgende Faszien von großer Bedeutung: oberflächliche Faszie (Fascia superficialis), tiefe Rumpffaszie (Fascia trunci profunda), oberflächliche Rumpffaszie (Fascia trunci perificalis). Um die Kraft zwischen der Wirbelsäule, den Gliedmaßen und dem Becken zu übertragen und die Brust-Lendenregion zu stabilisieren, sind die Fascia thoracolumbalis, ein Bestandteil der Fascia trunci profunda, und die Fascia spinocostotransversalis, beim Pferd auch als Ligamentum dorsoscapulare bezeichnet, entscheidend. Würde der Sattel zu weit in die hintere Brustwirbelsäule ragen, käme es zu unerwünschtem Druck auf die Rückenmuskulatur und -faszien. Dies hätte zur Folge, dass das Pferd nicht wie erwünscht mit den Hinterbeinen untertreten, sondern nur nach hinten heraustreten kann, da der Druck auf den Rücken einen Zug auf die Sitzbeinmuskeln und damit auf die Hinterbeine auslöst (Schulte Wien und Lamparter 2009, Schulte Wien und Kurz 2022).

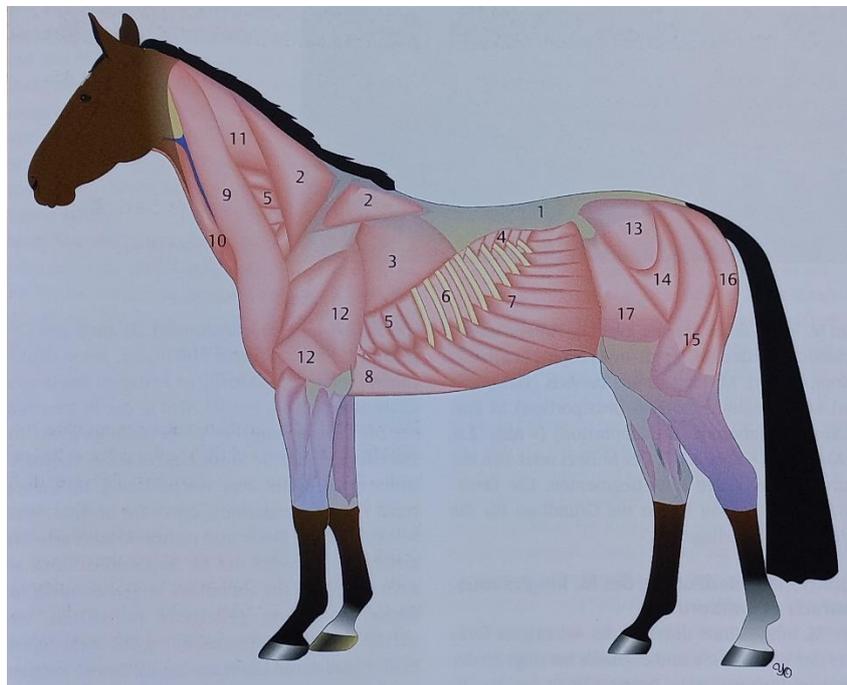


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Muskulatur und der Faszien: 1 Fascia thoracolumbalis, 2 M. trapezius, 3 M. latissimus dorsi, 6 M. intercostales, 7 M. obliquus externus abdominis, 8 M. pectoralis profundus (Schulte Wien und Kurz 2022)

2.2. Der englische Sattel

Der englische Sattel wurde ursprünglich für den Turniersport entwickelt, ist heute jedoch auch im Bereich der Freizeitreiterei oft aufzufinden. Er unterscheidet sich von anderen Sätteln, wie beispielsweise dem Westernsattel, durch eine geringere Auflagefläche am Pferderücken. Diese ermöglicht eine direktere Übertragung der Reiterhilfen, ist aber für Langstreckenritte und lange Belastungen nicht geeignet, da der Druck auf weniger Fläche verteilt wird (Rieser 2008).

2.2.1 Zweck eines Sattels

Der Sattel ermöglicht die Kommunikation zwischen Pferd und Reiterin/Reiter, da er die Verbindung zwischen beiden herstellt. Der Grundgedanke des Sattels ist die Verteilung des auf dem Pferd lastenden Gewichts auf eine möglichst große Fläche und somit die Entlastung des Pferderückens. Weiters soll der Sattel der Reiterin/dem Reiter erlauben, möglichst nah am Pferd und über dem Schwerpunkt des Pferdes zu sitzen, um die Hilfengebung der Reiterin/des Reiters zu erleichtern. Die größte Nähe zum Pferd und somit die direkteste Impulsübertragung würde das Reiten ohne Sattel erlauben. Bei längeren Ritten verfällt die Reiterin/der Reiter aber meist in den Stuhlsitz und bereitet sich und dem Pferd Schmerzen, da sie/er seine Gesäßknochen in den Pferderücken drückt. Weiters ist es von großer Bedeutung, dass der Sattel auf den Körperbau von Reiterin/Reiter und Pferd sowie auf den angedachten Einsatzbereich abgestimmt ist, um Wohlbefinden bei Pferd und Reiterin/Reiter zu gewährleisten. Die Gymnastizierung und sportliche Ausbildung des Pferdes, und die vorausgesetzte Bewegungsfreiheit, soll durch den Sattel ebenfalls unterstützt werden. Ein weiterer entscheidender Punkt für die Funktionalität ist die Anpassungsfähigkeit des Sattels. Mit der Förderung des Pferdes kommt es durch Vorgänge, wie beispielsweise dem Muskelaufbau, zu einer Veränderung der Sattellage, weswegen der Sattel darauf angepasst werden können muss (Schulte Wien und Lamparter 2009, Rieser 2008).

2.2.2 Geschichte des Sattels

Die Reiternomaden ritten lange Zeit sattellos in den Kampf, bis sie dazu übergingen, Felle zur Schonung des Pferderückens aufzulegen und diese mit Lederriemen zu befestigen. Sie entwickelten auch Lederschlaufen, als Vorgänger der heutigen Steigbügel. Um die Bequemlichkeit am Pferderücken zu erhöhen, ging man dazu über, eine Art Kissen am Pferd zu befestigen. Später wurde das Kissen in zwei geteilt und bot dadurch Wirbelsäulenfreiheit. Der nächste Schritt in Richtung Sattel war der Aufbau eines Gerüsts über oder unter dem „Kissensattel“. Somit entstanden die ersten Formen des Sattelbaumes. Die Sättel hatten lange Zeit eine große Bedeutung für die Kriegsführung zu Pferd, von der Blütezeit der Reiternomaden

bis hin zu den beiden Weltkriegen. Mit den Jahrhunderten entwickelte sich auch der Sattel weiter und aus den Fellen wurden Armeesättel. In den 1950er- und 1960er-Jahren entstand aus diesen Armeesätteln und dem Urtyp „Englischsattel“, der einer Weiterentwicklung des Jagdsattels entspricht, der englische Sportsattel für ländliche Turniere (Schulte Wien und Lamparter 2009, Rieser 2008).

2.2.3 Arten von Sätteln

Sättel sind in vielen verschiedenen Formen und Farbvariationen zu finden, da im Reitsport viele verschiedene Disziplinen ausgeübt werden und die Reiterinnen/Reiter hierbei bestmöglich unterstützt werden wollen. Sie lassen sich in etwa in folgende Sattelarten einteilen:

Dressursattel

Wichtige Aspekte für die Dressurreiterin/den Dressurreiter sind der Kontakt zum Pferd und die Förderung eines guten Sitzes. Hierzu verfügen Dressursättel über einen tiefen Sitz sowie ein gerades langes Sattelblatt mit Pauschen, um die Haltung der Reiterin/des Reiters zu unterstützen, und verlängerte Gurtstrippen, die das Gurten unterhalb des Sattelblattes ermöglichen und die Nähe zum Pferd erhöhen. Weiters sind die Trachten kurz und schmal, um engen Kontakt zum Pferd zu ermöglichen (Koller 1997).

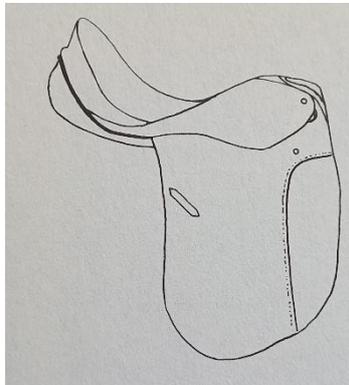


Abbildung 4: Dressursattel (Herzog 1998)

Springsattel

Der Springsattel hingegen soll die Reiterin/der Reiter im Springsitz unterstützen und das einfache Verlagern des Reitergewichts ermöglichen. Er besitzt einen flachen Sitz sowie ein nach vorne gezogenes Sattelblatt mit ausgeprägten Pauschen, um der Reiterin/dem Reiter Halt sowie Bewegungsfreiheit zu bieten. Im Gegensatz zum Dressursattel besitzt der Springsattel auch Wadenpauschen und nicht nur Oberschenkelpauschen (Koller 1997).

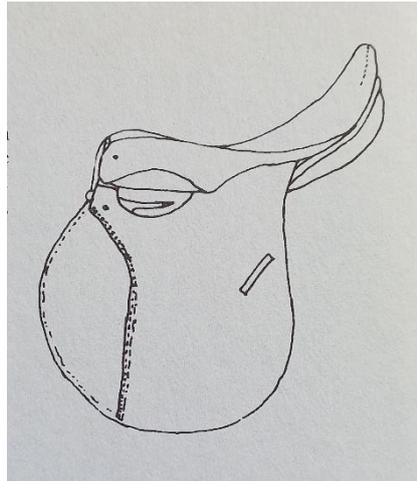


Abbildung 5: Springsattel (Herzog 1998)

Vielseitigkeitssattel

Der Vielseitigkeitssattel ist die Zwischenform von Dressur- und Springsattel. Dies bedeutet, dass er über kürzere Sattelblätter als der Dressursattel und nicht so weit vorgezogene Sattelblätter, wie der Springsattel verfügt. Er besitzt nicht so stark ausgeprägte Pauschen, wie der Springsattel, aber sie geben der Reiterin/dem Reiter deutlichen Halt. Auf dem Markt sind Vielseitigkeitssättel mit Schwerpunkt Dressur oder Schwerpunkt Springen zu finden, die je nach gewähltem Schwerpunkt vermehrt die Merkmale des disziplinspezifischen Aufbaus aufweisen (Borries 1998, Schulte Wien und Kurz 2022).

2.3. Sattelherstellung und Pflege

Die Erzeugung und Anpassung von Sätteln werden von Sattlern vorgenommen. Um den Sattel bestmöglich an den Rücken anzupassen, wird der Pferderücken vermessen und auf Symmetrie überprüft. Zur Vermessung werden Instrumente, wie beispielsweise ein einfaches Satteltgitter oder auch moderne Messgeräte, verwendet. Nach der Anfertigung beziehungsweise Anpassung in der Sattlerei, wird der Sattel zur Probe auf den Pferderücken gelegt und auf seine Passform geprüft (Lange 2001). Die genauen Bestandteile des Sattels, Materialien für den Sattelbau, sowie die materialgerechte Pflege werden im Folgenden näher betrachtet.

2.3.1 Materialien

Für den Sattelbau sind heute viele verschiedene Materialien am Markt zu finden, doch für den englischen Sattel sind Leder und Kunststoff die dominierenden Rohstoffe. Andere Materialien wie Filz, Lammfell oder andere Formen von Geweben sind vermehrt im Bereich der baumlosen Sättel zu finden.

Leder

Leder ist das meistverwendete Material für Zubehör im Pferdesport und wird durch ein dreischrittiges Verfahren aus Tierhäuten hergestellt. Es ist vor allem für seine Langlebigkeit und Reißfestigkeit bekannt. Neben der Sattelherstellung wird es auch für Ausrüstungsgegenstände, wie beispielsweise Vorderzeuge und Zaumzeuge, verwendet. Darüber hinaus findet es nicht nur Anwendung am Pferd selbst, sondern auch an der Reiterin/am Reiter, in Form von Reitstiefeln. Da es sich bei Leder um ein Naturprodukt handelt, liegen unterschiedliche Lederqualitäten vor. Für Sättel und Geschirr wird in der Regel feinporiges Leder aus Hals, Flanke und Rücken des Rinds verwendet. Besonders festes Leder wird aus dem Rücken gewonnen, welches für strapazierfähige Bestandteile des Sattels, wie beispielsweise Bügelriemen, benutzt wird. (Rietschel 2004, Lange 2001).

Kunststoff

Weiters findet man am Markt auch Hersteller, die Sättel aus Kunststoff produzieren. Im Unterschied zu der Ledervariante sind Kunststoffsättel günstiger, leichter zu heben und einfacher zu reinigen, wobei sie auch Nachteile mit sich bringen. Hier sind auf jeden Fall die geringere Strapazierfähigkeit und Haltbarkeit zu erwähnen (Koller 1997).

2.3.2 Aufbau des englischen Sattels

Der Sattel setzt sich aus Vorderzwiesel, Sattelkammer, Sitzfläche, Hinterzwiesel, Sattelblätter, Schweißblätter, Pauschen, Gurtstrupfen, Steigbügelriemen, Steigbügel und Sattelkissen zusammen (Borries 1998). Die genauere Bedeutung und Funktion der einzelnen Bestandteile werden im Folgenden näher beleuchtet.

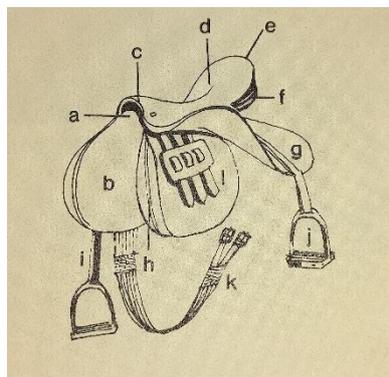


Abbildung 6: Aufbau des Sattels: a Sattelkammer, b Schweißblatt, c Vorderzwiesel, d Sitzfläche, e Sattelkranz, f Sattelpolster, g Sattelblatt, h Pausche, i Steigbügelriemen, j Steigbügel, k Satteltgurt, l Strupfen (Pollay 1976)

Sattelbaum

Der Sattelbaum ist das Kernstück des Sattels und aus diesem Grund maßgeblich für die Passform.

Aufbau

Verwendete Materialien für einen Sattelbaum sind Holz, Kunststoff, Stahl oder Kombinationen aus diesen Materialien. Je nach verwendetem Material unterscheiden sich die Sattelbäume in Flexibilität, Veränderbarkeit und Stabilität. Der Sattelbaum kann in drei Abschnitte eingeteilt werden, den Vorderzwiesel, die Sitzfläche und den Hinterzwiesel. Am Vorderzwiesel wird das Kopfeisen angebracht, welches die seitlichen Teile der Sattelkammer bildet (Schulte Wien und Lamparter 2009).

Passform

Die Passform des Sattels ist zum Großteil von der Form des Sattelbaumes abhängig. Die Passform des Sattels ist von großer Bedeutung, um der Reiterin/ dem Reiter bzw. dem Pferd eine sportliche Leistung mit Präzision, Leichtigkeit und Bewegungsfreiheit zu ermöglichen. Ein zu weiter oder zu enger Sattelbaum hingegen führt zu einer kleinflächigeren Belastung und kann dadurch schädlichen Druck am Pferderücken erzeugen. Ruft ein Sattel lokale Druckkonzentrationen hervor, stellt das Pferd den Vorwärtsschwung der Beine ein und die Schrittlänge wird somit verkürzt (Harman 1999, Meschan et al. 2007, Frühwirth et al. 2004).

Sattelkammer und Sattelkanal

Die Sattelkammer bietet dem Pferd die benötigte Widerristfreiheit. Das Kopfeisen, welches sich am Sattelbaum befindet, bestimmt durch seine Weite die Größe der Sattelkammer. Der Sattelkanal schließt direkt an die Sattelkammer an und verläuft parallel zur Wirbelsäule, um ihr ebenfalls Freiraum zu bieten (Rietschel 2004).

Sattelsitz

Der Sattelsitz wird auch als Sitzfläche bezeichnet und ermöglicht der Reiterin/dem Reiter einen ausbalancierten Sitz. Er folgt dem Sattelbaum und hat den tiefsten Punkt im mittleren Drittel der Sitzfläche. Auch die Ausbildungsstufe der Reiterin/des Reiters beeinflusst die Druckentwicklung unter dem Sattel, da bei einer reitenden Person mit ruhigem ausbalanciertem Sitz, andere Kräfte wirken als bei einer Anfängerin/ einem Anfänger, die/der unruhig im Sattel sitzt (Rietschel 2004, Peham et al. 2001).

Sattelkissen

Die Sattelkissen sind die Polsterung des Sattels und werden an den Rücken des Pferdes angepasst. Sie verteilen und dämpfen den Druck, der durch das Gewicht des Sattels und der Reiterin/des Reiters entsteht. Die Füllung der Sattelkissen besteht meist aus Wolle, Rosshaar oder auch künstlichem Schaum. Der Vorteil von Wolle und Rosshaar liegt darin, dass die Polsterung

jederzeit veränderbar ist. Formkissen aus künstlichem Schaum sind vorgefertigt und können bei Bedarf kaum abgeändert werden (Rietschel 2004).

Sattelblätter

Die Sattelblätter bilden die Seitenteile des Sattels und sind je nach Verwendungszweck unterschiedlich geformt. Zum Beispiel verfügen Dressursättel über lange und gerade Sattelblätter, währenddessen die Sattelblätter bei Springsätteln im Gegensatz dazu weit nach vorne geschnitten sind, um den Knien mehr Halt zu bieten (Schulte Wien und Lamparter 2009).

Sattelpauschen

Die Sattelpauschen sind am Rand der Sattelblätter oder der Schweißblätter aufgebracht und unterstützen den Sitz der Reiterin/des Reiters. Es gibt drei Formen von Sattelpauschen, und zwar die Knie-, Schenkel- und Wadenpauschen. Die Schenkelpauschen geben den Oberschenkeln und Knien mehr Halt und sind am vorderen Rand der Sattel- beziehungsweise Schweißblätter zu finden. Die kleinere Version der Schenkelpauschen sind die Kniepauschen, die vor allem die Knie unterstützen und etwas mehr Bewegungsspielraum bieten. Wadenpauschen sind am hinteren Rand der Schweiß- oder Sattelblätter aufgebracht und werden oft bei Springsätteln verwendet, um vermehrten Halt über dem Hindernis zu gewährleisten (Rietschel 2004, Schulte Wien und Lamparter 2009).

Schweißblätter

Schweißblätter sind ident zu den Sattelblättern und liegen direkt unter diesen. Sie haben die Funktion den Sattel vor Schweiß und anderen Einflüssen, die vom Pferderücken ausgehen, zu schützen (Borries 1998).

Sattलगurtstrupfen

Die Sattलगurtstrupfen werden auch als Sattel- oder Gurtstrippen bezeichnet und ermöglichen die Fixierung des Sattels am Pferd über dem Sattलगurt. Es werden entweder Kurzstrippen oder Langstrippen verwendet. Kurzstrippen kommen vor allem bei Springsätteln und Langstrippen bei Dressursätteln vor. Langstrippen haben den Vorteil, dass die Reiterin/der Reiter einen besseren Kontakt zum Pferd hat, da bei Kurzstrippen die Gurtschnallen zwischen den Schweißblättern und Sattelblätter zu liegen kommen, währenddessen bei Langstrippen unterhalb des Sattels seitlich am Pferd gegurtet wird (Schulte Wien und Lamparter 2009).

2.3.3 Sattelzubehör

Das Sattelzubehör ist auch ein wesentlicher Bestandteil des Sattels, da es die ordnungsgemäße Nutzung ermöglicht. Hierzu zählen die Steigbügel mit zugehörigen Riemen, der Sattelturt und die Sattelunterlage.

Steigbügel

Grundsätzlich werden Steigbügel aus rostfreiem Stahl hergestellt, aber es gibt auch Ausführungen in Kombination mit Kunststoff, Holz und Leder. Die Trittfläche ist mit einer Einlage versehen, die das Hinausrutschen des Fußes verhindern soll. Die Steigbügel sollen der Reiterin/dem Reiter eine Erleichterung beim Aufsitzen bieten und einen sicheren Sitz im Sattel ermöglichen (Schulte Wien und Lamparter 2009, Lange 2001).

Steigbügelriemen

Die Steigbügelriemen dienen zur Verbindung zwischen Steigbügel und Sattel und werden seitlich am Sattelsitz an einer Sturzfeder angebracht, um ein Festhängen des Fußes im Bügel bei einem möglichen Sturz zu verhindern. Steigbügelriemen bestehen aus Leder oder einer Kombination aus Nylon und Leder, da Steigbügelriemen Formbeständigkeit und Belastungsfähigkeit aufweisen sollten und die genannten Materialien dies gewährleisten. Im Trab kommt es zu einer Kraftentwicklung der Reiterin/ des Reiters von bis zu $1,17 \pm 0,28$ N auf die Steigbügel. Die Steigbügelriemen müssen diesen und auch höheren Kräften, die bei Stürzen auftreten könnten, standhalten. (Schulte Wien und Lamparter 2009, Lange 2001, Van Beek et al. 2011).

Sattelturt

Der Sattelturt dient zur Fixierung des Sattels am Pferd und wird an den Gurtstrupfen des Sattels über Schnallen befestigt. Die zwei Ausführungen an Sattelturten sind der Kurzurt für Sättel mit Langstrippen und der Langurt für Sättel mit Kurzstrippen. Der Sattelturt sollte über eine möglichst breite Auflagefläche in der Brustbeinregion und genügend Ellbogenfreiheit verfügen, um dem Pferd ausreichend Bewegungsfreiheit zu bieten. Gängige Materialien für Gurte sind Neopren, Leder, Baumwolle und Lammfell. Das Anziehen des Sattelturtes erhöht die wirkenden Kräfte am Pferderücken kaum, jedoch kann es zu erhöhtem Druck auf den Brustkorb kommen. Dies beeinträchtigt den Bewegungsablauf des Pferdes nicht, kann aber das Wohlbefinden senken. (Schulte Wien und Lamparter 2009, De Cocq et al. 2004).

Die Sattelunterlagen werden in den folgenden Kapiteln noch ausführlich beleuchtet.

2.3.4 Sattelpflege

Die regelmäßige Pflege von Sattel und Zubehör ist von großer Bedeutung, um die Ausrüstung möglichst lange nutzen zu können und die Sicherheit von Pferd und Reiterin/Reiter nicht zu gefährden. Die folgenden Unterpunkte erläutern die richtige Pflege von Leder und Kunststoff, die zwei häufig verwendeten Materialien in der Herstellung des englischen Sattels.

Leder

Gepflegtes Leder fühlt sich weich und geschmeidig an. Das Ziel der Lederpflege ist die Vermeidung von hartem und trockenem Leder, da trockenes Leder zu Rissen neigt und es somit zu einem Sicherheitsrisiko kommen kann. Bevor das Leder gepflegt werden kann, müssen sämtlichen Verschmutzungen und Schweißrückständen bereinigt werden. Hierzu eignet sich die Sattelseife, welche das Leder von Rückständen befreit und dabei rückfettend wirkt. Anschließend kann das Leder mit Lederfett, Lederöl, Lederbalsam oder einem Kombi-Pflegeprodukt gepflegt werden. (Rietschel 2004)

Kunststoff

Die Pflege von Kunststoffsätteln beschränkt sich auf die Reinigung der Kunststoffoberflächen mit klarem Wasser und einem Tuch beziehungsweise einer feinen Bürste. (Koller 1997)

2.4. Sattelunterlagen

Sattelunterlagen sollen den Sattel vor Schweiß und Verschmutzungen schützen und den Pferderücken durch stoßdämpfende und druckverteilende Eigenschaften schonen. Um zu verhindern, dass der Schweiß den Sattel erreicht, sollte die Sattelunterlage über eine ausreichende Saugwirkung verfügen. Die Wahl der Sattelunterlage ist von Faktoren wie der Empfindlichkeit des Pferdes, der Reitdisziplin und der Passform des Sattels abhängig zu machen und daher individuell an die Bedürfnisse von Pferd und Reiterin/Reiter anzupassen. Eine Sattelunterlage kann die Lage des Sattels verbessern, jedoch gilt, dass eine Sattelunterlage keinen unpassenden Sattel passend machen kann (Neuhaus 1990, Koller 1997, Edwards 1996, Baltacis 2007).

2.4.1 Arten von Sattelunterlagen

In folgendem Kapitel findet sich eine Auswahl an Sattelunterlagen, die unter dem englischen Sattel verwendet werden. Verschiedene Ausführungen von Sätteln bedingen auch eine Vielzahl an unterschiedlichen Sattelunterlagen, denn das Material und die Form der verwendeten Sattelunterlage ist durch Reitweise und Verwendungszweck bedingt (Lange 2001).

Satteldecke

Die Bestandteile einer Satteldecke sind zwei Lagen dünner Stoff und eine Zwischenschicht, die miteinander versteppt sind. Die Zwischenschicht soll als Polsterung der Satteldecke dienen. Die Satteldecke orientiert sich an den Umrissen des disziplinspezifischen Sattels, um diesen bestmöglich zum Pferderücken hin abzudecken. Außerdem sind am vorderen und unteren Rand der Satteldecke Gurtbandschlaufen zu finden, die das Fixieren der Decke am Sattel ermöglichen (Borries 1998).

Schabracke

Die Schabracke hat große Ähnlichkeit mit der Satteldecke, sie unterscheiden sich nur in einem Punkt. Die Schabracke besitzt eine rechteckige, aber dennoch ergonomische Form. Sie verläuft zur Flanke des Pferdes hin und ermöglicht das Anbringen von Gepäck, Startnummern oder Emblemen (Borries 1998, Lange 2001).

Pad

Ein Pad wird meist zusätzlich zwischen Schabracke/Satteldecke und dem Sattel verwendet wodurch einerseits der Reitkomfort erhöht wird und andererseits Rückenproblemen von Pferden entgegengewirkt werden kann. Häufig verwendete Materialien für Pads sind Schaumgummi, Lammfell oder Gel (Rietschel 2004).

Woilach

Der Woilach ist eine Decke mit den Maßen von 2 x 2m bzw. 2 x 2,5m und besteht aus Wolle. Die Decke wird dreifach gefaltet, bevor sie zwischen Sattel und Pferderücken gelegt wird. Durch das Umfalten des Woilachs stehen mehrere saubere Seiten zur Verfügung, die auf dem Pferderücken zu liegen kommen können. Diese Form der Sattelunterlage wurde beim Militär verwendet, ist jedoch heute nicht mehr so geläufig (Neuhaus 1990).

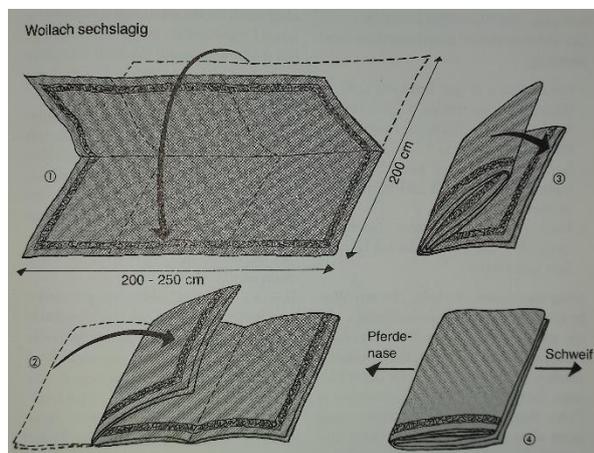


Abbildung 7: Woilach Falttechnik (Neuhaus 1990)

2.4.2 Verwendete Materialien für Sattelunterlagen

Am heutigen Markt für Reitzubehör sind viele verschiedene Materialien und Qualitäten von Sattelunterlagen vertreten. Die geläufigsten Materialien sind hier aufgelistet.

Baumwolle

Die Baumwolle zählt zu den Naturfasern und besteht nahezu vollkommen aus Cellulose. Baumwolle hat eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit, jedoch wird sie nass, schwer und trocknet relativ langsam, daher ist eine Sattelunterlage aus reiner Baumwolle für mehrtägige Ritte nicht geeignet. Sie weist eine gute Atmungsaktivität, Feuchtigkeits- und Temperaturregulierungsfähigkeit auf. Darüber hinaus ist sie wenig elastisch und besitzt somit eine Knitterneigung. Die Schichten einer Schabracke/Satteldecke sind miteinander versteppt, um die Knitterbildung möglichst zu verhindern. Baumwolle hat eine hohe Hautverträglichkeit, da sie im Gegensatz zur Wolle nicht kratzt und sehr selten allergische Reaktionen hervorruft (Kricheldorf 2013, Rieser 2008).

Polyester

Polyester setzen sich aus Makromolekülen von Estern zusammen und sind die meist verwendeten Synthetikfasern in der Textilindustrie. Sie bestechen durch ihre gute Scheuer- und Reißfestigkeit. Weiters sind sie leicht zu pflegen, formbeständig und elastisch, und knittern dadurch im Unterschied zur Baumwolle kaum. Ein weiterer Vorteil gegenüber der Baumwolle ist, dass Polyesterfasern schnell trocknen. Die Synthetikfasern weisen eine hohe Wärmespeicherfähigkeit auf, was im Pferdebereich als Nachteil angesehen wird, da es unter der Sattelunterlage zu einem Hitzestau kommen kann. Ein weiterer Nachteil von Polyester ist die geringe Schweißaufnahme. Oft werden für Textilien auch Mischgewebe mit Naturfasern, wie beispielsweise Baumwolle, verwendet (Kricheldorf 2013, Albrecht et al. 2013).

Schaumstoff

Schaumstoff wird oft als Polstermaterial zwischen den Stoffschichten der Sattelunterlagen verwendet, da er Stöße sehr gut abfedern soll (Koller 1997, Lange 2001).

Filz

In der Textilbranche sind mehrere Ausführungen von Filz zu finden. In der Pferdebranche setzt man hauptsächlich auf den Wollfilz (recycelte Reißwolle), da er preisgünstiger als der Haarfilz (reines Tierhaar) ist und bessere Eigenschaften als der Synthetikfilz besitzt. Der Wollfilz verfügt über eine gute Feuchtigkeitsaufnahme sowie eine gute Formanpassung an den Pferderücken, die durch die Nutzung voranschreitet (Koller 1997, Reiser 2008).

Wolle

Bei Wolle handelt es sich um Haare verschiedener Schafrassen. Zu ihren Eigenschaften zählen eine gute Wärmeisolation, Feuchtigkeitsaufnahme und Temperaturregulierung. Weiters ist sie atmungsaktiv und elastisch. Allerdings kann Wolle zu allergischen Reaktionen führen, die durch Rückstände von Farb- oder Konservierungsstoffen oder das Wollwachs Lanolin bedingt sein können (Albrecht et al. 2012).

Lammfell

Lammfell wird von Schafen gewonnen und besticht durch seine gute Wärmeisolation, Feuchtigkeitsaufnahme und Temperaturregulierung. Weiters ist es anschmiegsam, elastisch und strapazierfähig. Lammfell kann im Gegensatz zu Filz in der Waschmaschine gewaschen werden. Hier ist nur zu beachten, dass man ein spezielles Waschmittel mit rückfettenden Eigenschaften verwendet (Albrecht et al. 2012, Reiser 2008).

2.4.3 Pflege von Sattelunterlagen

Eine regelmäßige und dem Material entsprechende Pflege ist eine wichtige Maßnahme, um die Funktionalität der Sattelunterlagen aufrecht zu erhalten und dem Pferd nicht zu schaden. Sattelunterlagen sollten nach jedem Gebrauch abgebürstet, getrocknet und ausgelüftet werden. Weiters darf das periodische Waschen der Unterlagen mit auf das Material abgestimmten Waschmitteln, nicht vernachlässigt werden. Kommt es zu Verhärtungen der Sattelunterlage, kann dies zu Druckstellen am Pferd führen (Borries 1998, Rietschel 2004).

3. Material und Methode

3.1. Messsystem

Zur Messung der mechanischen Eigenschaften der Sattelunterlagen wurde der „Vienna Surface Tester“ angewendet. Er wurde an der Veterinärmedizinischen Universität Wien von Johannes Peter Schramel und Christian Peham entwickelt. Beim „Vienna Surface Tester“ handelt es sich um eine Kugel, die mit Beschleunigungssensoren ausgestattet ist. Aus den Daten dieser Sensoren werden die Parameter Abwurfhöhe, Aufprallgeschwindigkeit, Eindringtiefe, Steifigkeit, Energierückgewinnung und Resonanzfrequenz berechnet. Das Messgerät, auf dem sich der Auslöserknopf befindet, ist mit der Kugel über ein Kabel verbunden. Die Messdaten werden auf der SD-Karte im Messgerät abgespeichert. Nach den Messungen wurden die Daten auf dem Computer mit Excel und SPSS ausgewertet.

3.2. Sattelunterlagen

Es wurden 40 Sattelunterlagen auf ihre Eigenschaften überprüft und darauffolgend verglichen. Die Schabracken wurden in 4 Gruppen zu jeweils 10 Stück eingeteilt. In der folgenden Tabelle sind die Eigenschaften der jeweiligen Gruppe aufgelistet.

Tabelle 1: Gruppeneinteilung

Gruppe	Zustand	Neupreis	Material
1	neu/neuwertig	20-50€	Baumwolle/Polyester
2	neu/neuwertig	70-100€	Baumwolle/Polyester
3	neu/neuwertig	125-200€	Baumwolle/Polyester + Lammfell
4	älter/stark gebraucht	20-50€	Baumwolle/Polyester



Abbildung 8: Überprüfte Schabracken 1



Abbildung 9: Überprüfte Schabracken 2

3.2.1 Gruppe 1

In der ersten Gruppe wurden Schabracken zusammengefasst, die den Kaufpreis von 50€ nicht übersteigen und sich in einem neuen beziehungsweise neuwertigen Zustand befinden. Dabei wurden Schabracken der Marken Eskadron, Felix Bühler, Waldhausen sowie Busse für die Untersuchung herangezogen. Bei den Eskadron-Schabracken handelt es sich um Sattelunterlagen aus der „Cotton“-Reihe, dies sind die günstigeren Decken im Sortiment. Die Schabracken in dieser Gruppe bestanden aus 100% Baumwolle (Eskadron Cotton), 100% Polyester (Felix Bühler) und Polyester-Mischformen (Busse).

3.2.2 Gruppe 2

Die zweite Gruppe unterscheidet sich von der ersten hinsichtlich des Kaufpreises, dieser ist hier auf 70€ bis 100€ festgelegt. Marken in dieser Preiskategorie sind Kingsland, Equestrian Stockholm und Eskadron. Die Eskadron-Schabracken im höheren Preissegment sowie Decken der Marke Equestrian Stockholm bestehen aus 100% Polyester. Kingsland verwendet eine Mischform mit 65% Polyester und 35% Baumwolle.

3.2.3 Gruppe 3

Zur Gruppe 3 zählen neue Schabracken, die mit Lammfell unterlegt sind und sich preislich zwischen 125€ und 200€ befinden. Eine der bekanntesten Hersteller von Lammfellschabracken ist die Firma Mattes. Sie verwendet für ihre Schabracken ein Obermaterial von 70% Polyester und 30% Baumwolle, Wattierung und Untermaterial aus 100% Polyester und als Besatz 100% Lammfell. Weitere Marken, die Lammfellschabracken anbieten, sind Felix Bühler von Krämer,

Horse-Friends von Loesdau und Stübben. Felix Bühler benutzt dieselbe Mischung an Materialien wie Mattes. Horse-friends, eine Marke des Pferdesporthauses Loesdau, setzt auf 65% Polyester und 35% Baumwolle, sowie 100% Lammfell. Die Firma Stübben nutzt 100% Polycotton und ebenfalls 100% Lammfell vom Merinoschaf. Durch die Unterlegung der Schabracken mit dem Lammfell, weisen die Decken der Gruppe 3 eine höhere Materialdicke auf als die übrigen Gruppen.

3.2.4 Gruppe 4

Die Gruppe 4 unterscheidet sich von den anderen Gruppen durch den Gebrauchszustand der Schabracken. Die Sattelunterlagen wurden gut gebraucht und liegen preislich im unteren Preissegment bei einem Neupreis von 20€-50€. Hierbei handelt es sich um Decken der Marken HV Polo, Pfiff, Waldhausen und 4 Horses. Weiters befinden sich auch mehrere No Name Schabracken in dieser Gruppe. Die 4 Horses Decke besteht aus 100% Polyester, die Waldhausen Schabracken, die Hv Polo Decke und die Pfiff Schabracke aus 100% Baumwolle. Die sogenannten No Name Schabracken haben ein Ober- und Untermaterial aus 65% Polyester und 35% Baumwolle und eine Polsterschicht aus 100% Polyester.

3.3. Messmethode

Bei der Messung wurde die jeweilige zu überprüfende Sattelunterlage auf einen geeigneten Untergrund gelegt und die 250g schwere Messkugel aus verschiedenen Höhen von 5 bis zu 30cm auf die Sattelunterlage fallen gelassen. Hierbei wurde ein Bereich der Sattelunterlage getestet, auf dem der Sattel am Pferd zu liegen kommt. Die Messung wurde mit einem Auslöserknopf am Gerät, das mit der Messkugel verbunden ist, gestartet und pro Sattelunterlage 15 bis 20-mal durchgeführt. Die gemessenen Werte wurden direkt auf einer im Gerät befindlichen SD-Karte abgespeichert und können somit direkt auf dem Computer angezeigt und archiviert werden.



Abbildung 10: Vienna Surface Tester

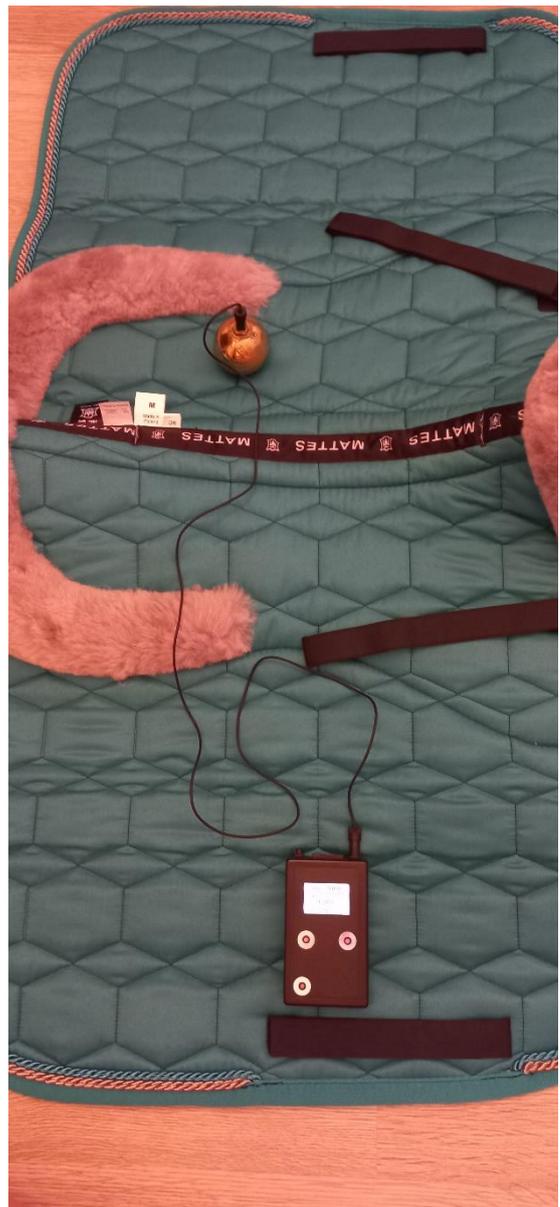


Abbildung 11: Messsystem

3.4. Statistik

Die auf der SD-Karte gespeicherten Daten wurden mittels Excel sortiert und von Ausreißern, die das Zweifache der Standardabweichung überstiegen, bereinigt. Darauffolgend wurden die Zusammenhänge der Werte einer Sattelunterlage grafisch dargestellt. Hierbei wurde die Aufprallgeschwindigkeit mit der maximalen Beschleunigung, der Eindringtiefe, der Energierückgewinnung und der Steifigkeit gegenübergestellt. Um die Daten einer Gruppe in Relation setzen zu können, wurden sie mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft und anschließend mit einem allgemein linearen Modell (ANOVA) für Messwiederholungen auf Unterschiede getestet. Hierzu wurde das Programm SPSS 27.0 verwendet. Um die Ergebnisse aus

SPSS besser veranschaulichen zu können, wurden sie in tabellarischer Form aufgearbeitet. Grün hinterlegte Daten sind normalverteilt und rot markierte Daten entsprechen keiner Normalverteilung. Die Signifikanzen der Korrelationen wurden ebenfalls farblich hervorgehoben. Bei einer hellblauen Markierung handelt es sich um eine beidseitige Signifikanz auf dem Niveau von $p < 0,01$ und bei der dunkelblauen Hinterlegung um eine zweiseitige Signifikanz auf dem Niveau von $p < 0,05$.

Ein weiterer Vergleich der vier Gruppen wurde durch die Gegenüberstellung der maximalen Beschleunigung, Eindringtiefe, Energierückgewinnung und Steifigkeit bei einer Aufprallgeschwindigkeit (v_0) von 1,5 m/s ermittelt. Hierzu wurde die TREND-Funktion im Programm Excel verwendet. In der untenstehenden Grafik wird die Aufgabe der genannten Excel-Funktion mit einem Beispiel verdeutlicht.

Die Regressionsgerade stellt jene Trendlinie dar, die möglichst nah an allen Messwertpunkten liegt. Die in der folgenden Grafik lila gekennzeichnete Linie entspricht der Regressionsgerade der Schabracke SNG1. Mit der TREND-Funktion wird durch diese und den gewählten x-Wert, der gesuchte y-Wert berechnet. In diesem konkreten Beispiel wurde mit der Geraden $y = -16.499x + 71.526$ und der Aufprallgeschwindigkeit von 1.5 m/s, die dazugehörige Steifigkeit von 46.78 ermittelt.

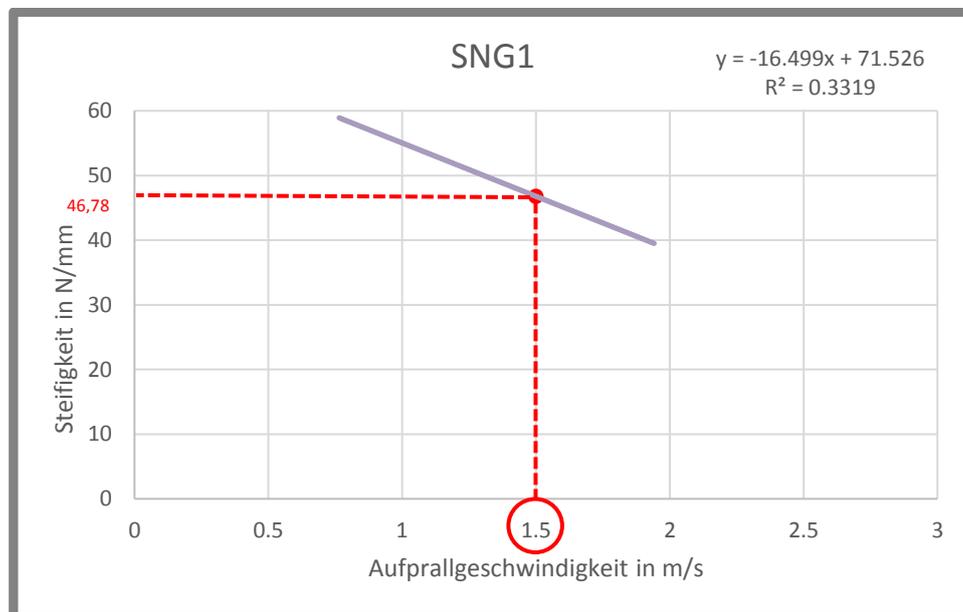


Abbildung 12: Beispiel-Grafik für TREND-Funktion

4. Ergebnisse

4.1. Zusammenhänge der Daten innerhalb einer Gruppe

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Korrelationen innerhalb der einzelnen Gruppen, bevor die Gruppen im darauffolgenden Kapitel miteinander verglichen werden.

4.1.1 Korrelationen der Gruppe 1

Die Gruppe 1 wird auch als die Gruppe SNG bezeichnet, da es sich um neuwertige und günstige Schabracken handelt. Die Eindringtiefe (d) und die Energierückgewinnung (ER) sind nicht normalverteilt. Der Großteil der Parameter zeigte eine hochsignifikante ($p < 0.01$) Korrelation. Bei einer positiven Korrelation zeigen die Datensätze einen gleichartigen Anstieg (beide positiv oder beide negativ), also bei beispielsweise höherer Aufprallgeschwindigkeit, liegt eine höhere maximale Beschleunigung vor. Bei einer negativen Korrelation z.B. nimmt der Wert der Steifigkeit bei zunehmender Eindringtiefe ab. Signifikant war nur die Korrelation von maximaler Beschleunigung (Gmax) und ER. Zwischen der Aufprallgeschwindigkeit (v_0) und der Steifigkeit (k) liegt keine signifikante Korrelation vor, was bedeutet, dass sich die Steifigkeit mit zunehmender Aufprallgeschwindigkeit nicht verändert hat, sondern konstant geblieben ist. Gleiches gilt auch für den Zusammenhang der Eindringtiefe (d) und der maximalen Beschleunigung (Gmax).

Tabelle 2: Korrelationen Gruppe 1 (SNG)

	SNG_ v_0	SNG_ Gmax	SNG_ d	SNG_ ER	SNG_ k
SNG_ v_0	1	0.691	0.502	0.647	-0.056
SNG_ Gmax	0.691	1	-0.171	-0.194	0.661
SNG_ d	0.502	-0.171	1	-0.722	-0.712
SNG_ ER	0.647	-0.194	-0.722	1	0.411
SNG_ k	-0.056	0.661	-0.712	0.411	1

4.1.2 Korrelationen der Gruppe 2

Die Gruppe 1, oder auch Gruppe SNH, umfasst neue Schabracken aus einem höheren Preissegment. Eine Normalverteilung liegt bei den Daten der Aufprallgeschwindigkeit, der Eindringtiefe und der Energierückgewinnung vor. Im Gegensatz zur Gruppe 1 liegen hier nur hochsignifikante oder nicht signifikante Korrelationen vor. Hierbei verfügt der Zusammenhang von v_0 und d, sowie von ER und k über eine positive nicht signifikante Korrelation. Die Korrelation

zwischen ER und Gmax ist ebenfalls nicht signifikant. Die genauen Werte der Korrelationen sind der Tabelle *Korrelationen Gruppe 2 (SNH)* zu entnehmen.

Tabelle 3: Korrelationen Gruppe 2 (SNH)

	SNH_v0	SNH_Gmax	SNH_d	SNH_ER	SNH_k
SNH_v0	1	0.746	0.113	-0.681	0.469
SNH_Gmax	0.746	1	-0.549	-0.187	0.925
SNH_d	0.113	-0.549	1	-0.605	-0.793
SNH_ER	0.647	-0.187	-0.605	1	0.09
SNH_k	0.469	0.925	-0.712	0.09	1

4.1.3 Korrelationen der Gruppe 3

Gruppe 3 (SNL) sticht vor allem durch die Verteilung der Daten hervor, da kein Datensatz einer Normalverteilung entspricht, wie es in der unterstehenden Tabelle durch die rote Färbung zu erkennen ist. Die Korrelationen hingegen verhalten sich ähnlich den anderen Gruppen. Wie schon bei Gruppe 2 zu sehen war, liegen hier keine signifikanten Korrelationen auf dem Niveau von 0.05 vor. Die hochsignifikanten Korrelationen befinden sich alle im positiven Bereich, mit Ausnahme der Korrelation zwischen Energierückgewinnung und Eindringtiefe. Ähnlich der Gruppe 1, sind hier zwei Zusammenhänge nicht signifikant. Bei einer höheren Aufprallgeschwindigkeit verhält sich die Energierückgewinnung konstant im negativen Bereich. Der Zusammenhang von Steifigkeit und Eindringtiefe nimmt einen nicht signifikanten Wert von -0,151 an.

Tabelle 4: Korrelationen Gruppe 3 (SNL)

	SNL_v0	SNL_Gmax	SNL_d	SNL_ER	SNL_k
SNL_v0	1	0.881	0.727	-0.081	0.481
SNL_Gmax	0.881	1	0.378	0.248	0.82
SNL_d	0.727	0.378	1	-0.42	-0.151
SNL_ER	-0.081	0.248	-0.42	1	0.603
SNL_k	0.481	0.82	-0.151	0.603	1

4.1.4 Korrelationen der Gruppe 4

Bei der Gruppe 4 handelt es sich um günstige und gebrauchte Schabracken und wird daher auch als Gruppe SGG bezeichnet. Die Daten der Energierückgewinnung und der Steifigkeit sind nicht normalverteilt. Eine Normalverteilung der Daten liegt bei der Aufprallgeschwindigkeit, der max. Beschleunigung und der Eindringtiefe vor. Wie schon bei Gruppe 2 und 3 zu sehen, liegt hier ebenfalls keine signifikante Korrelation auf dem Niveau von 0.05 vor. Somit sind hier

nur hochsignifikante und nicht signifikante Zusammenhänge zu finden. Die nicht signifikante Korrelation zwischen Aufprallgeschwindigkeit und Steifigkeit beträgt -0.076 . Weiters liegt bei d und G_{max} ein nicht signifikanter Zusammenhang vor. Die übrigen Korrelationen sind auf einem Niveau von $0,01$ signifikant. Die Korrelationen nehmen sowohl negative als auch positive Werte an, die in der unterstehenden Tabelle ersichtlich sind.

Tabelle 5: Korrelation Gruppe 4 (SGG)

	SGG_v0	SGG_Gmax	SGG_d	SGG_ER	SGG_k
SGG_v0	1	0.736	0.679	-0.799	-0.076
SGG_Gmax	0.736	1	0.137	-0.436	0.563
SGG_d	0.679	0.137	1	-0.754	-0.601
SGG_ER	-0.799	-0.436	-0.754	1	0.31
SGG_k	-0.076	0.563	-0.601	0.31	1

4.2 Vergleich der vier Gruppen

Um die vier Gruppen miteinander vergleichen zu können, wurden die Parameter bei einer Aufprallgeschwindigkeit von $1,5 \text{ m/s}$ mittels Excel für jede einzelne Schabracke berechnet und in die auf der nächsten Seite stehenden Tabelle eingetragen.

Tabelle 6: Werte der Gruppen zur Aufprallgeschwindigkeit von 1,5 m/s

Schabracke	ER (%)	k (N/mm)	Gmax (g)	d (mm)
SNG1	20.88	46.78	64.93	5.21
SNG2	16.33	32.19	54.99	6.41
SNG3	15.62	22.79	44.83	7.44
SNG4	25.66	57.07	71.43	2.84
SNG5	11.40	40.59	59.75	5.78
SNG6	25.86	76.87	82.85	3.90
SNG7	18.53	26.55	50.21	6.38
SNG8	32.10	21.43	44.72	6.13
SNG9	14.36	17.00	40.86	7.79
SNG10	21.40	35.55	58.03	6.10
SNH1	20.61	17.84	40.86	7.97
SNH2	30.01	39.50	59.67	5.51
SNH3	17.81	8.93	29.01	12.00
SNH4	30.12	28.50	52.10	4.81
SNH5	31.16	46.32	63.20	5.32
SNH6	30.33	16.98	39.72	8.55
SNH7	27.34	31.58	54.62	5.94
SNH8	21.79	22.79	46.33	6.68
SNH9	19.54	9.34	30.02	11.83
SNH10	22.77	11.93	34.68	9.90
SNL1	35.36	7.54	26.56	12.29
SNL2	13.67	2.25	14.42	17.45
SNL3	24.07	4.26	20.26	14.46
SNL4	32.25	4.90	21.56	13.79
SNL5	26.01	3.82	19.10	15.48
SNL6	29.68	7.38	27.02	12.41
SNL7	24.41	3.62	18.21	15.51
SNL8	27.55	9.72	31.83	11.37
SNL9	23.98	4.03	20.13	15.47
SNL10	30.60	7.59	26.56	12.56
SGG1	17.47	46.02	63.48	1.61
SGG2	27.96	116.71	99.27	3.37
SGG3	23.73	88.76	88.92	3.81
SGG4	19.11	127.32	105.00	3.46
SGG5	22.05	27.98	50.47	5.66
SGG6	13.93	37.60	59.33	5.79
SGG7	22.34	53.57	70.55	4.85
SGG8	21.51	27.85	51.56	6.40
SGG9	18.32	31.26	54.02	6.30
SGG10	18.12	48.46	67.29	5.17

Außerdem wurden die Standardabweichung (STABW) und der Mittelwert für die vier Parameter jeder Gruppe berechnet. Die jeweilige Standardabweichung und der Mittelwert sind aus der untenstehenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 7: Standardabweichungen und Mittelwerte der vier Gruppen

	Energierückgewinnung		Steifigkeit		max. Beschleunigung		Eindringtiefe	
	STABW	Mittelwert	STABW	Mittelwert	STABW	Mittelwert	STABW	Mittelwert
Gruppe 1	6.28	20.21	18.48	37.68	13.15	57.26	1.50	5.80
Gruppe 2	5.15	25.15	12.86	23.37	12.12	45.02	2.67	7.85
Gruppe 3	5.97	26.76	2.38	5.51	5.24	22.57	1.92	14.08
Gruppe 4	3.91	20.45	37.01	60.55	19.92	70.99	1.54	4.64

4.2.1 Vergleich in Bezug auf ER und k

Um den Vergleich der vier Gruppen noch anschaulicher zu machen, wurden die Energierückgewinnung (ER) und die Steifigkeit bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 1,5 m/s miteinander grafisch dargestellt. Auf der x-Achse wurde die Energierückgewinnung und auf der y-Achse die Steifigkeit der Schabracke aufgetragen und den jeweiligen Gruppen farblich zugeordnet.

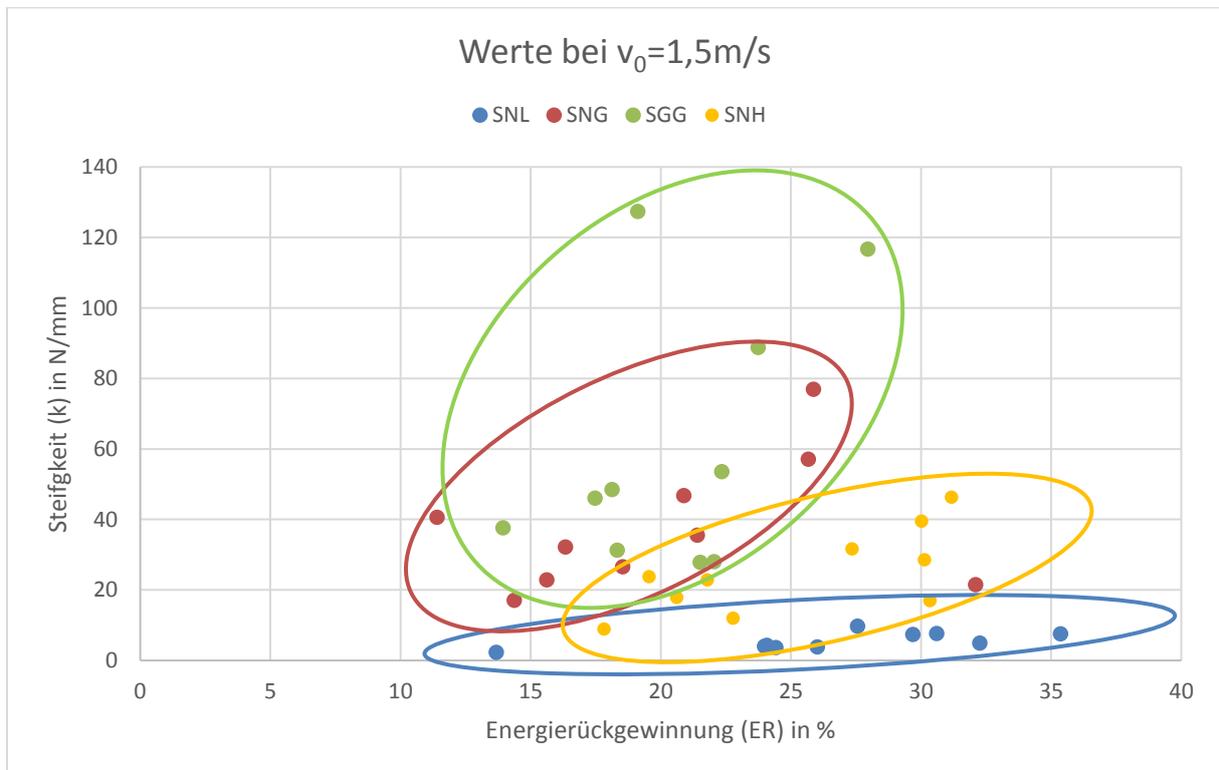


Abbildung 13: Gruppen-Vergleich ER und K

Weiters wurden die Daten, neben der Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen, mittels SPSS auf ihre signifikanten Unterschiede überprüft. Hierbei kam zum Vorschein, dass

sich die Energierückgewinnung der Gruppen nicht signifikant, also mit einem Wert von über 0,05, unterscheidet. Dies ist auch durch die Mittelwerte der Energierückgewinnung ersichtlich, da sich diese nur kaum unterscheiden. Die dazugehörige Standardabweichung befindet sich, wie in der *Tabelle 7* ersichtlich, zwischen 3,91 (Gruppe 4) und 6,28 (Gruppe 1). Die Überprüfung der Steifigkeit kam zu einem anderen Ergebnis. Die Gruppe 3 (SNL) unterscheidet sich signifikant von den Gruppen 1 (SNG), 2 (SNH) und 4 (SGG). Gruppe 1 unterscheidet sich mit einem Wert von 0,002 von der Gruppe 3. Die Gruppen SNH und SGG weisen in Bezug auf die Gruppe SNL jeweils einen signifikanten Wert von 0,008 auf. Diese Werte sind auch in den untenstehenden Tabellen vorzufinden. Auch der Mittelwert der Steifigkeit für Gruppe 3 liegt mit 5,51 deutlich unter den anderen Gruppen und weist darüber hinaus nur eine Standardabweichung von 2,38. Die Daten der Gruppen 1, 2 und 4 hingegen weisen Daten mit einer breiteren Streuung um den Mittelwert auf.

Tabelle 8: Signifikanz der Gruppen in Bezug auf die Energierückgewinnung

Energierückgewinnung (ER)	SNG	SNH	SNL	SGG
SNG		0.453	0.051	1.000
SNH	0.453		1.000	0.248
SNL	0.051	1.000		0.375
SGG	1.000	0.248	0.375	

Tabelle 9: Signifikanz der Gruppen in Bezug auf die Steifigkeit (die blau markierten Werte unterscheiden sich signifikant)

Steifigkeit (k)	SNG	SNH	SNL	SGG
SNG		0.637	0.002	0.597
SNH	0.637		0.008	0.090
SNL	0.002	0.008		0.008
SGG	0.597	0.090	0.008	

Ein weiterer grafischer Vergleich der Gruppen wurde durch die Erstellung von Grafiken in Bezug auf die Aufprallgeschwindigkeit (x-Achse) und die Energierückgewinnung bzw. die Steifigkeit (y-Achse) ermöglicht. Weiters ist die Trendlinie mit der dazugehörigen Formel und das Bestimmtheitsmaß in jeder Grafik abgebildet worden. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) gibt den quadratischen Korrelationskoeffizienten an. In den nachstehenden Grafiken wurde ebenfalls erkenntlich, dass sich die Steifigkeit der Gruppe 3 von den übrigen Gruppen deutlich unterscheidet.

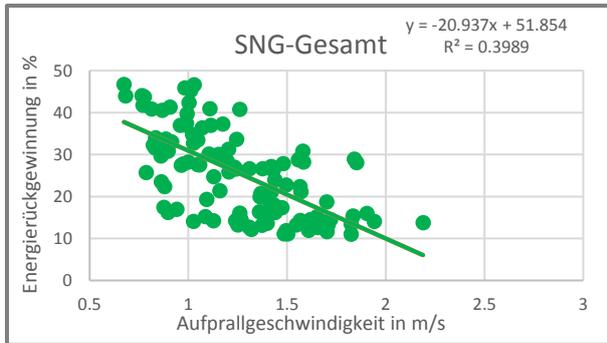


Abbildung 14: Zusammenhang von v_0 und ER - Gruppe 1 (SNG)

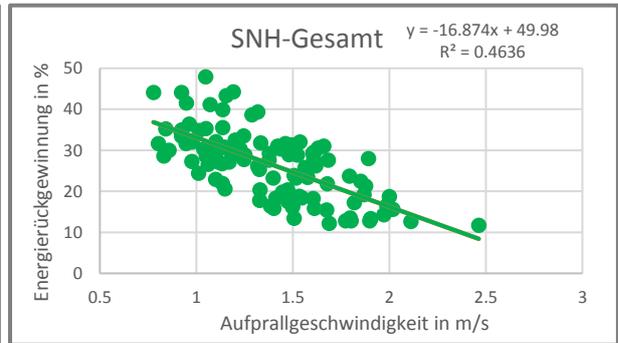


Abbildung 15: Zusammenhang von v_0 und ER - Gruppe 2 (SNH)

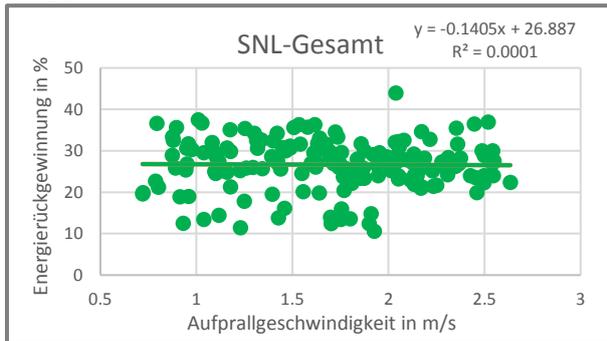


Abbildung 16: Zusammenhang von v_0 und ER - Gruppe 3 (SNL)

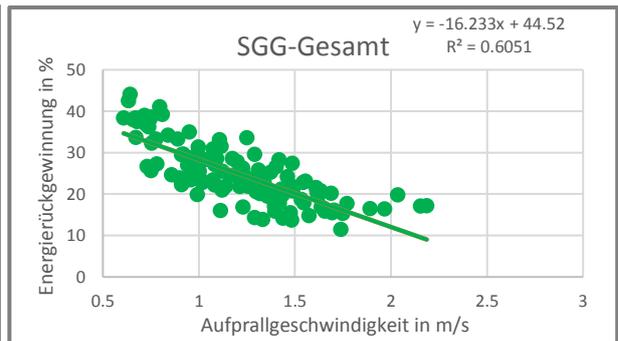


Abbildung 17: Zusammenhang von v_0 und ER - Gruppe 3 (SNL)

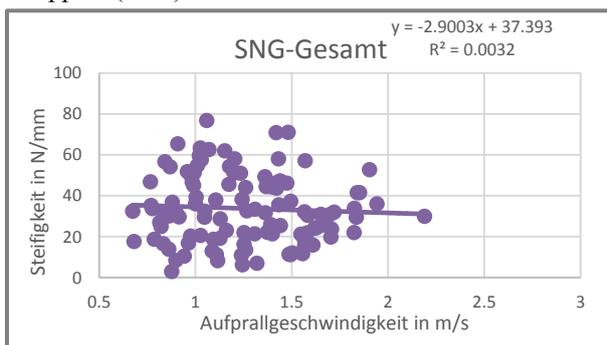


Abbildung 18: Zusammenhang von v_0 und k - Gruppe 1 (SNG)

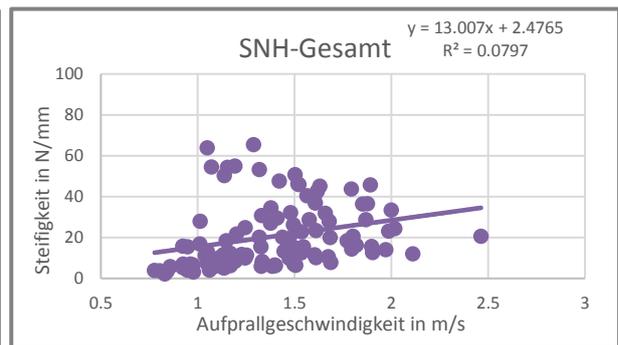


Abbildung 19: Zusammenhang von v_0 und k - Gruppe 2 (SNH)

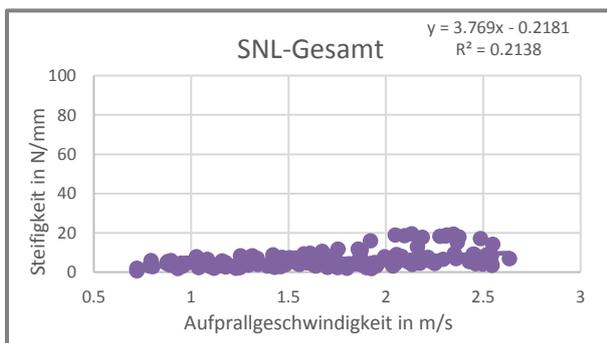


Abbildung 20: Zusammenhang von v_0 und k - Gruppe 3 (SNL)

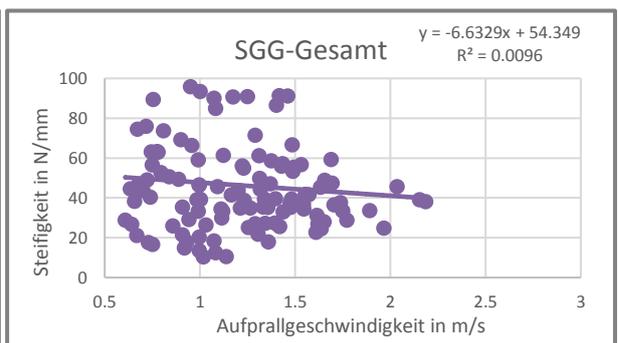
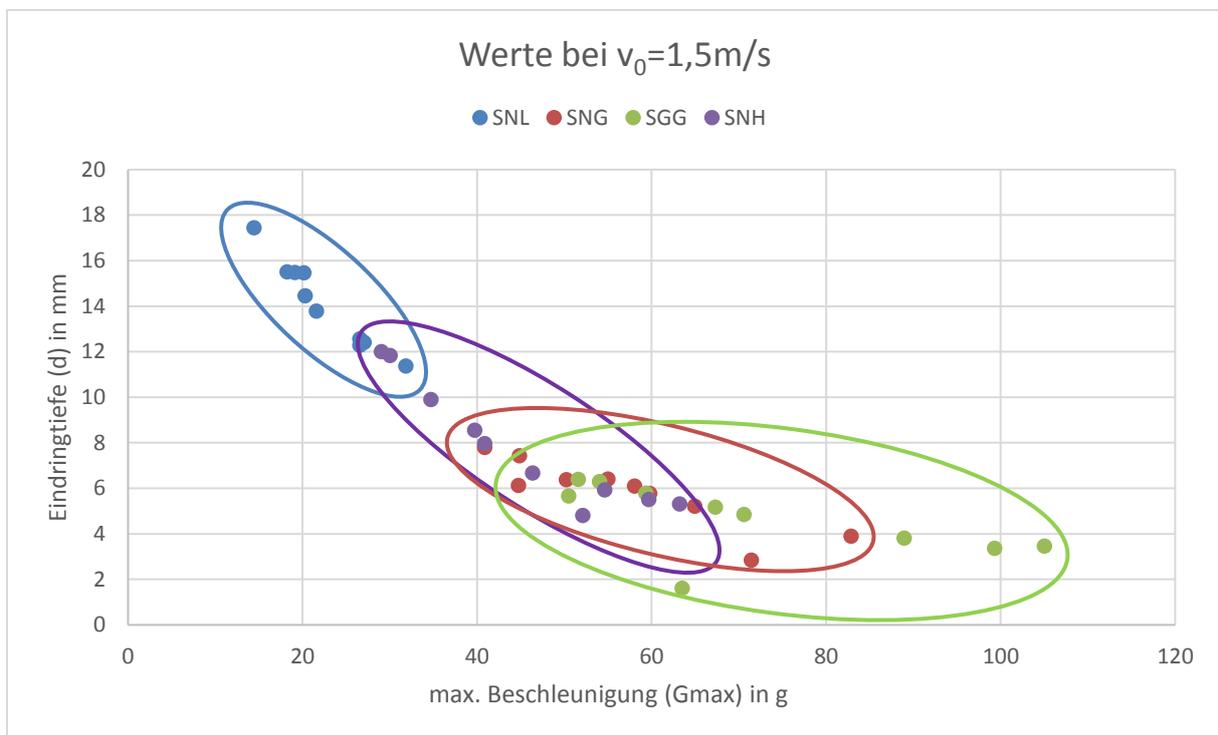


Abbildung 21: Zusammenhang von v_0 und k - Gruppe 4 (SGG)

4.2.2 Vergleich in Bezug auf Gmax und d

Beim Versuch wurde mittels des Vienna Surface Testers nicht nur die Energierückgewinnung und die Steifigkeit, sondern auch die maximale Beschleunigung und die Eindringtiefe ermittelt. Um diese Daten vergleichbar zu machen, wurden sie, wie zuvor die Energierückgewinnung und die Steifigkeit bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 1.5 m/s, grafisch gegenübergestellt. An der x-Achse ist die maximale Beschleunigung und an der y-Achse die Eindringtiefe, der jeweiligen Schabracke, abzulesen. Zur besseren Übersicht wurde für jede der vier Gruppen eine eigene Farbe gewählt und die zusammengehörigen Werte mit einer Ellipse umkreist.



sich sichtlich von den übrigen Gruppen. Ein deutlicher Unterschied der Gruppe 4 zur Gruppe 1 und 2 ist in der Tabelle nicht unbedingt zu erkennen. Daher war die anschließende Überprüfung der signifikanten Unterschiede mittels SPSS von großer Bedeutung.

Tabelle 10: Signifikanz der Gruppen in Bezug auf die max. Beschleunigung

max. Beschleunigung (Gmax)	SNG	SNH	SNL	SGG
SNG		0.228	0.000	0.506
SNH	0.228		0.006	0.025
SNL	0.000	0.006		0.001
SGG	0.506	0.025	0.001	

Tabelle 11: Signifikanz der Gruppen in Bezug auf die Eindringtiefe

Eindringtiefe (d)	SNG	SNH	SNL	SGG
SNG		0.101	0.000	0.492
SNH	0.101		0.002	0.037
SNL	0.000	0.002		0.000
SGG	0.492	0.037	0.000	

Die folgenden vier Grafiken beschreiben den Zusammenhang zwischen der Aufprallgeschwindigkeit und der maximalen Beschleunigung der jeweiligen Gruppe. Hierzu wurden die Werte für Gmax auf der y-Achse und für v_0 auf der x-Achse aufgetragen

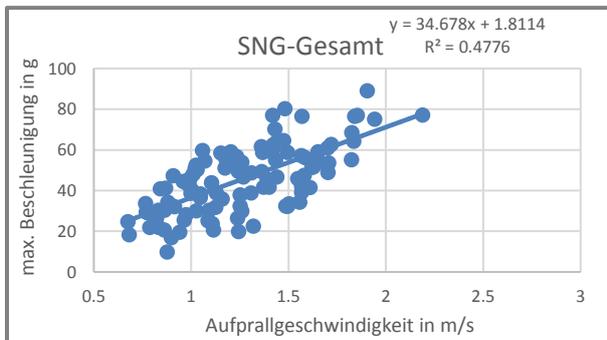


Abbildung 4: Zusammenhang von v_0 und Gmax - Gruppe 1 (SNG)

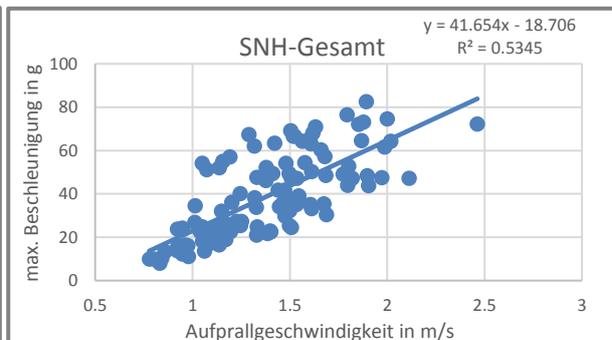


Abbildung 23: Zusammenhang von v_0 und Gmax - Gruppe 2 (SNH)

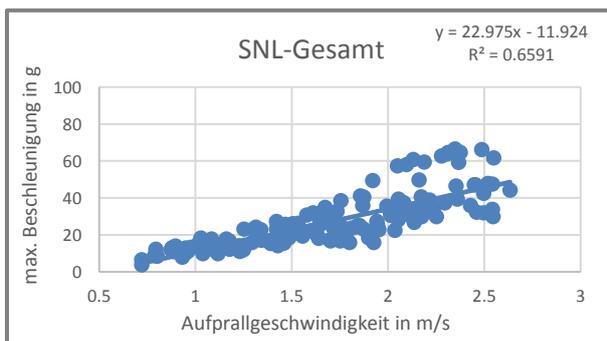


Abbildung 5: Zusammenhang von v_0 und Gmax - Gruppe 3 (SNL)

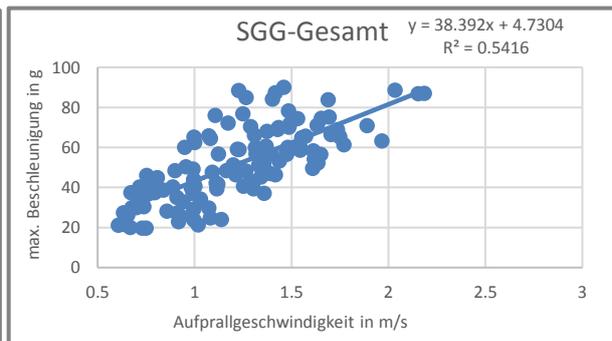


Abbildung 25: Zusammenhang von v_0 und Gmax - Gruppe 4 (SGG)

Um die Eindringtiefe nochmal grafisch darzustellen, wurde sie ebenfalls mit der Aufprallgeschwindigkeit gegenübergestellt. Dies erleichtert den Vergleich der vier Gruppen.

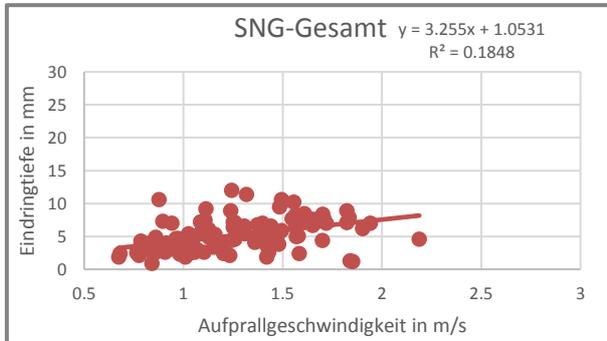


Abbildung 26: Zusammenhang von v_0 und d - Gruppe 1 (SNG)

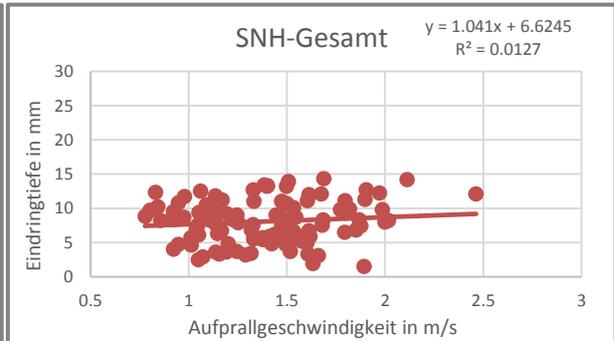


Abbildung 27: Zusammenhang von v_0 und d - Gruppe 2 (SNH)

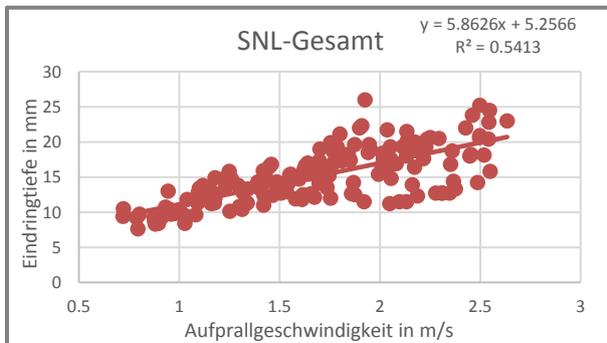


Abbildung 28: Zusammenhang von v_0 und d - Gruppe 3 (SNL)

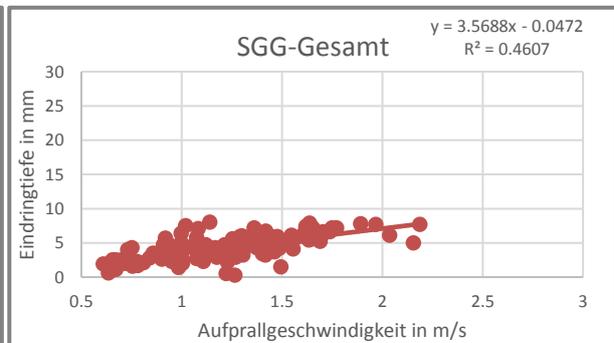


Abbildung 6: Zusammenhang von v_0 und d - Gruppe 4 (SGG)

4.2. Vergleich zweier Sattelunterlagen bezüglich der Energierückgewinnung

Bei einer Energierückgewinnung von 100% würde die Kugel des Vienna Surface Testers nach dem Fallenlassen auf die Abwurfhöhe zurückspringen. Die Schabracke mit einer ER von zirka 35,36% bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 1,5 m/s nahm den höchsten Wert in dieser Untersuchung an. Hierbei handelte es sich um eine Schabracke der Gruppe 3. Um die Differenz zu anderen Sattelunterlagen zu veranschaulichen, wird die Schabracke SNL1 mit der Schabracke SNG9 in den folgenden zwei Grafiken gegenübergestellt. Die Sattelunterlage SNG5 stammt aus der Gruppe 1 und hat eine ER von zirka 14,36% bei einer v_0 von 1,5 m/s und zählt somit zu den getesteten Schabracken mit den geringsten Werten für ER. Wie schon zuvor erwähnt liegt zwar ein Unterschied in der Energierückgewinnung vor, dieser wird jedoch nicht als signifikant angesehen. Dies wurde durch das Programm SPSS überprüft und kann in den obenstehenden Tabellen abgelesen werden.

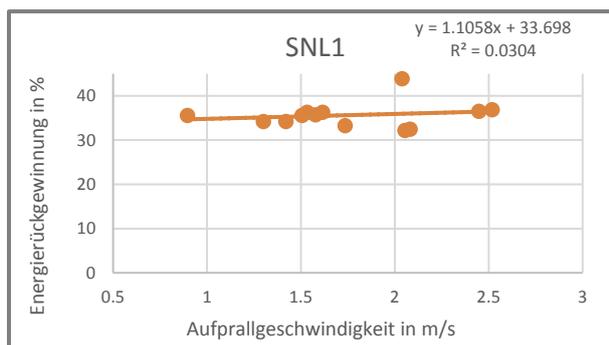


Abbildung 30: Zusammenhang von v_0 und ER - SNL1

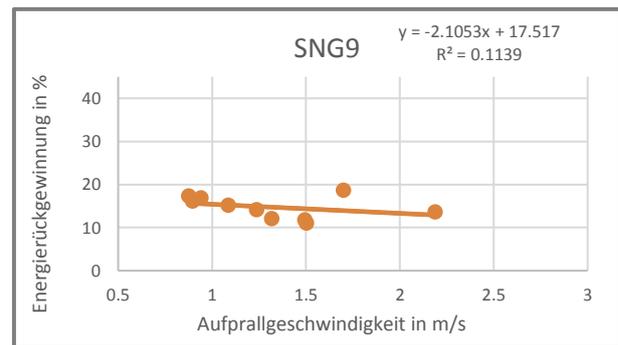


Abbildung 31: Zusammenhang von v_0 und ER - SNG9

4.3. Vergleich zweier Sattelunterlagen bezüglich der Steifigkeit

Die Steifigkeit gibt den Widerstand gegen die Verformung an, wenn Kraft einwirkt. Somit wird die Steifigkeit auch als das Gegenstück zur Nachgiebigkeit bezeichnet. Die Schabracke mit der geringsten gemessenen Steifigkeit zur Aufprallgeschwindigkeit von 1,5 m/s ist SNL2. Im Gegensatz zur ER liegt hier ein signifikanter Unterschied bei $v_0 = 1,5$ m/s der Gruppe 3 zu den anderen Gruppen vor. Dieser Unterschied kommt besonders bei einer Gegenüberstellung der Grafiken zum Vorschein. Zur Gegenüberstellung wurde eine Grafik der Schabracke SGG7 aus der Gruppe 4 verwendet. Die Aufprallgeschwindigkeit ist auf der x-Achse und die Steifigkeit auf der y-Achse zu finden.

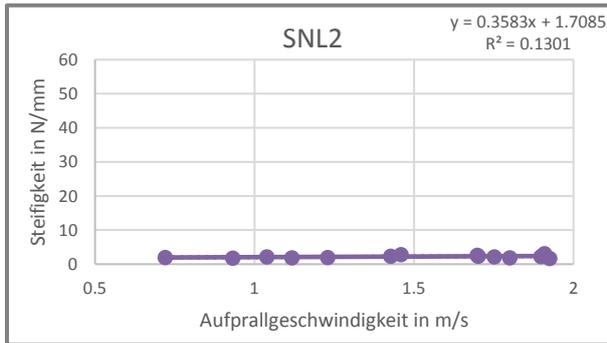


Abbildung 32: Zusammenhang von v_0 und k - SNL2

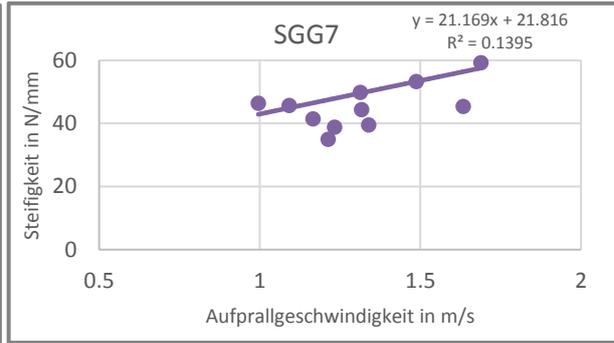


Abbildung 7: Zusammenhang von v_0 und k - SGG7

Weitere Statistiken zu den Sattelunterlagen sind im Anhang zu finden.

5. Diskussion

Sattel und Sattelunterlagen sind von großer Bedeutung, um den am Pferderücken entstehenden Druck bestmöglich zu verteilen und den Rücken dadurch etwas zu entlasten (Meschan et al. 2007). Beim Reiten wirken erhebliche Kräfte auf den Pferderücken, die im Galopp dem 3-fachen Gewicht der reitenden Person (3g) entsprechen. Im Schritt wirkt in etwa 1g (entspricht dem Gewicht der Reiterin/des Reiters) und im Trab das doppelte des Gewichts (Frühwirth et al. 2004). Den Unterschied der im Trab entstehenden Kräfte, die durch die Reiterin/ den Reiter an den Steigbügeln hervorgerufen werden, konnten von Van Beek et al. 2011 mittels Messungen analysiert werden und sie kamen zu dem Ergebnis, dass am Steigbügel höhere Kräfte wirken, wenn im Trab leichtgeritten wird. Neben der Gangart des Pferdes beeinflusst auch das Können der Reiterin/ des Reiters die einwirkenden Kräfte (Peham et al. 2001). Decocq et al. (2004) zeigten, dass es durch die Einwirkungen des Sattels und der reitenden Person zu einer Dehnung des Rückens kommt und dies zu einer Weichteilverletzung beitragen kann. Mehrere Studien, von z.B. Kotschwar et al. (2010 a, b), konnten bestätigen, dass bestimmte Sattelunterlagen eine dämpfende und druckverteilende Wirkung aufweisen und somit den Pferderücken schonen. Grundlegend sollte der Sattel über eine korrekte Passform vorweisen, um dem Pferd die nötige Bewegungsfreiheit zu bieten und die positive Wirkung der Sattelunterlagen nutzen zu können (Harmann 1999, Baltacis 2007).

In der vorliegenden Studie wurde ein dynamisches Messverfahren verwendet, das der Belastung einer reitenden Person entspricht (Dobretsberger 2017). Die verwendete Messkugel von 250g wurde hier mit bis zu 100 g beschleunigt, daraus ergibt sich eine Kraft (=Masse x Beschleunigung) von ca. 250 Newton. Bei einer Auflagefläche von ca. 1 cm² ergibt sich ein maximaler Druck von 250 N/cm².

5.1. Steifigkeit

In der vorliegenden Studie zeigte sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Steifigkeit zwischen Gruppe 3 und den übrigen Gruppen, der auf weichere Materialeigenschaften und daraus folgend auf bessere Dämpfungseigenschaften schließen lässt. Der Unterschied zu den Gruppen 1,2 und 4 ist auch in der *Abbildung 20* zu erkennen. Im Gegensatz zu den umliegenden Grafiken weist die Regressionsgerade eine kleine positive Steigung auf und die Werte bleiben deutlich im unteren Bereich. Gruppe 3 unterscheidet sich nicht nur durch die Steifigkeit, sondern auch durch eine Materialbesonderheit: das Lammfell. Sattelunterlagen mit Lammfell

weisen neben den besseren Dämpfungseigenschaften auch druckmindernde Eigenschaften auf (Dittmann et al. 2021). Eine Studie von Kotschwar et al. (2010 b) untersuchte den Einfluss verschiedener Satteldecken auf die Kräfte und die Druckverteilung unter einem zu weiten Sattel. Untersucht wurden vier Satteldecken auf 18 Pferden mit derselben reitenden Person. Hierbei wurden der Druck bzw. die Kräfte durch eine Druckmessdecke und das Expert Vision System aufgezeichnet. Diese Studie bestätigt die dämpfende Wirkung und weist den Feldecken auch die Eigenschaft der besseren Druckumverteilung zu. Kotschwar et al. (2010 a) kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass Feldecken den Druck unter dem Sattel minimieren.

Gruppe 1, 2 und 4 unterscheiden sich untereinander nicht signifikant, was auf die Materialbeschaffenheit zurückzuführen ist. Sie unterscheiden sich zwar in Preis und Gebrauchszustand, doch das verwendete Material ist sehr ähnlich. Diese Sattelunterlagen bestehen aus Baumwolle bzw. Polyester. Aus den hohen Werten der Steifigkeit dieser Gruppen lässt sich schließen, dass kaum Dämpfungseigenschaften vorliegen. Satteldecken bzw. Schabracken haben vorrangig den Nutzen den Sattel vor Pferdeschweiß zu schützen. Ihre Eignung zur Druckminderung am Pferderücken ist gering (Borries 1998). Diese Ansicht vertritt auch eine Studie von Dittmann et al (2022). In dieser Studie wurden Sattelunterlagen aus verschiedenen Materialien auf erhöhten Druck auf dem Pferderücken getestet. Sie kamen zum Ergebnis, dass eine Baumwollschabracke weder den Druck mindert noch erhöht.

5.2. Energierückgewinnung

Bei der Energierückgewinnung liegt entgegen der Erwartung kein signifikanter Unterschied der Gruppen vor. Die Gruppe 3 liegt nahe an der Signifikanz Grenze, doch dies ist statistisch gesehen nicht relevant. Der Mittelwert der Energierückgewinnung aller Gruppen zur Aufprallgeschwindigkeit von 1,5 m/s liegt in etwa bei 23%. Somit wird die Kugel beim Aufprall ca. ein Viertel der Fallhöhe zurück gefedert. Kotschwar et al. (2010 a) und Hofmann (2007) kamen zum Ergebnis, dass sich die Weichheit einer Sattelunterlage mit der Dynamik je nach Material verändern kann. Die getestete Moosgummi Decke war im Schritt weich, im Trab jedoch hart. Die Renntierdecke hingegen hielt ihre weichen Eigenschaften konstant, unabhängig von der Dynamik. Gleiches ist auch in der *Abbildung 16* der vorliegenden Studie zu sehen. Die Schabracken der Gruppe 3 haben eine nahezu konstante Regressionsgerade der Energierückgewinnung. Die übrigen Gruppen dagegen haben eine negative Steigung der Regressionsgeraden.

5.3. Maximale Beschleunigung und Eindringtiefe

Die Korrelationen der maximalen Beschleunigung und der Eindringtiefe zwischen den vier Gruppen verhalten sich ähnlich. Bei der Gruppe 3 liegen die geringsten Werte der maximalen Beschleunigung und die höchsten Werte der Eindringtiefe vor. Dies bestätigt wiederum die Eigenschaften einer weichen Materialbeschaffenheit, welche auf das eingearbeitete Lammfell zurückzuführen sind. Diese Ergebnisse werden auch von Hofmann (2007) und Kotschwar et al. (2010 a, b) gestützt, die aber anstelle von Lammfellen Rentierfelle verwendeten. In der *Abbildung 29*, die den Zusammenhang zwischen der Aufprallgeschwindigkeit und der Eindringtiefe der Gruppe 3 darstellt, wird ersichtlich, dass die Regressionsgerade eine größere positive Steigung besitzt als die übrigen Gruppen. Das wiederum erklärt die höheren Werte für die Eindringtiefe, da sie mit der Geschwindigkeit deutlich ansteigen. Die Werte der maximalen Beschleunigung verhalten sich konträr. Die Steigung der Regressionsgeraden von der Gruppe 3 weist die kleinste Steigung der vier Gruppen auf. Somit nehmen die Werte mit der Aufprallgeschwindigkeit im Gruppenvergleich am wenigsten zu. Die Gruppe 4 weist den geringsten y-Achsenabschnitt, in Kombination mit einer kleinen Steigung, auf und nimmt daher die geringsten Werte der Eindringtiefe an.

Die Gruppe 4 weist eine hohe maximale Beschleunigung auf, die mit der Steifigkeit signifikant korreliert. Somit lassen sich die Decken der Gruppe 4, als am schlechtesten abgeschnittene Schabracken des Versuches deklarieren. Daraus lässt sich schließen, dass sich die mechanischen Eigenschaften der Sattelunterlagen mit dem regelmäßigen Gebrauch verschlechtern. Wie schon zuvor bei der Pflege der Sattelunterlagen erwähnt, greifen Schweiß und zum Teil auch Verschmutzungen das Material an und können dadurch zu unerwünschten Auswirkungen führen. (Rietschel 2004) Jedoch sind zu diesem Standpunkt kaum Studien verfügbar, daher wäre eine Forschung in diese Richtung von Bedeutung.

Durch die maximale Beschleunigung kam bei der Auswertung der Daten zum Vorschein, dass teilweise die Eigenschaften des gewählten Untergrundes statt der Eigenschaften der Sattelunterlagen gemessen wurden. G_{max} nahm bei größeren Fallhöhen Werte über 100 g an und es zeigten sich Werteplateaus auf den Grafiken der Gruppen, da das Messsystem nur Werte bis knapp über 100g aufzeichnen kann. Die einzige Gruppe, die von diesem Problem nicht betroffen war, war die Gruppe SNL. Dies ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Dicke des Materials zurückzuführen. Für einen wiederholten Versuch wäre eine geringerer Fallhöhen-Rahmen von Vorteil, da das Problem nur ab einer gewissen Höhe auftrat. Der hier durchgeführte Versuch musste nach Erkennung der Fehlerquelle zum Teil wiederholt werden, da nach der

Bereinigung der Werte des Untergrundes, neben der Beseitigung von anderen Ausreißern, zu wenig aussagekräftige Werte vorhanden waren. Mit Ausnahme der genannten Fehlerquelle war das gewählte Messsystem einfach in der Handhabung und auch die Datenübertragung auf den Computer war durch die SD-Karte einfach umzusetzen.

5.4. Hypothesen

In dieser Studie wurden die in der Einleitung genannten Hypothesen überprüft. Die Hypothesen stützen sich auf Literatur und persönliche Erfahrungen.

Laut einer Studie von Dittman et al. (2021) werden Lammfellsattelunterlagen aufgrund ihrer positiven Eigenschaften von vielen Reiterinnen/Reitern verwendet. Auf ähnliche Ergebnisse kommen Kotschwar et al. (2010 a, b) für Rentierfelle. Außerdem werden sie von mehreren Sattlern zur Stoßdämpfung im Springsport empfohlen. Die besseren mechanischen Eigenschaften der Sattelunterlagen mit Lammfell konnten, wie auch schon in mehreren anderen Studien bestätigt werden. Somit lässt sich die erste Hypothese verifizieren. Die Steifigkeit, die im Gegenzug zu den anderen Gruppen niedrige Werte annimmt, spiegelt die Weichheit des Lammfells wider. Auch zur Energierückgewinnung, maximalen Beschleunigung und Eindringtiefe der anderen Gruppen liegen zur Aufprallgeschwindigkeit von 1,5 m/s signifikante Unterschiede vor.

Die zweite Hypothese lässt sich mit den Ergebnissen dieser Studie nicht vollständig bestätigen. Die Steifigkeit der gebrauchten Decken unterscheidet sich zwar von den Lammfell Schabracken, aber nicht von den Gruppen 1 und 2. Diese Gruppen umfassen neuwertige Schabracken, die aus Synthetikfasern beziehungsweise Baumwolle bestehen. Der Unterschied liegt hier nur im Kaufpreis der Sattelunterlagen. Studien, wie beispielsweise von Dittmann et al. (2022), geben ebenfalls wieder, dass gewöhnliche Schabracken aus dem eben genannten Material kaum positive Eigenschaften, wie Druckminderung oder Ähnliches vorweisen.

5.5. Ausblick auf weitere Forschung

In Zukunft wäre es noch von Interesse mehrere Sattelunterlagen gebraucht und neuwertig gegenüberzustellen, da mit Hinblick auf den Aspekt der Nutzungsdauer kaum Studien vorliegen. Außerdem wäre eine Erweiterung der verwendeten Sattelunterlagen auf Materialien wie Filz, Gel oder Leder möglich. Weiters könnte man neben den mechanischen Eigenschaften, auch Funktionen wie die Thermoregulation und Feuchtigkeitsaufnahme überprüfen.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Bachelorarbeit befasste sich mit der Untersuchung der mechanischen Eigenschaften verschiedener Sattelunterlagen mit Hinblick auf die Unterschiede zwischen Preisklassen, Nutzungsgrad und Materialien. Wobei hier die Hypothese eines Zusammenhangs zwischen Lammfell-Schabracken und besseren mechanischen Eigenschaften untersucht wurde. Weiters wurde ermittelt, ob es zutreffend ist, dass gebrauchte Schabracken eine höhere Steifigkeit vorweisen als neue bzw. neuwertige Schabracken.

Es wurden 40 Sattelunterlagen, unterteilt in vier Gruppen, mittels dem „Vienna Surface Tester“ überprüft. Hierbei handelte es sich um 10 neuwertige Schabracken aus dem unteren Preissegment (Gruppe 1), 10 neuwertige Schabracken aus dem höheren Preissegment (Gruppe 2), 10 neuwertige Schabracken mit Lammfell an der Unterseite (Gruppe 3) und 10 gebrauchte Schabracken ebenfalls aus dem unteren Preisbereich (Gruppe 4).

Der „Vienna Surface Tester“ ist ein Messsystem, das aus einer 250g schweren Kugel mit Bewegungssensoren und einem damit verbundenen Messgerät besteht. Zur Messung wurden die Schabracken auf einen geeigneten Untergrund gelegt und die Kugel wurde aus verschiedenen Höhen auf die Decken fallen gelassen. Die Sensoren zeichneten Daten wie Abwurfhöhe, Aufprallgeschwindigkeit, Steifigkeit, Energierückgewinnung, Eindringtiefe, maximale Beschleunigung und Resonanzfrequenz auf.

Diese Daten wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Anschließend wurden die Gruppen mit einem allgemein linearen Modell (ANOVA) für Messwiederholungen auf Unterschiede getestet. Hierzu wurde die Software SPSS 27.0 verwendet. Die erhaltenen Daten wurden dann mittels Excel in Form von Grafiken und Tabellen aufgearbeitet.

Die Studie kam zum Ergebnis, dass sich die Lammfell-Schabracken signifikant, in Bezug auf Steifigkeit, Eindringtiefe und maximaler Beschleunigung, von den übrigen Schabracken unterscheiden. Einzig der Parameter der Energierückgewinnung lag bei allen getesteten Schabracken im ähnlichen Bereich. Die Gruppe 3 nahm geringe Werte der Steifigkeit und der maximalen Beschleunigung an und wies höhere Eindringtiefen auf. Somit verfügen die Sattelunterlagen mit Lammfell über die besten mechanischen Eigenschaften. Die Schabracken ohne Lammfell bestehen nahezu aus demselben Material und unterscheiden sich nur im Preis bzw. im Nutzungsgrad, daher stimmten sie auch in vielen Parametern überein. Signifikante Unterschiede

liegen hier nur bei der maximalen Beschleunigung und der Eindringtiefe zwischen den Gruppen 2 und 4 vor.

7. Summary

Comparison of saddle pads with regard to their mechanical properties

The present bachelor thesis dealt with the investigation of the mechanical properties of different saddle pads with regard to the differences between price classes, degree of use and materials. The hypothesis of a connection between lambskin saddle pads and better mechanical properties was investigated. Furthermore, it was determined whether it is true that used saddle pads have a higher stiffness than new or as-new saddle pads.

40 saddle pads, divided into four groups, were tested using the "Vienna Surface Tester". These were 10 as-new saddle pads from the lower price segment (group 1), 10 as-new saddle pads from the higher price segment (group 2), 10 as-new saddle pads with lambskin on the underside (group 3) and 10 used saddle pads also from the lower price segment (group 4).

The "Vienna Surface Tester" is a measuring system consisting of a 250g ball with movement sensors and a measuring device connected to it. For the measurement, the saddle pads were placed on a suitable surface and the ball was dropped onto the blankets from different heights. The sensors recorded data such as drop height, impact velocity, stiffness, energy recovery, penetration depth, maximum acceleration and resonance frequency.

These data were tested for normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov test. The groups were then tested for differences using a general linear model (ANOVA) for repeated measurements. The SPSS 27.0 software was used for this. The data obtained was then processed in Excel in the form of graphs and tables.

The study concluded that the lambskin saddle pads differed significantly from the other saddle pads in terms of stiffness, penetration depth and maximum acceleration. Only the parameter of energy recovery was in a similar range for all tested saddle pads. Group 3 adopted low values of stiffness and maximum acceleration and had higher penetration depths. Thus, the saddle pads with lambskin have the best mechanical properties. The saddle pads without lambskin are made of almost the same material and only differ in price and degree of use, so they also matched in many parameters. Significant differences are only found in the maximum acceleration and the penetration depth between groups 2 and 4.

8. Literaturverzeichnis

- Albrecht W. Erth H. Fuchs H. Vliesstoffe. Rohstoffe, Herstellung, Anwendung, Eigenschaften, Prüfung. Weinheim: John Wiley & Sons, Incorporated
- Andre K. et al. 2014. Pferdesport. FENA Lehrbuch zu den Lizenzprüfungen und zu den Sonderprüfungen. 11.Auflage. Wien: Österreichischer Pferdesportverband
- Baltacis A. 2007. Der Einfluss von Satteldecken auf die Druckverteilung unter dem Sattel und auf den Kraftangriffspunkt des Reiters. [Dissertation]. Wien: Veterinärmedizinische Universität
- Borries A. 1998. Gebisse Zäume Sättel. Die richtige Ausrüstung für Pferde und Ponys. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer
- De Cocq P. Van Weeren P. R. Back W. 2004. Effects of girth, saddle and weight on movements of the horse. *Equine Vet J.* 36 (8). 758-763. doi.org/10.2746/0425164044848000
- Dittmann M. T. Arpagaus S. Hungerbühler V. Weishaupt M. A. Latif S. N. 2021. Prevalence of subjectively assessed saddle fit problems in Swiss riding horses and their association with saddle pressure measurements and back pain. *J. Equine Vet. Sci.* 99. DOI 10.1016/j.jevs.2021.103388
- Dittmann M. T. Hess N. Arpagaus S. Müller-Quirin J. Weishaupt M. A. Latif S. N. 2022. The effects of different saddle pads on the pressure exerted on the equine back by correctly fitting dressage saddles. *Equine Medicine* 38 (March/April) 100–108. DOI 10.21836/PEM20220201
- Dobretsberger C. 2017. Vergleich mechanischer Eigenschaften von Sattelpolsterungen. [Dissertation] Wien: Veterinärmedizinische Universität
- Edwards E. 1996. Sattel, Zaumzeug & Geschirr. Alles über Pferde-Ausrüstungen. Cham: Müller Rüschnikon Verlag
- Frühwirth B. Peham C. Scheidl M. Schobesberger H. 2004. Evaluation of pressure distribution under an English saddle at walk, trot and canter. *Equine Vet J.* 36 (8). 754. doi: 10.2746/0425164044848235

- Harman J. 1999. Tack and Saddle Fit. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* (Volume 15). Issue 1, 247-261. doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30175-X
- Herzog U. 1998. *Der beste Sattel für mein Pferd*. Stuttgart: Kosmos
- Hofmann A. 2007. *Der Einfluss verschiedener Satteldecken auf die Kräfte und die Druckverteilung unter einem zu weiten Sattel [Dissertation]*. Wien: Veterinärmedizinische Universität
- Koller C. 1997. *Das Sattelbuch. Alles über Sättel und Zubehör*. Lüneburg: Cadmos Verlag
- Kotschwar A. B. Baltacis A. Peham C. 2010 a. The effects of different saddle pads on forces and pressure distribution beneath a fitting saddle. *Equine Veterinary Journal*. Volume 42. Issue 2. 114-118. doi.org/10.2746/042516409X475382
- Kotschwar A. B. Baltacis A. Peham C. 2010 b. The influence of different saddle pads on force and pressure changes beneath saddles with excessively wide trees. *Veterinary Journal* 184(3). 322-5. DOI: 10.1016/j.tvjl.2009.02.018
- Kricheldorf H. 2013. *Menschen und ihre Materialien. Von der Steinzeit bis heute*. Weinheim: Wiley-VCH
- Lange C. 2001. *Sattelnkunde*. München: BLV Verlagsgesellschaft
- Meschan E. M. Peham C. Schobesberger H. Licka T. F. 2007. The influence of the width of the saddle tree on the forces and the pressure distribution under the saddle. *The Veterinary Journal* (Volume 173). Issue 3. 578-584. doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.02.005
- Mülling C. Pfarrer C. Reese S. Kölle S. Budras K.-D. 2014. *Atlas der Anatomie des Pferdes*. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft
- Neuhaus B. 1990. *Das Freizeitpferd-Der Freizeitreiter: Rassen, Haltung, Ausrüstung, Ausbildung*. München, Wien, Zürich: BLV Verlagsgesellschaft
- Peham C. Licka T. Kapaun M. Scheidl M. 2001. A new method to quantify harmony of the horse-rider system in dressage. *Sports Eng.* 4, 95-101. doi.org/10.1046/j.1460-2687.2001.00077.x.
- Pollay H. 1976. *Reitsport von A-Z*. München: BLV Verlagsgesellschaft
- Rieser C. 2008. *Gutes für den Pferderücken. Der passende Sattel für Pferd und Reiter*. Brunsbek: Cadmos Verlag

Rietschel C. 2004. Kopf bis Huf. Das richtige Reitsportzubehör für Reiter und Pferd. Warendorf: FNverlag der Deutschen reiterlichen Vereinigung

Schulte Wien B, Lamparter A. 2009. Der passende Sattel: Ihrem Pferd zuliebe!. Stuttgart: Müller Rüschnikon Verlag

Schulte Wien B., Kurz E. 2022. Pferd-Sattel-Reiter. Angewandte Anatomie und Sattelkunde – Befundung und Behandlung. Stuttgart: Georg Thieme Verlag

Van Beek F. E. De Cocq P. Timmerman M. Muller M. 2011. Stirrup forces during horse riding: a comparison between sitting and rising trot. *Veterinary Journal* 2012 (July). 193 (1). DOI: 10.1016/j.tvjl.2011.10.007.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Lage des Sattels (Andre et al. 2014).....	2
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Muskulatur und der Faszien: 1 Fascia thoracolumbalis, 2 M. trapezius, 3 M. latissimus dorsi, 6 M. intercostales, 7 M. obliquus externus abdominis, 8 M. pectoralis profundus (Schulte Wien und Kurz 2022).....	5
Abbildung 3: Dressursattel (Herzog 1998)	7
Abbildung 4: Springsattel (Herzog 1998)	8
Abbildung 5: Aufbau des Sattels: a Sattelkammer, b Schweißblatt, c Vorderzwiesel, d Sitzfläche, e Sattelkranz, f Sattelpolster, g Sattelblatt, h Pausche, i Steigbügelriemen, j Steigbügel, k Satteltgurt, l Strupfen (Pollay 1976)	9
Abbildung 6: Woilach Faltechnick (Neuhaus 1990).....	14
Abbildung 7: Überprüfte Schabracken 1	18
Abbildung 8: Überprüfte Schabracken 2	18
Abbildung 9: Messsystem	20
Abbildung 10: Vienna Surface Tester	20
Abbildung 11: Beispiel-Grafik für TREND-Funktion.....	21
Abbildung 12: Gruppen-Vergleich ER und K	26
Abbildung 13: Zusammenhang von v_0 und k - Gruppe 3 (SNL).....	28
Abbildung 14: Zusammenhang von v_0 und k - Gruppe 1 (SNG).....	28
Abbildung 15: Zusammenhang von v_0 und k - Gruppe 2 (SNH).....	28
Abbildung 16: Zusammenhang von v_0 und ER - Gruppe 3 (SNL).....	28
Abbildung 17: Zusammenhang von v_0 und ER - Gruppe 3 (SNL).....	28
Abbildung 18: Zusammenhang von v_0 und ER - Gruppe 2 (SNH)	28
Abbildung 19: Zusammenhang von v_0 und ER - Gruppe 1 (SNG).....	28
Abbildung 20: Zusammenhang von v_0 und k - Gruppe 4 (SGG)	28
Abbildung 21: Gruppenvergleich G_{max} und d.....	29
Abbildung 22: Zusammenhang von v_0 und G_{max} - Gruppe 2 (SNH).....	30
Abbildung 23: Zusammenhang von v_0 und G_{max} - Gruppe 1 (SNG).....	30
Abbildung 24: Zusammenhang von v_0 und G_{max} - Gruppe 4 (SGG).....	30
Abbildung 25: Zusammenhang von v_0 und G_{max} - Gruppe 3 (SNL)	30
Abbildung 26: Zusammenhang von v_0 und d - Gruppe 2 (SNH)	31
Abbildung 27: Zusammenhang von v_0 und d - Gruppe 4 (SGG)	31
Abbildung 28: Zusammenhang von v_0 und d - Gruppe 1 (SNG)	31
Abbildung 29: Zusammenhang von v_0 und d - Gruppe 3 (SNL).....	31
Abbildung 30: Zusammenhang von v_0 und ER - SNL1.....	32
Abbildung 31: Zusammenhang von v_0 und ER - SNG9.....	32
Abbildung 32: Zusammenhang von v_0 und k - SNL2.....	33
Abbildung 33: Zusammenhang von v_0 und k - SGG7	33

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gruppeneinteilung.....	17
Tabelle 2: Korrelationen Gruppe 1 (SNG).....	22
Tabelle 3: Korrelationen Gruppe 2 (SNH).....	23
Tabelle 4: Korrelationen Gruppe 3 (SNL).....	23
Tabelle 5: Korrelation Gruppe 4 (SGG).....	24
Tabelle 6: Werte der Gruppen zur Aufprallgeschwindigkeit von 1,5 m/s	25
Tabelle 7: Standardabweichungen und Mittelwerte der vier Gruppen.....	26
Tabelle 8: Signifikanz der Gruppen in Bezug auf die Energierückgewinnung.....	27
Tabelle 9: Signifikanz der Gruppen in Bezug auf die Steifigkeit (die blau markierten Werte unterscheiden sich signifikant).....	27
Tabelle 10: Signifikanz der Gruppen in Bezug auf die max. Beschleunigung.....	30
Tabelle 11: Signifikanz der Gruppen in Bezug auf die Eindringtiefe	30

Anhang

Gruppe 1: Korrelationstabellen

	SNG1_v0	SNG1_Gmax	SNG1_d	SNG1_ER	SNG1_k
SNG1_v0	1	0.921	0.97	-0.946	-0.576
SNG1_Gmax	0.921	1	0.809	-0.858	-0.229
SNG1_d	0.97	0.809	1	-0.951	-0.742
SNG1_ER	-0.946	-0.858	-0.951	1	0.62
SNG1_k	-0.576	-0.229	-0.742	0.62	1

	SNG2_v0	SNG2_Gmax	SNG2_d	SNG2_ER	SNG2_k
SNG2_v0	1	0.924	0.694	-0.786	0.471
SNG2_Gmax	0.924	1	0.474	-0.578	0.474
SNG2_d	0.694	0.474	1	-0.93	-0.296
SNG2_ER	-0.786	-0.578	-0.93	1	0.058
SNG2_k	0.471	0.474	-0.296	0.058	1

	SNG3_v0	SNG3_Gmax	SNG3_d	SNG3_ER	SNG3_k
SNG3_v0	1	0.737	0.909	-0.817	-0.713
SNG3_Gmax	0.737	1	0.398	-0.383	-0.057
SNG3_d	0.909	0.398	1	-0.95	-0.927
SNG3_ER	-0.817	-0.383	-0.95	1	0.733
SNG3_k	-0.713	-0.057	-0.927	0.733	1

	SNG4_v0	SNG4_Gmax	SNG4_d	SNG4_ER	SNG4_k
SNG4_v0	1	0.926	-0.124	-0.599	0.689
SNG4_Gmax	0.926	1	-0.397	-0.375	0.91
SNG4_d	-0.124	-0.397	1	-0.415	-0.612
SNG4_ER	-0.599	-0.375	-0.415	1	-0.075
SNG4_k	0.689	0.91	-0.612	-0.075	1

	SNG5_v0	SNG5_Gmax	SNG5_d	SNG5_ER	SNG5_k
SNG5_v0	1	0.688	0.422	-0.318	0.177
SNG5_Gmax	0.688	1	-0.349	0.218	0.822
SNG5_d	0.422	-0.349	1	-0.955	-0.749
SNG5_ER	-0.318	0.218	-0.955	1	0.455
SNG5_k	0.177	0.822	-0.749	0.455	1

	SNG6_v0	SNG6_Gmax	SNG6_d	SNG6_ER	SNG6_k
SNG6_v0	1	0.983	0.588	-0.761	0.872
SNG6_Gmax	0.983	1	0.549	-0.698	0.944
SNG6_d	0.588	0.549	1	-0.681	0.33
SNG6_ER	-0.761	-0.698	-0.681	1	-0.556
SNG6_k	0.872	0.944	0.33	-0.556	1

	SNG7_v0	SNG7_Gmax	SNG7_d	SNG7_ER	SNG7_k
SNG7_v0	1	0.948	0.894	-0.679	0.625
SNG7_Gmax	0.948	1	0.719	-0.624	0.835
SNG7_d	0.894	0.719	1	-0.744	0.246
SNG7_ER	-0.679	-0.624	-0.744	1	-0.32
SNG7_k	0.625	0.835	0.246	-0.32	1

	SNG8_v0	SNG8_Gmax	SNG8_d	SNG8_ER	SNG8_k
SNG8_v0	1	0.929	-0.722	-0.861	0.864
SNG8_Gmax	0.929	1	-0.914	-0.689	0.989
SNG8_d	-0.722	-0.914	1	0.419	-0.953
SNG8_ER	-0.861	-0.689	0.419	1	-0.599
SNG8_k	0.864	0.989	-0.953	-0.599	1

	SNG9_v0	SNG9_Gmax	SNG9_d	SNG9_ER	SNG9_k
SNG9_v0	1	0.964	-0.407	-0.388	0.770
SNG9_Gmax	0.964	1	-0.419	-0.382	0.879
SNG9_d	-0.407	-0.419	1	-0.56	-0.693
SNG9_ER	-0.338	-0.382	-0.56	1	-0.079
SNG9_k	0.770	0.879	-0.693	-0.079	1

	SNG10_v0	SNG10_Gmax	SNG10_d	SNG10_ER	SNG10_k
SNG10_v0	1	0.877	0.98	-0.964	-0.761
SNG10_Gmax	0.877	1	0.785	-0.811	-0.371
SNG10_d	0.98	0.785	1	-0.976	-0.856
SNG10_ER	-0.964	-0.811	-0.976	1	0.822
SNG10_k	-0.761	-0.371	-0.856	0.822	1

Gruppe 2: Korrelationstabellen

	SNH1_v0	SNH1_Gmax	SNH1_d	SNH1_ER	SNH1_k
SNH1_v0	1	0.943	0.874	-0.914	0.270
SNH1_Gmax	0.943	1	0.679	-0.829	0.569
SNH1_d	0.874	0.679	1	-0.903	-0.197
SNH1_ER	-0.914	-0.829	-0.903	1	-0.166
SNH1_k	0.270	0.569	-0.197	-0.166	1

	SNH2_v0	SNH2_Gmax	SNH2_d	SNH2_ER	SNH2_k
SNH2_v0	1	0.636	0.835	-0.819	-0.178
SNH2_Gmax	0.636	1	0.157	-0.351	0.628
SNH2_d	0.835	0.157	1	-0.915	-0.669
SNH2_ER	-0.819	-0.351	-0.915	1	0.466
SNH2_k	-0.178	0.628	-0.669	0.466	1

	SNH3_v0	SNH3_Gmax	SNH3_d	SNH3_ER	SNH3_k
SNH3_v0	1	0.915	0.65	-0.864	0.410
SNH3_Gmax	0.915	1	0.297	-0.629	0.725
SNH3_d	0.65	0.297	1	-0.868	-0.396
SNH3_ER	-0.864	-0.629	-0.868	1	0.745
SNH3_k	0.410	0.725	-0.396	0.745	1

	SNH4_v0	SNH4_Gmax	SNH4_d	SNH4_ER	SNH4_k
SNH4_v0	1	0.98	-0.969	-0.777	0.949
SNH4_Gmax	0.98	1	-0.991	-0.723	0.991
SNH4_d	-0.969	-0.991	1	0.658	-0.987
SNH4_ER	-0.777	-0.723	0.658	1	-0.687
SNH4_k	0.949	0.991	-0.987	-0.687	1

	SNH5_v0	SNH5_Gmax	SNH5_d	SNH5_ER	SNH5_k
SNH5_v0	1	0.625	0.964	-0.976	-0.894
SNH5_Gmax	0.625	1	0.408	-0.531	-0.241
SNH5_d	0.964	0.408	1	-0.974	-0.963
SNH5_ER	-0.976	-0.531	-0.974	1	0.938
SNH5_k	-0.894	-0.241	-0.963	0.938	1

	SNH6_v0	SNH6_Gmax	SNH6_d	SNH6_ER	SNH6_k
SNH6_v0	1	0.958	-0.607	-0.711	0.909
SNH6_Gmax	0.958	1	0.804	-0.778	0.989
SNH6_d	-0.607	0.804	1	0.335	-0.871
SNH6_ER	-0.711	0.778	0.335	1	-0.644
SNH6_k	0.909	0.989	-0.871	-0.644	1

	SNH7_v0	SNH7_Gmax	SNH7_d	SNH7_ER	SNH7_k
SNH7_v0	1	0.971	-0.687	-0.342	0.893
SNH7_Gmax	0.971	1	-0.826	-0.115	0.973
SNH7_d	-0.687	-0.826	1	-0.404	-0.925
SNH7_ER	-0.342	-0.115	-0.404	1	0.102
SNH7_k	0.893	0.973	-0.925	0.102	1

	SNH8_v0	SNH8_Gmax	SNH8_d	SNH8_ER	SNH8_k
SNH8_v0	1	0.93	0.175	-0.745	0.607
SNH8_Gmax	0.93	1	-0.156	-0.756	0.854
SNH8_d	0.175	-0.156	1	-0.203	-0.57
SNH8_ER	-0.745	-0.756	-0.203	1	-0.603
SNH8_k	0.607	0.854	-0.57	-0.603	1

	SNH9_v0	SNH9_Gmax	SNH9_d	SNH9_ER	SNH9_k
SNH9_v0	1	0.954	0.435	-0.883	0.799
SNH9_Gmax	0.954	1	0.167	-0.767	0.938
SNH9_d	0.435	0.167	1	-0.656	-0.173
SNH9_ER	-0.883	-0.767	-0.656	1	-0.559
SNH9_k	0.799	0.938	-0.173	-0.559	1

	SNH10_v0	SNH10_Gmax	SNH10_d	SNH10_ER	SNH10_k
SNH10_v0	1	0.988	0.692	-0.956	0.919
SNH10_Gmax	0.988	1	0.598	-0.908	0.956
SNH10_d	0.692	0.598	1	-0.793	0.356
SNH10_ER	-0.956	-0.908	-0.793	1	-0.814
SNH10_k	0.919	0.956	0.356	-0.814	1

Gruppe 3: Korrelationstabellen

	SNL1_v0	SNL1_Gmax	SNL1_d	SNL1_ER	SNL1_k
SNL1_v0	1	0.941	0.966	0.174	0.196
SNL1_Gmax	0.941	1	0.829	0.08	0.506
SNL1_d	0.966	0.829	1	0.24	-0.036
SNL1_ER	0.174	0.08	0.24	1	-0.219
SNL1_k	0.196	0.506	-0.036	-0.219	1

	SNL2_v0	SNL2_Gmax	SNL2_d	SNL2_ER	SNL2_k
SNL2_v0	1	0.946	0.958	-0.455	0.361
SNL2_Gmax	0.946	1	0.853	-0.28	0.637
SNL2_d	0.958	0.853	1	-0.481	0.198
SNL2_ER	-0.455	-0.28	-0.481	1	0.29
SNL2_k	0.361	0.637	0.198	0.29	1

	SNL3_v0	SNL3_Gmax	SNL3_d	SNL3_ER	SNL3_k
SNL3_v0	1	0.955	0.949	0.23	0.766
SNL3_Gmax	0.955	1	0.819	0.32	0.88
SNL3_d	0.949	0.819	1	0.14	0.589
SNL3_ER	0.23	0.32	0.14	1	0.588
SNL3_k	0.766	0.88	0.589	0.588	1

	SNL4_v0	SNL4_Gmax	SNL4_d	SNL4_ER	SNL4_k
SNL4_v0	1	0.92	0.949	-0.181	0.528
SNL4_Gmax	0.92	1	0.751	0.095	0.815
SNL4_d	0.949	0.751	1	-0.387	0.242
SNL4_ER	-0.181	0.095	-0.387	1	0.512
SNL4_k	0.528	0.815	0.242	0.512	1

	SNL5_v0	SNL5_Gmax	SNL5_d	SNL5_ER	SNL5_k
SNL5_v0	1	0.953	0.949	-0.638	0.566
SNL5_Gmax	0.953	1	0.833	-0.569	0.784
SNL5_d	0.949	0.833	1	-0.641	0.332
SNL5_ER	-0.638	-0.569	-0.641	1	-0.198
SNL5_k	0.566	0.784	0.332	-0.198	1

	SNL6_v0	SNL6_Gmax	SNL6_d	SNL6_ER	SNL6_k
SNL6_v0	1	0.964	0.681	-0.327	0.866
SNL6_Gmax	0.964	1	0.508	-0.354	0.959
SNL6_d	0.681	0.508	1	0.147	0.245
SNL6_ER	-0.327	-0.354	0.147	1	-0.498
SNL6_k	0.866	0.959	0.245	-0.498	1

	SNL7_v0	SNL7_Gmax	SNL7_d	SNL7_ER	SNL7_k
SNL7_v0	1	0.924	0.864	-0.374	0.712
SNL7_Gmax	0.924	1	0.613	-0.234	0.926
SNL7_d	0.864	0.613	1	-0.439	0.276
SNL7_ER	-0.374	-0.234	-0.439	1	-0.05
SNL7_k	0.712	0.926	0.276	-0.05	1

	SNL8_v0	SNL8_Gmax	SNL8_d	SNL8_ER	SNL8_k
SNL8_v0	1	0.85	0.743	0.292	0.782
SNL8_Gmax	0.85	1	0.477	-0.202	0.74
SNL8_d	0.743	0.477	1	-0.052	-0.033
SNL8_ER	0.292	-0.202	-0.052	1	0.119
SNL8_k	0.782	0.74	-0.033	0.119	1

	SNL9_v0	SNL9_Gmax	SNL9_d	SNL9_ER	SNL9_k
SNL9_v0	1	0.971	0.947	0.292	0.880
SNL9_Gmax	0.971	1	0.854	0.403	0.964
SNL9_d	0.947	0.854	1	0.098	0.692
SNL9_ER	0.292	0.403	0.098	1	0.543
SNL9_k	0.880	0.964	0.692	0.543	1

	SNL10_v0	SNL10_Gmax	SNL10_d	SNL10_ER	SNL10_k
SNL10_v0	1	0.969	0.923	-0.497	0.662
SNL10_Gmax	0.969	1	0.802	-0.36	0.822
SNL10_d	0.923	0.802	1	-0.614	0.337
SNL10_ER	-0.497	-0.36	-0.614	1	0.109
SNL10_k	0.662	0.822	0.337	0.109	1

Gruppe 4: Korrelationstabellen

	SGG1_v0	SGG1_Gmax	SGG1_d	SGG1_ER	SGG1_k
SGG1_v0	1	0.907	-0.242	-0.874	0.519
SGG1_Gmax	0.907	1	-0.522	-0.598	0.821
SGG1_d	-0.242	-0.522	1	-0.142	-0.775
SGG1_ER	-0.874	-0.598	-0.142	1	-0.097
SGG1_k	0.519	0.821	-0.775	-0.097	1

	SGG2_v0	SGG2_Gmax	SGG2_d	SGG2_ER	SGG2_k
SGG2_v0	1	0.983	0.093	-0.217	0.950
SGG2_Gmax	0.983	1	0.76	-0.725	0.96
SGG2_d	0.093	0.76	1	-0.705	0.585
SGG2_ER	-0.217	-0.725	-0.705	1	-0.692
SGG2_k	0.950	0.96	0.585	-0.692	1

	SGG3_v0	SGG3_Gmax	SGG3_d	SGG3_ER	SGG3_k
SGG3_v0	1	0.899	0.49	-0.719	0.490
SGG3_Gmax	0.899	1	0.074	-0.396	0.815
SGG3_d	0.49	0.074	1	-0.904	-0.465
SGG3_ER	-0.719	-0.396	-0.904	1	0.115
SGG3_k	0.490	0.815	-0.465	0.115	1

	SGG4_v0	SGG4_Gmax	SGG4_d	SGG4_ER	SGG4_k
SGG4_v0	1	0.96	0.758	0.707	0.724
SGG4_Gmax	0.96	1	0.568	-0.493	0.886
SGG4_d	0.758	0.568	1	-0.943	0.188
SGG4_ER	-0.707	-0.493	-0.943	1	-0.075
SGG4_k	0.724	0.886	0.188	-0.075	1

	SGG5_v0	SGG5_Gmax	SGG5_d	SGG5_ER	SGG5_k
SGG5_v0	1	0.846	-0.042	-0.538	0.448
SGG5_Gmax	0.846	1	-0.629	-0.133	0.905
SGG5_d	-0.042	-0.629	1	-0.602	-0.866
SGG5_ER	-0.538	-0.133	-0.602	1	0.287
SGG5_k	0.448	0.905	-0.866	0.287	1

	SGG6_v0	SGG6_Gmax	SGG6_d	SGG6_ER	SGG6_k
SGG6_v0	1	0.798	0.77	-0.849	-0.408
SGG6_Gmax	0.798	1	0.41	-0.429	0.218
SGG6_d	0.77	0.41	1	-0.788	-0.51
SGG6_ER	-0.849	-0.429	-0.788	1	0.728
SGG6_k	-0.408	0.218	-0.51	0.728	1

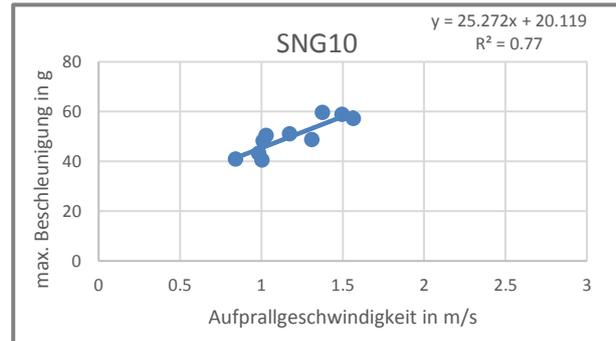
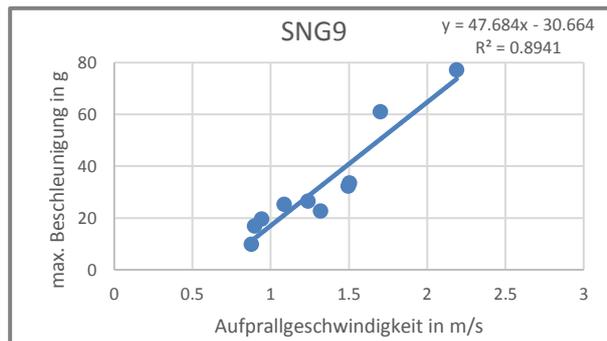
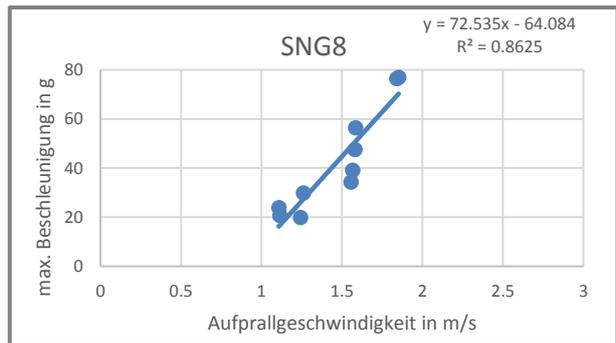
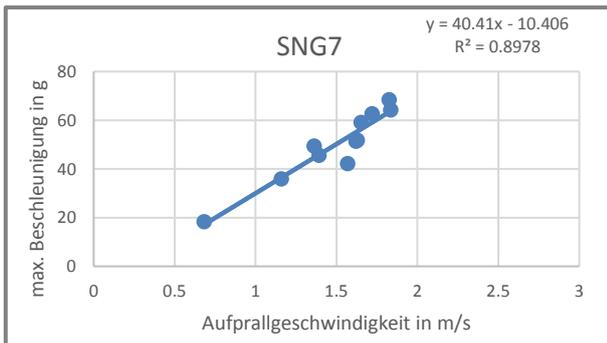
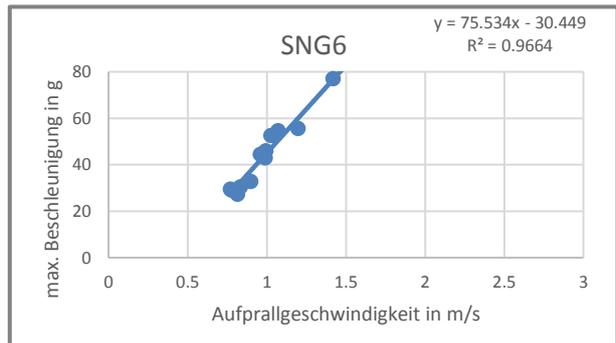
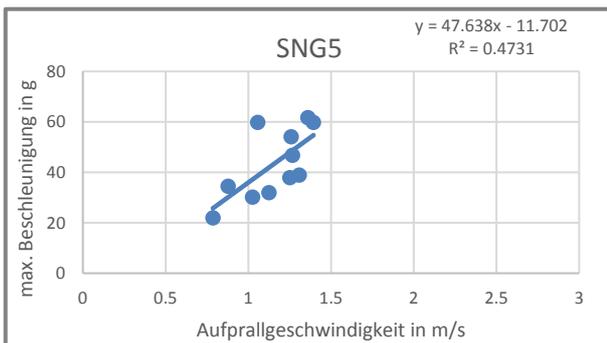
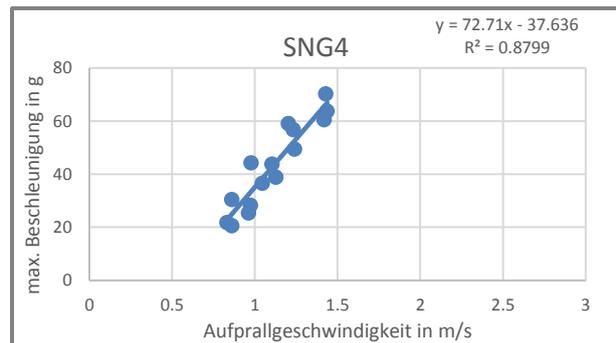
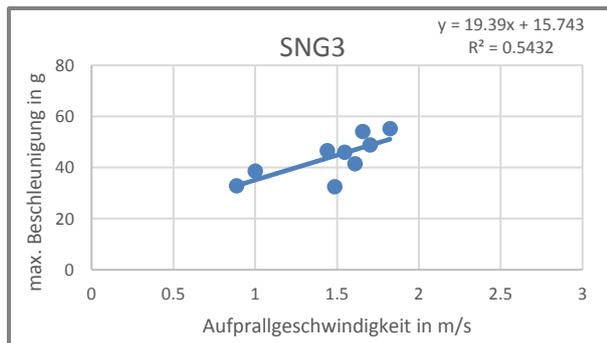
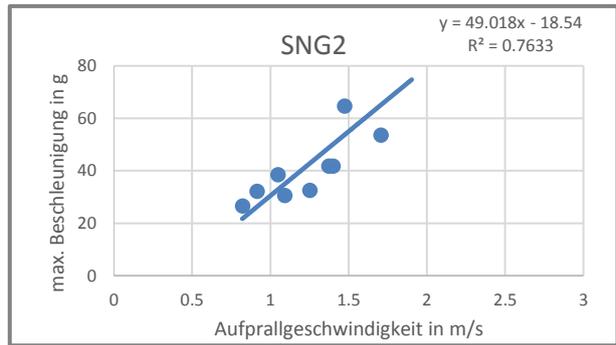
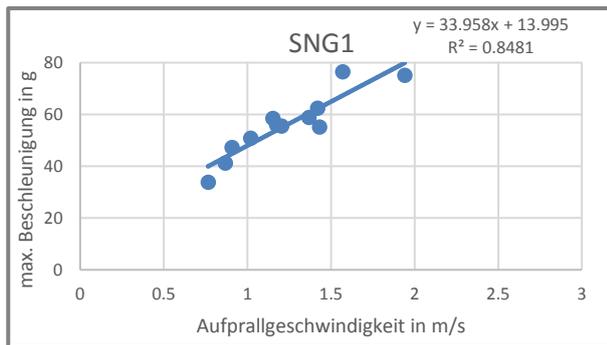
	SGG7_v0	SGG7_Gmax	SGG7_d	SGG7_ER	SGG7_k
SGG7_v0	1	0.882	0.724	-0.605	0.374
SGG7_Gmax	0.882	1	0.322	-0.227	0.765
SGG7_d	0.724	0.322	1	-0.901	-0.349
SGG7_ER	-0.605	-0.227	-0.901	1	0.382
SGG7_k	0.374	0.765	-0.349	0.382	1

	SGG8_v0	SGG8_Gmax	SGG8_d	SGG8_ER	SGG8_k
SGG8_v0	1	0.942	0.333	-0.827	0.674
SGG8_Gmax	0.942	1	0.091	-0.626	0.878
SGG8_d	0.333	0.091	1	-0.687	-0.232
SGG8_ER	-0.827	-0.626	-0.687	1	-0.249
SGG8_k	0.674	0.878	-0.232	-0.249	1

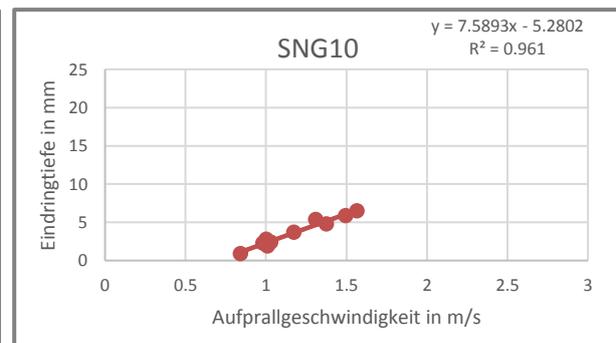
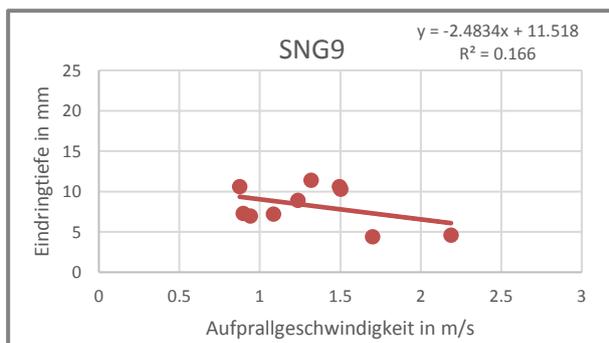
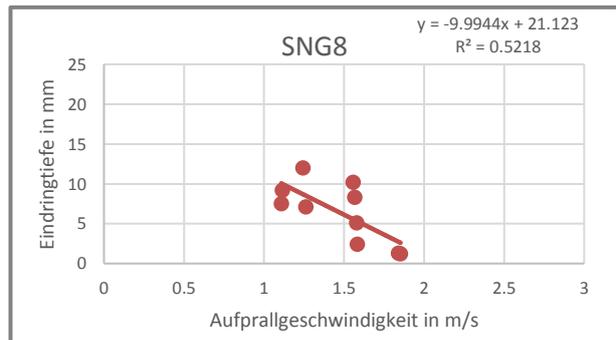
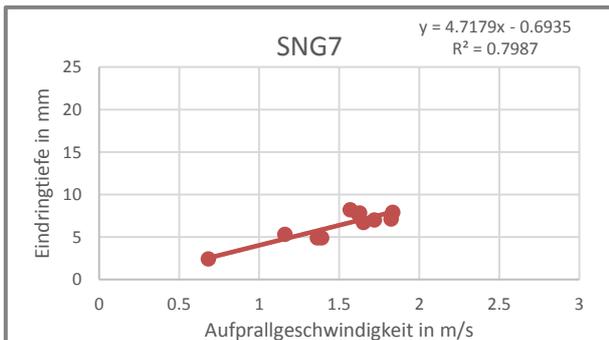
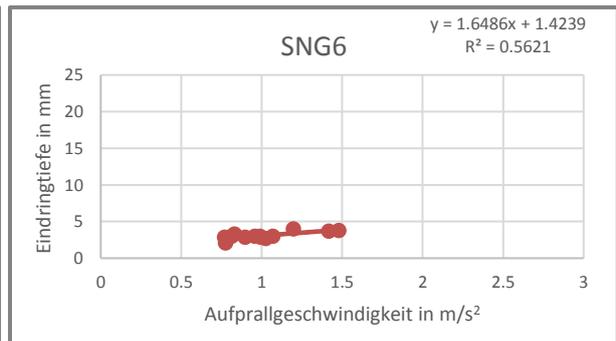
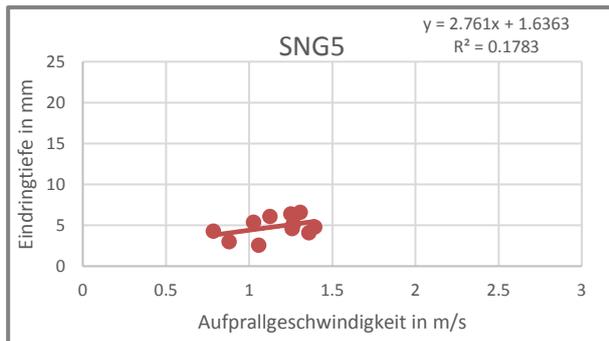
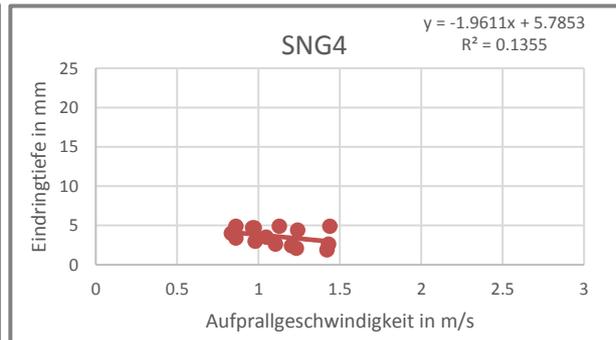
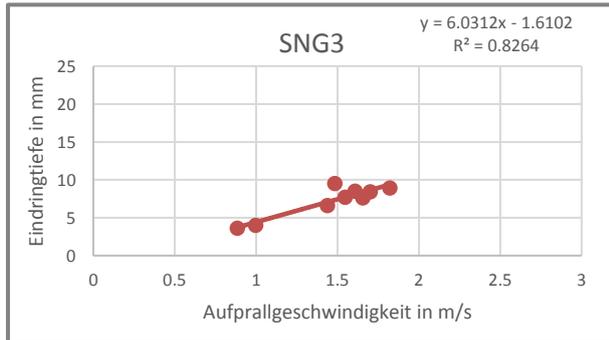
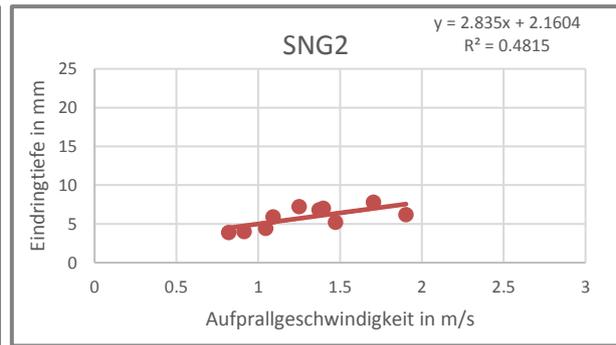
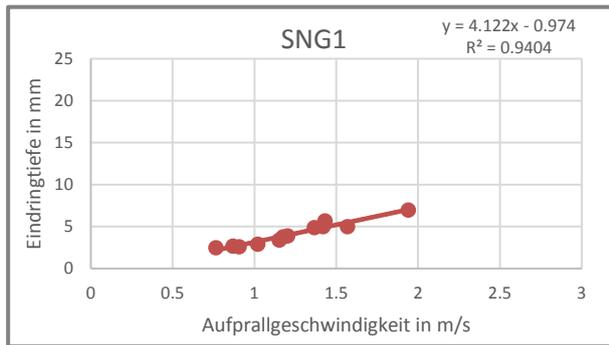
	SGG9_v0	SGG9_Gmax	SGG9_d	SGG9_ER	SGG9_k
SGG9_v0	1	0.863	0.793	-0.826	0.101
SGG9_Gmax	0.863	1	0.383	-0.499	0.587
SGG9_d	0.793	0.383	1	-0.942	-0.51
SGG9_ER	-0.826	-0.499	-0.942	1	0.355
SGG9_k	0.101	0.587	-0.51	0.355	1

	SGG10_v0	SGG10_Gmax	SGG10_d	SGG10_ER	SGG10_k
SGG10_v0	1	0.954	0.821	-0.926	0.694
SGG10_Gmax	0.954	1	0.616	-0.797	0.876
SGG10_d	0.821	0.616	1	-0.934	0.168
SGG10_ER	-0.926	-0.797	-0.934	1	-0.448
SGG10_k	0.694	0.876	0.168	-0.448	1

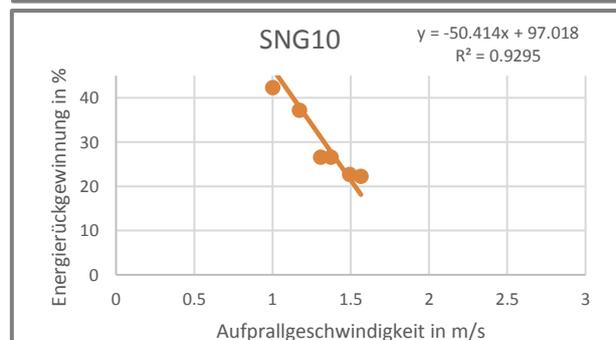
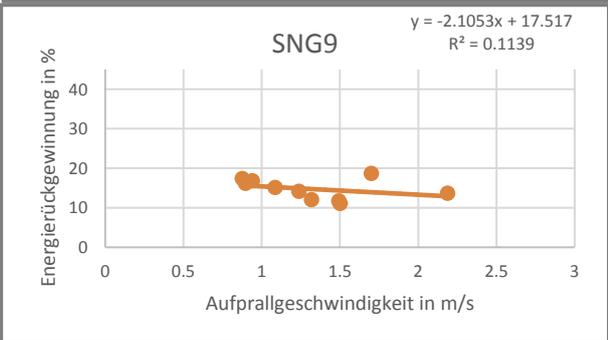
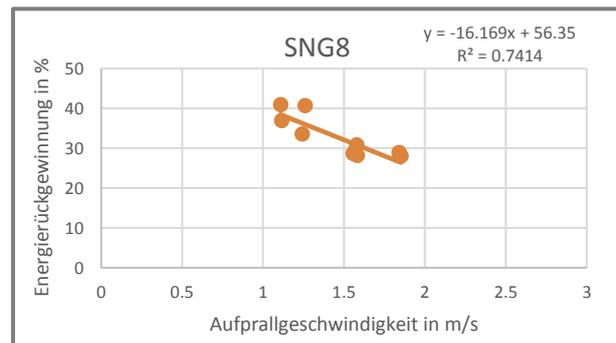
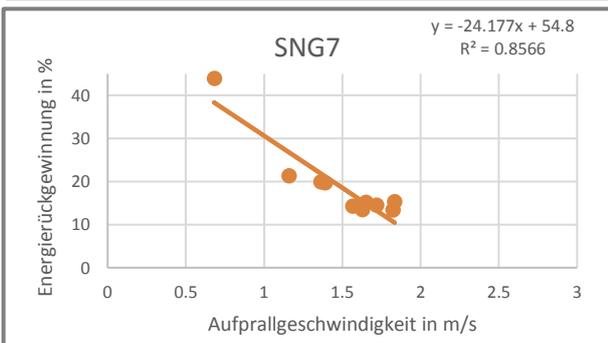
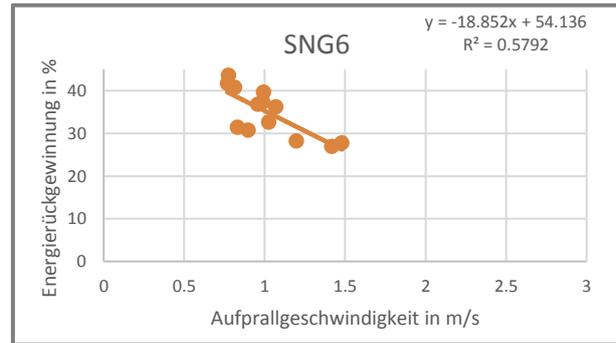
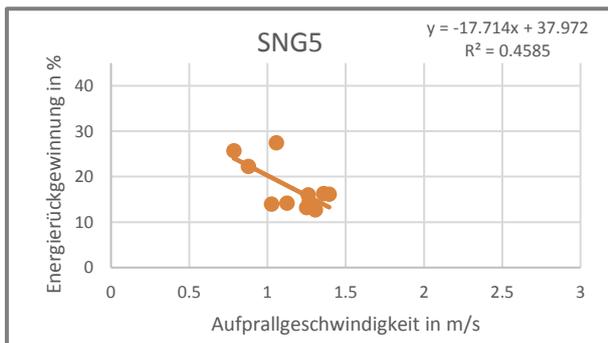
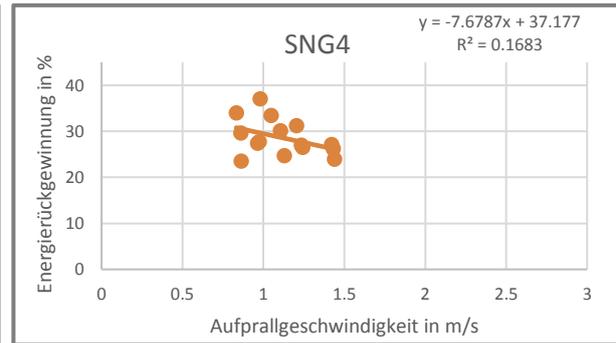
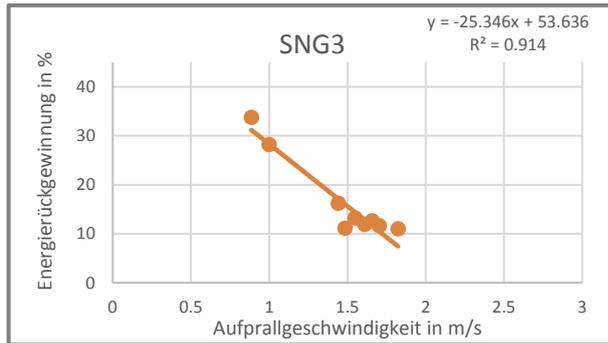
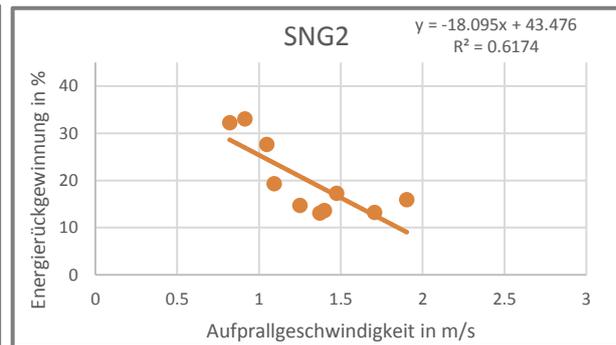
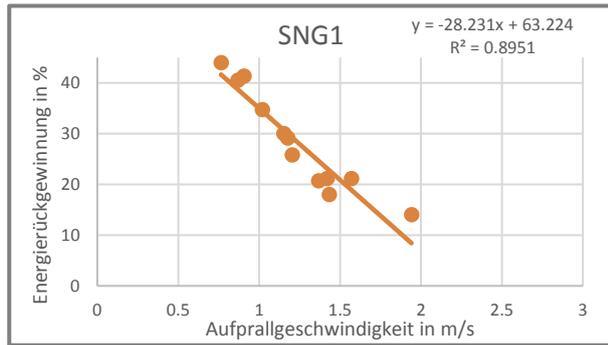
Gruppe 1: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und max. Beschleunigung



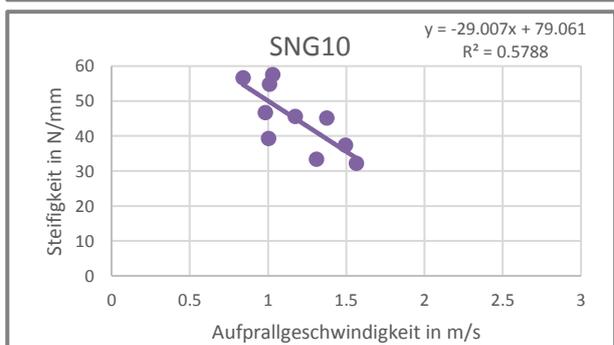
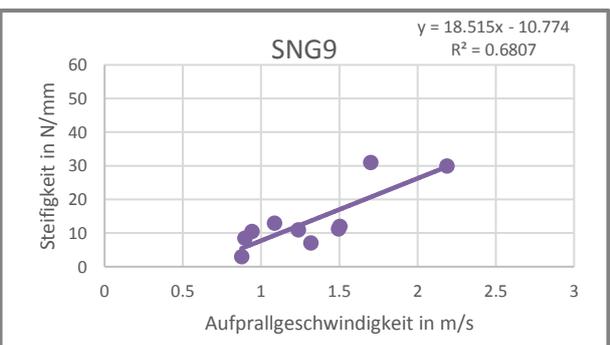
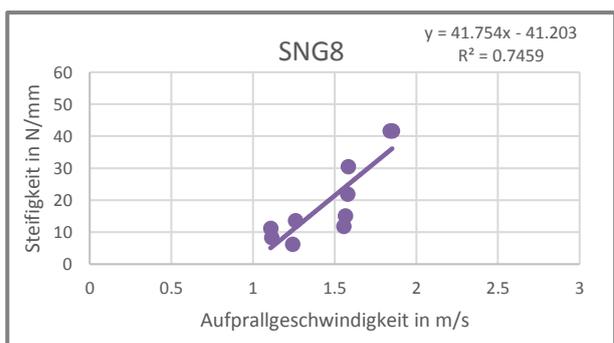
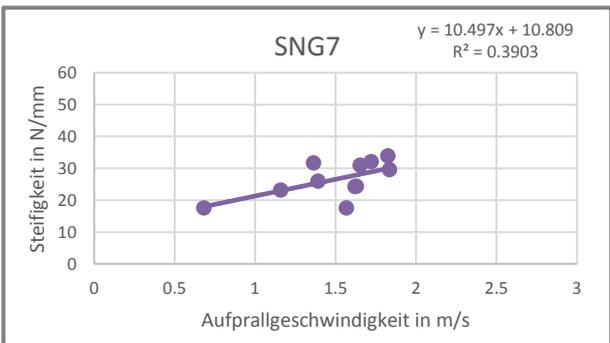
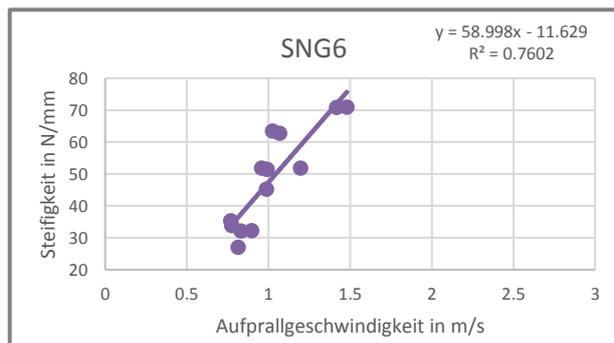
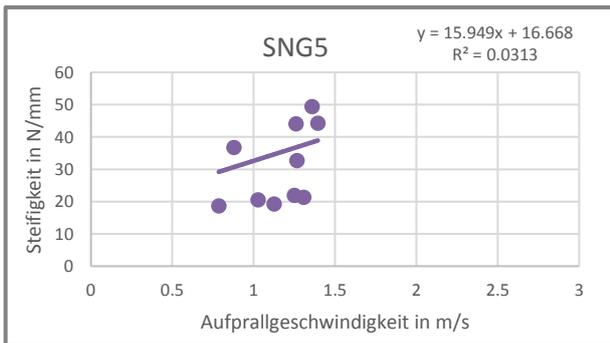
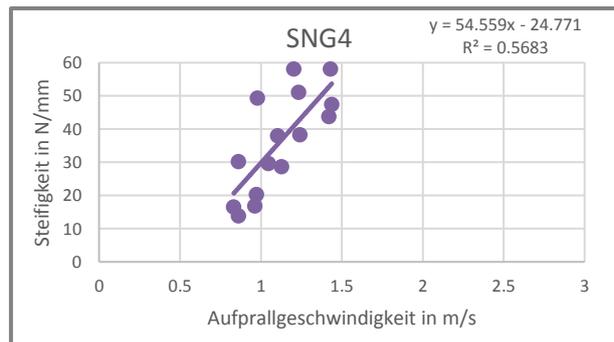
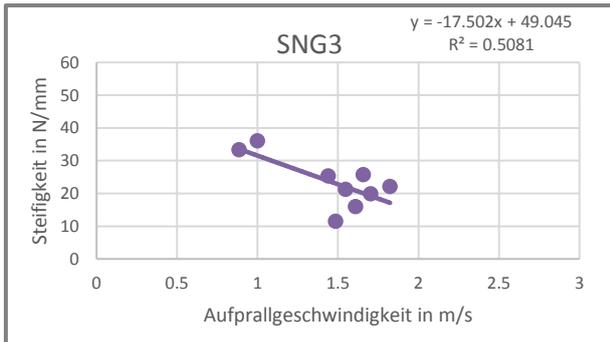
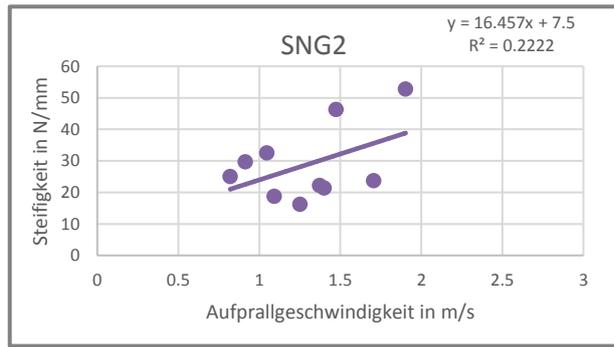
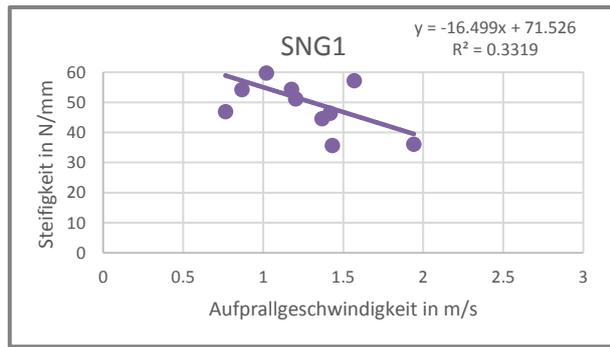
Gruppe 1: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Eindringtiefe



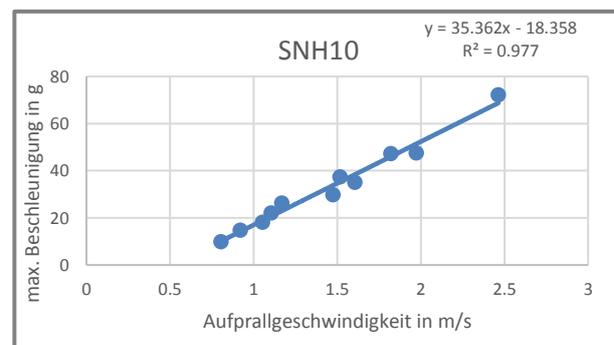
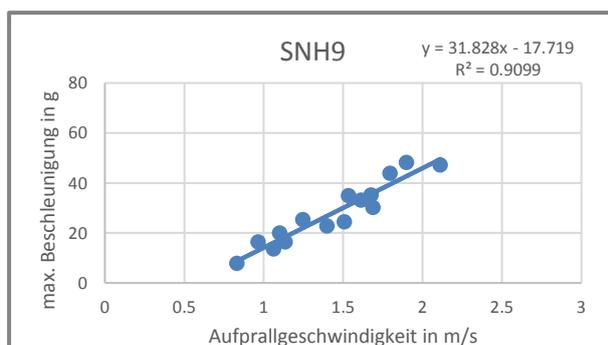
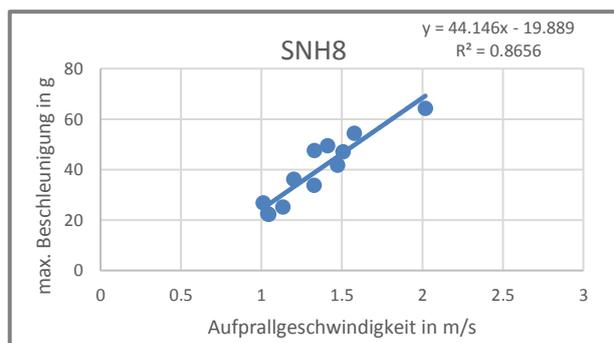
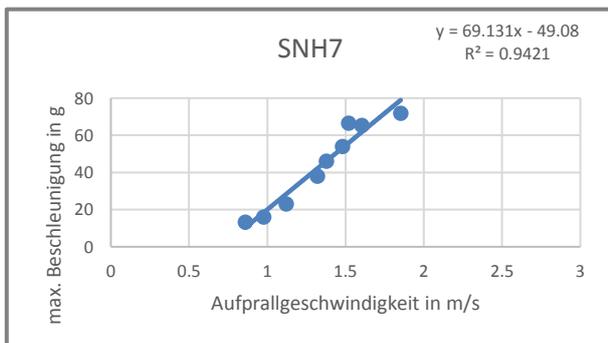
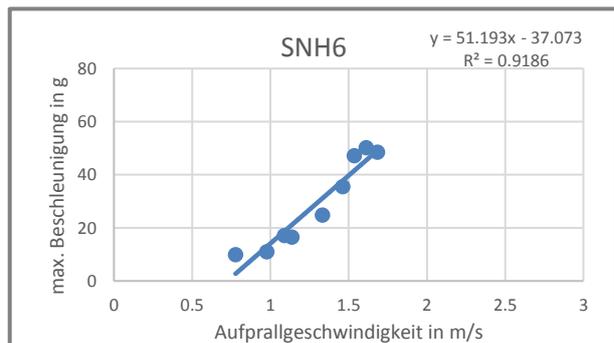
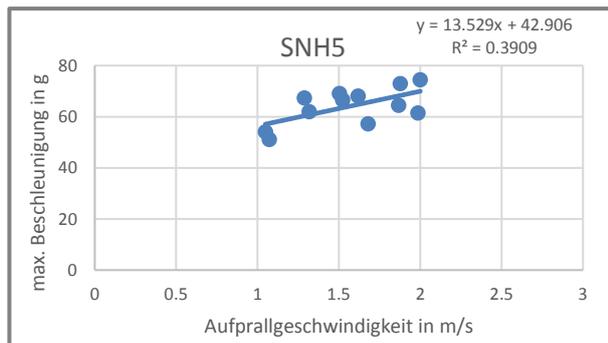
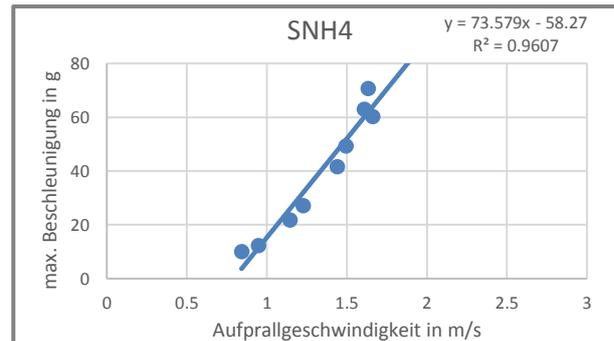
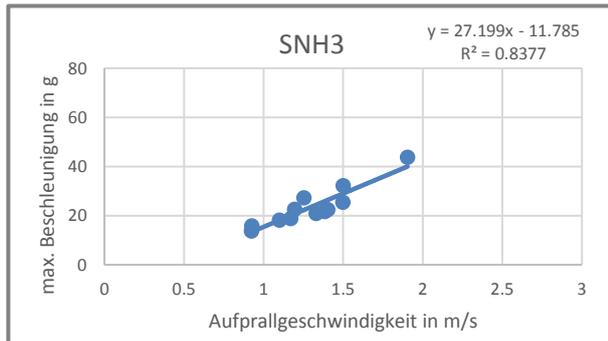
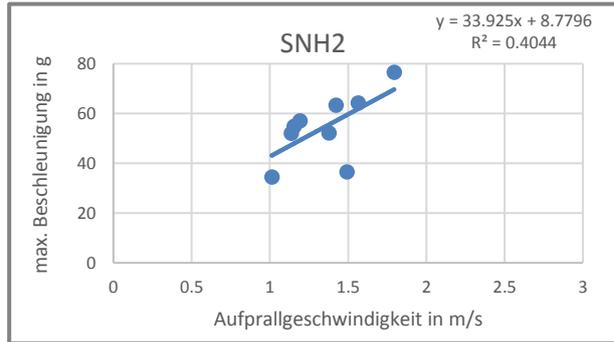
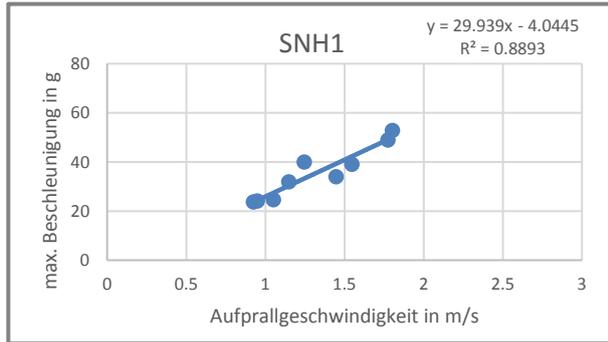
Gruppe 1: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Energierückgewinnung



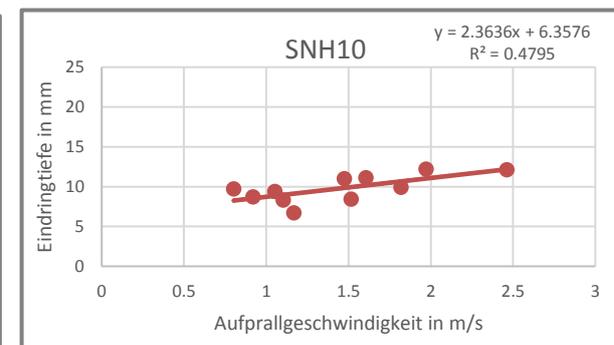
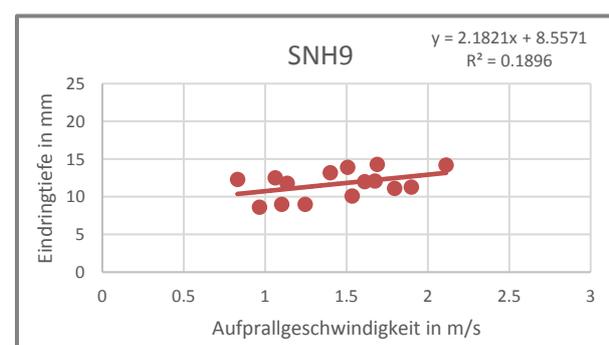
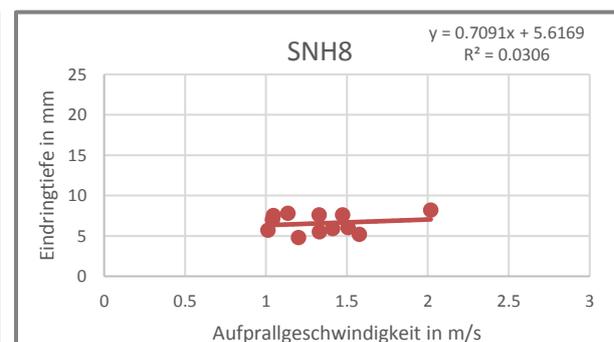
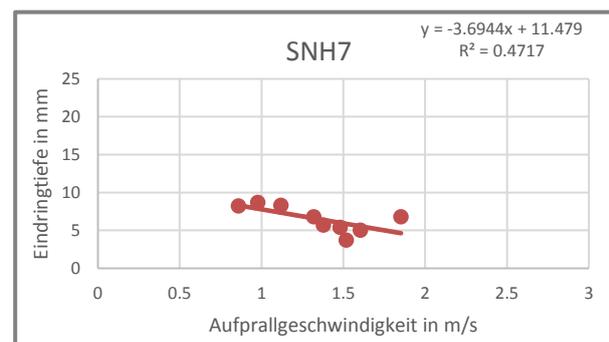
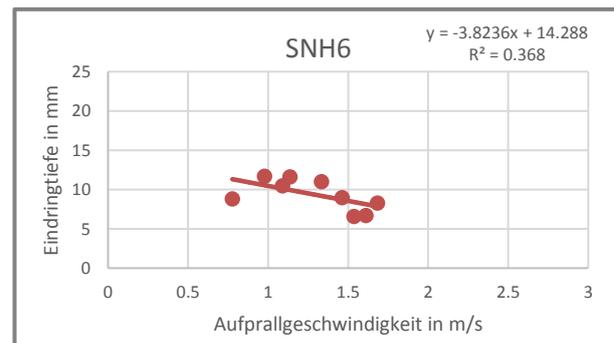
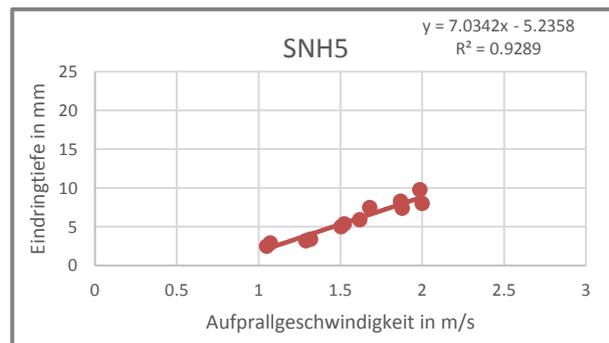
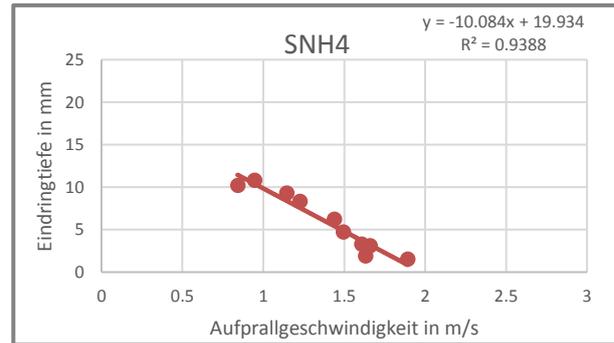
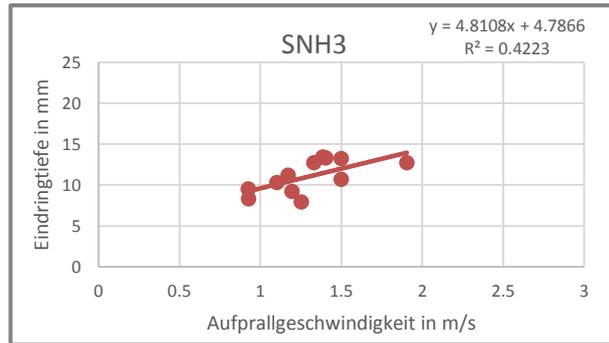
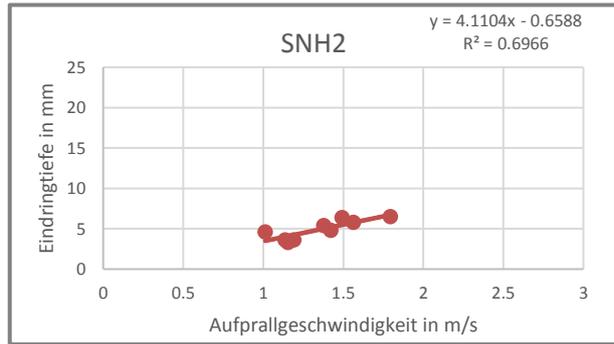
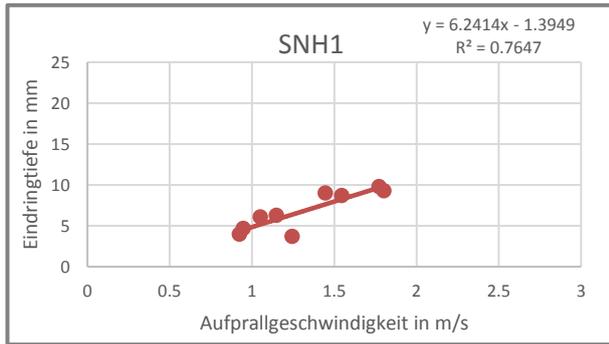
Gruppe 1: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Steifigkeit



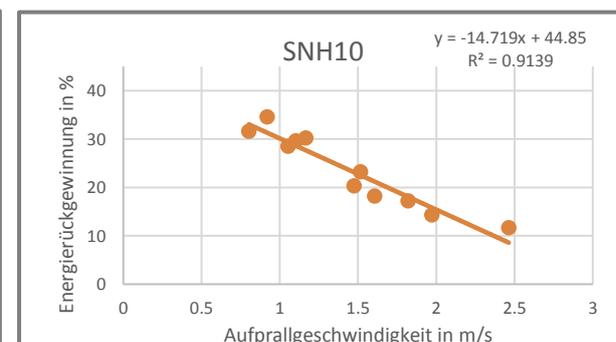
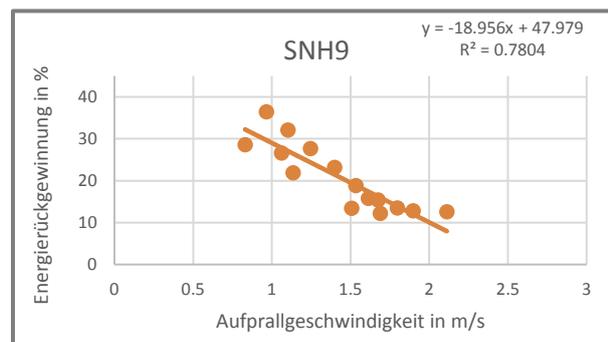
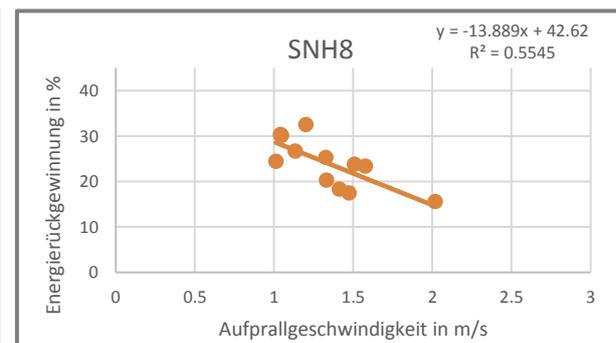
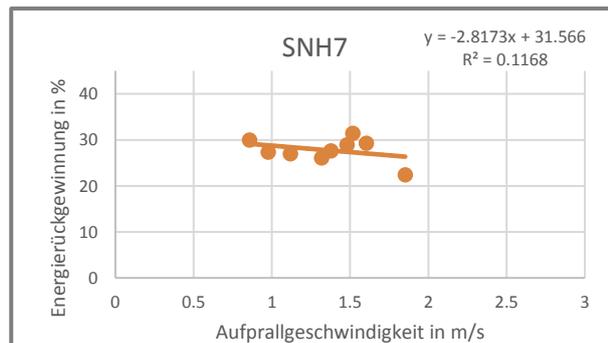
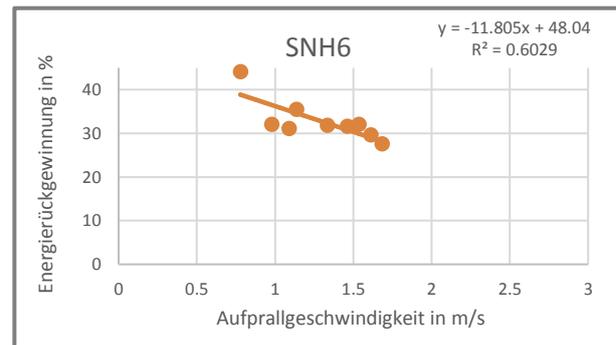
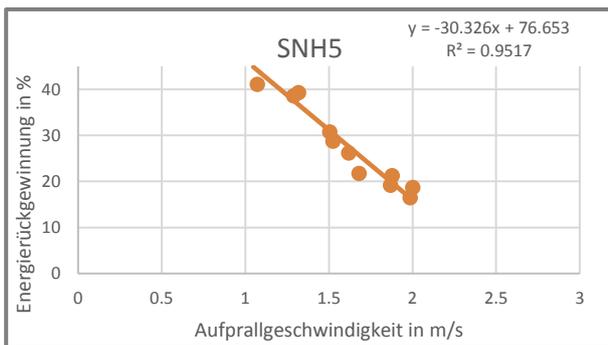
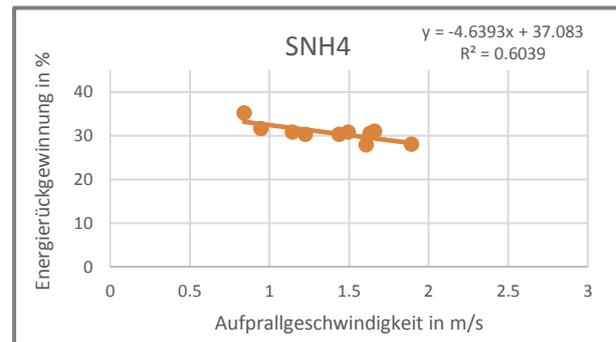
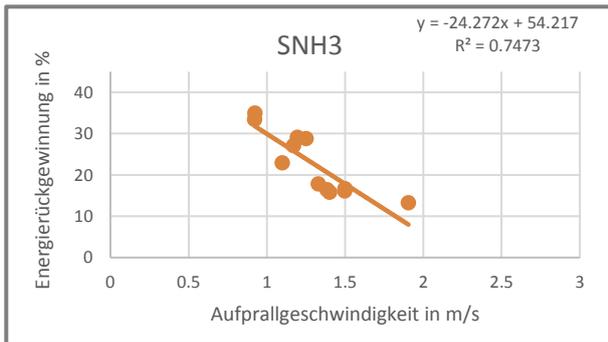
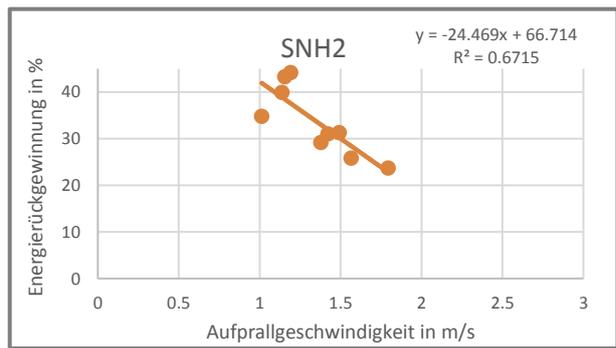
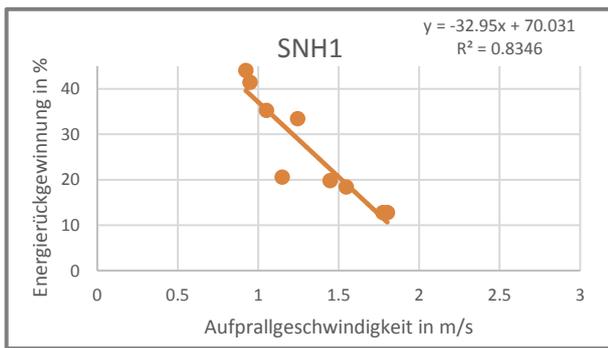
Gruppe 2: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und max. Beschleunigung



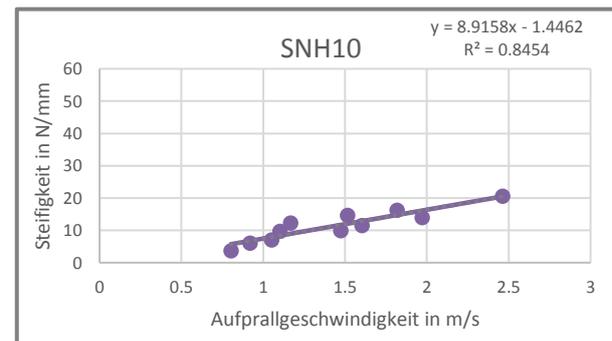
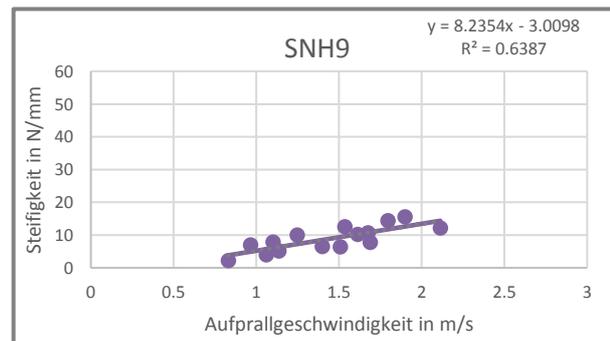
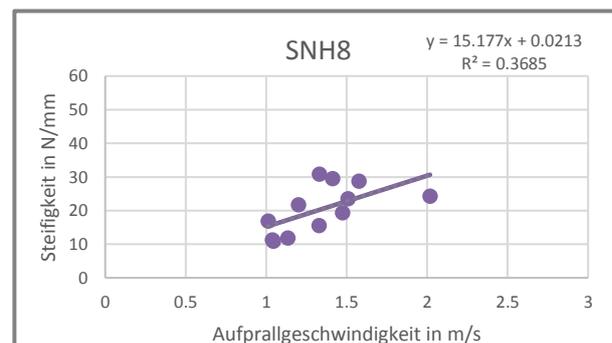
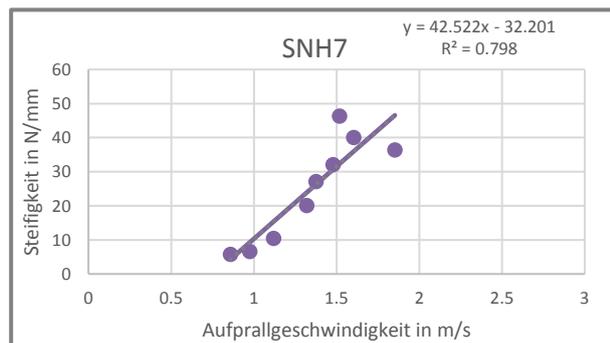
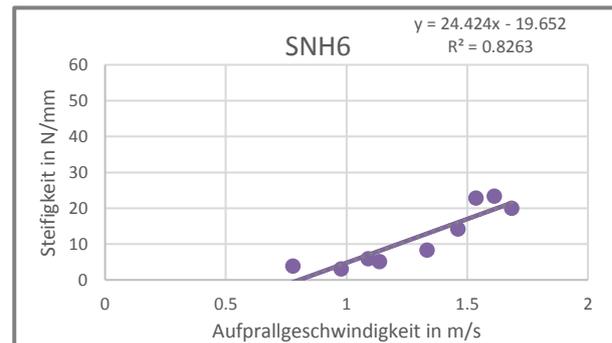
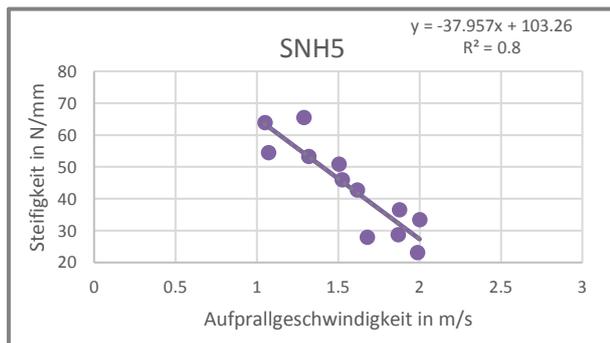
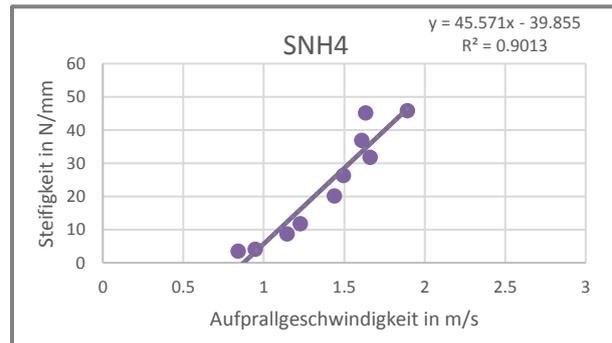
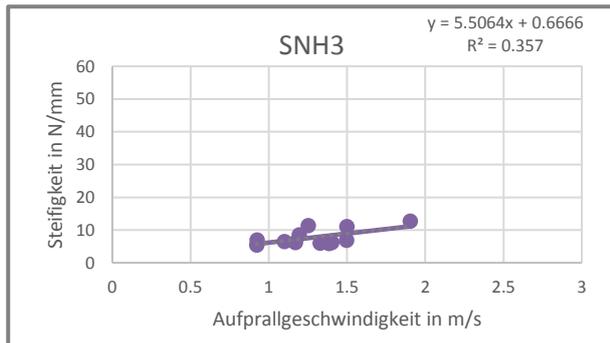
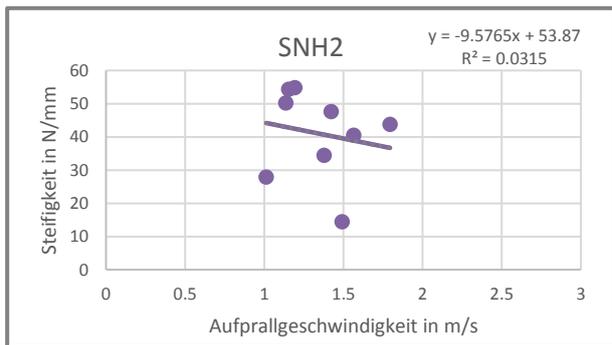
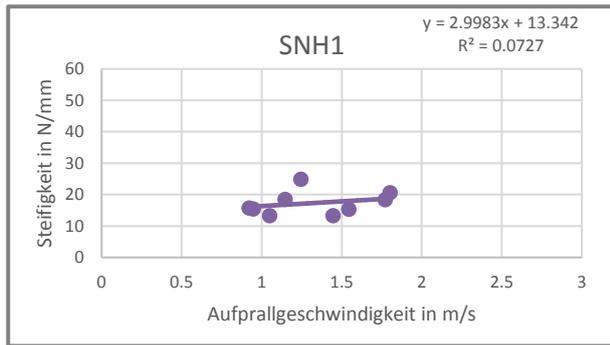
Gruppe 2: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Eindringtiefe



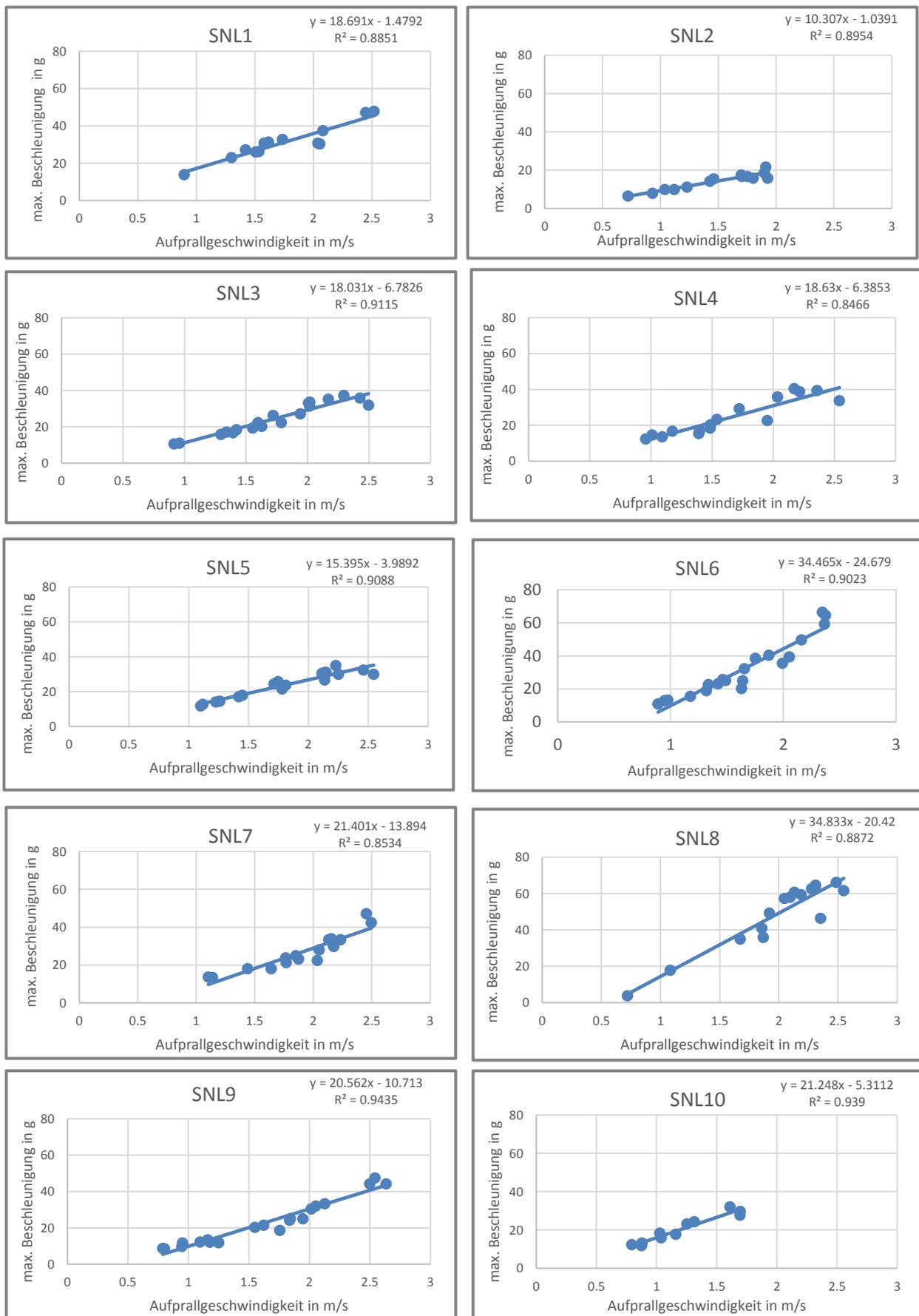
Gruppe 2: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Energierückgewinnung



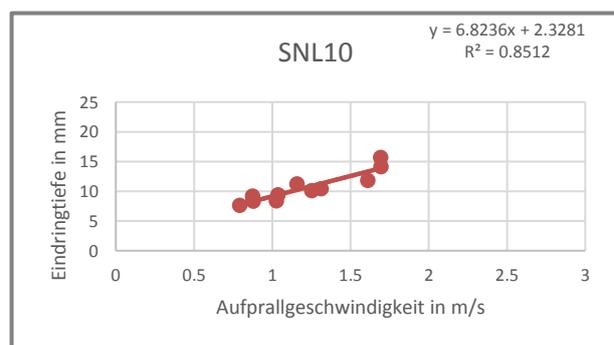
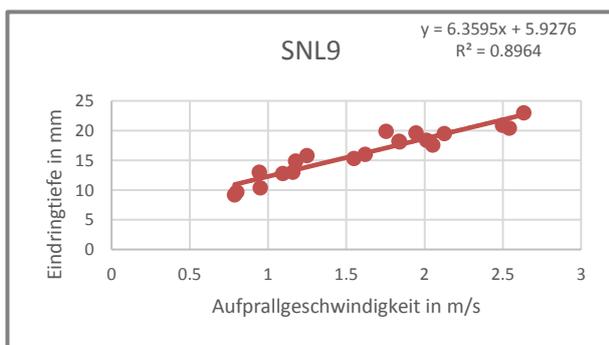
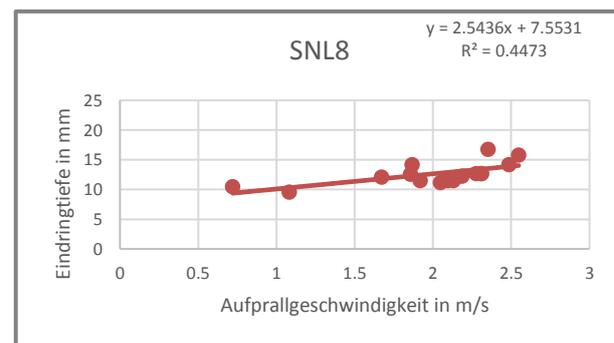
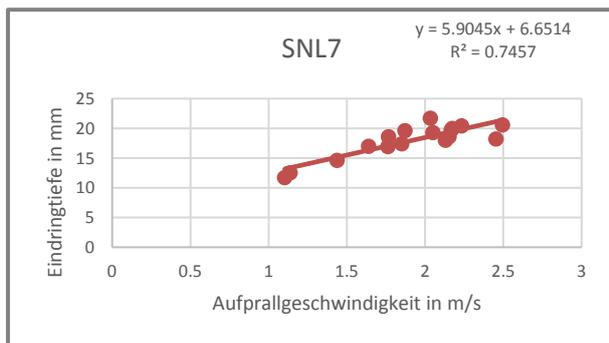
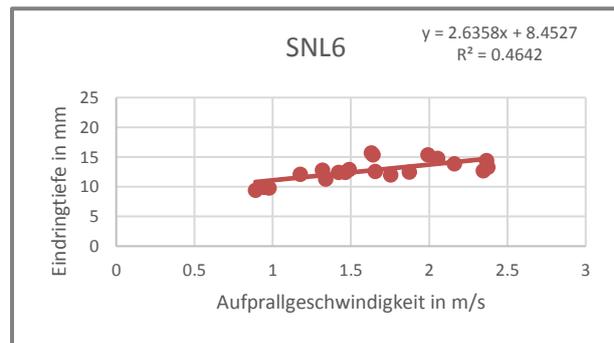
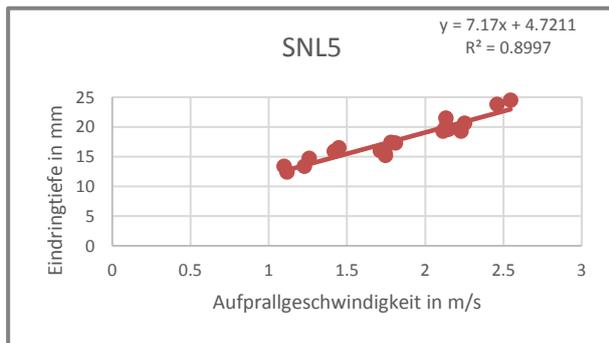
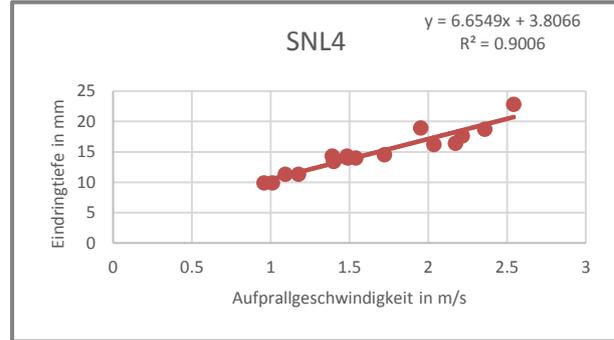
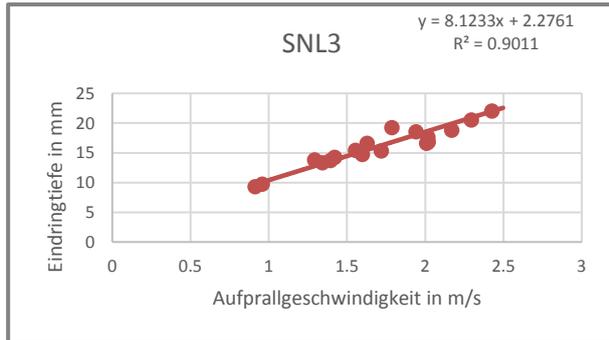
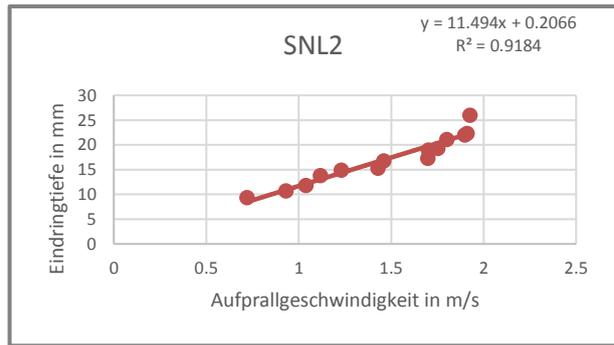
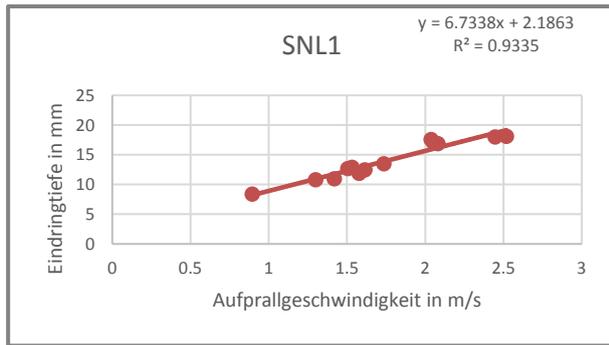
Gruppe 2: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Steifigkeit



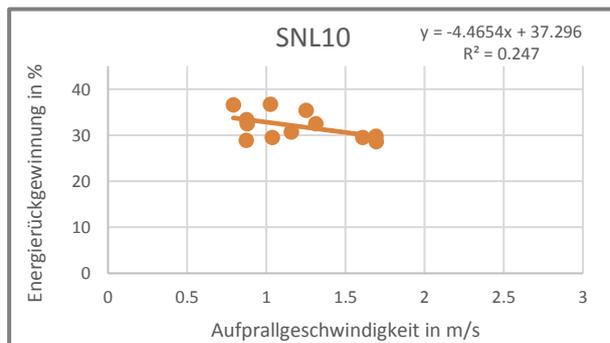
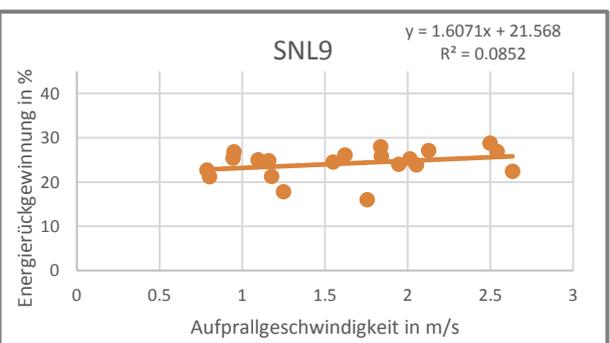
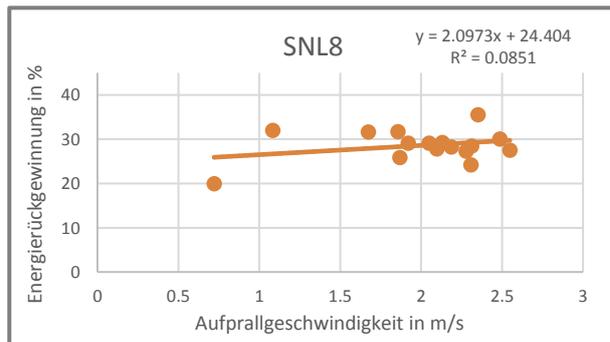
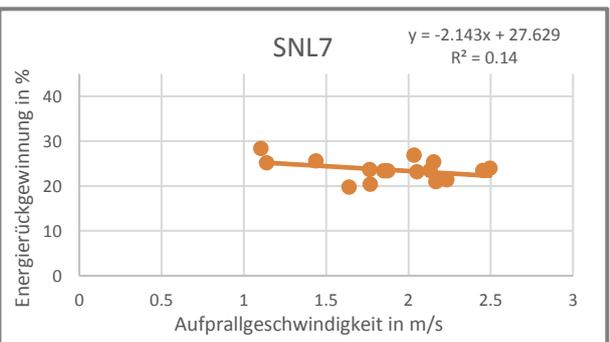
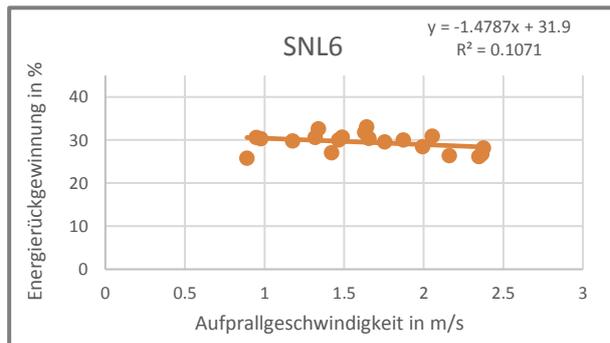
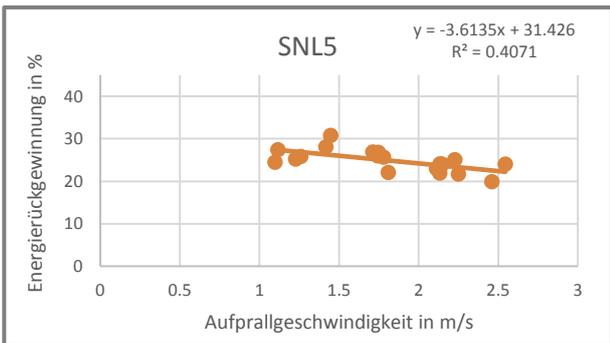
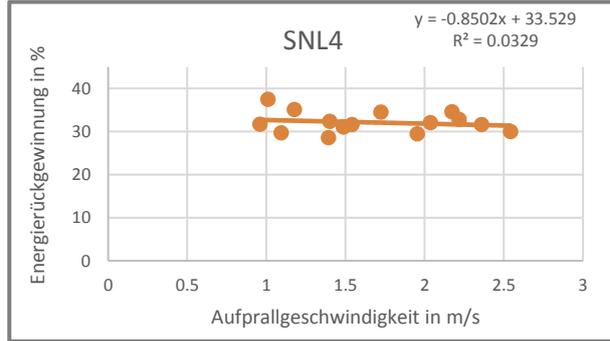
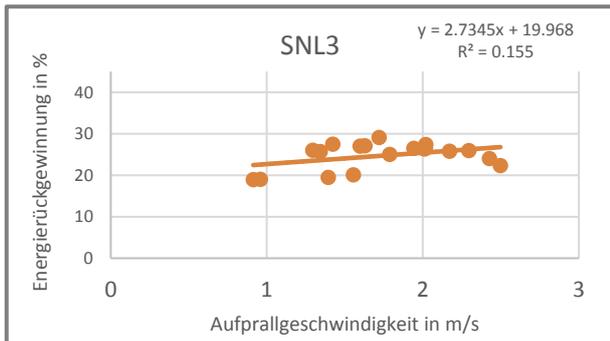
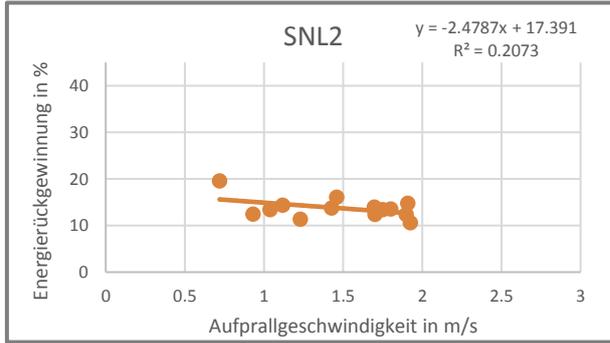
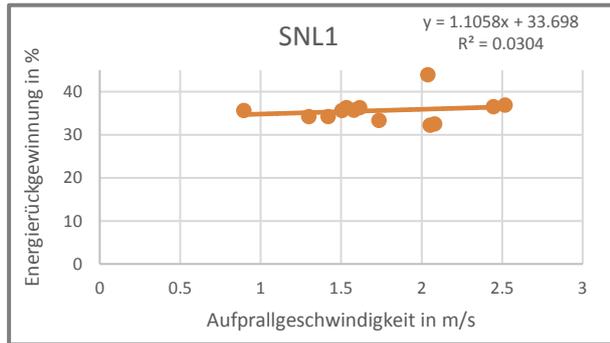
Gruppe 3: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und max. Beschleunigung



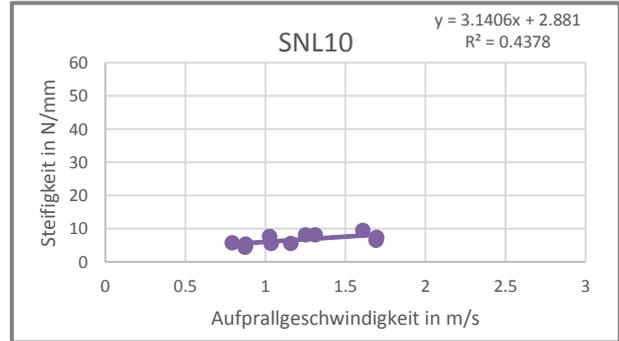
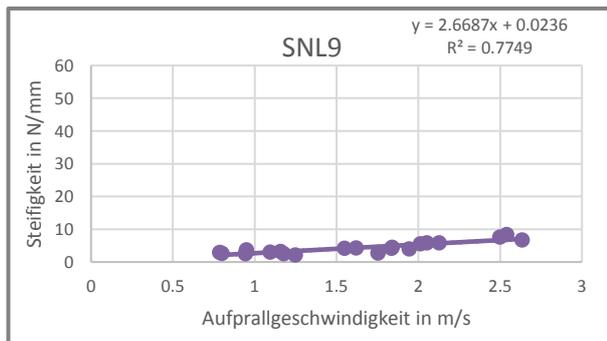
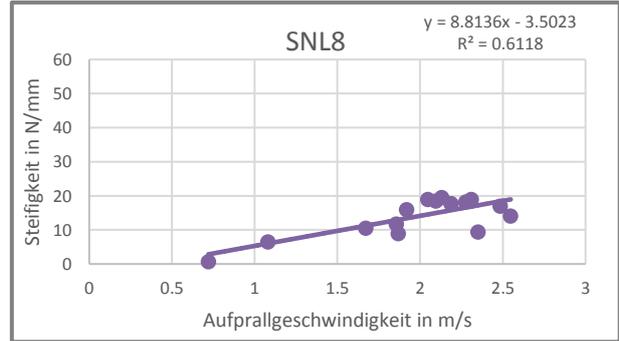
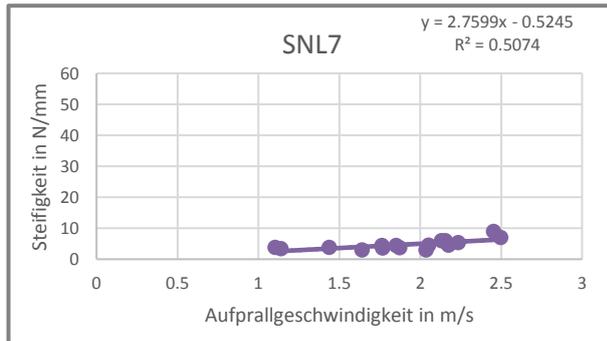
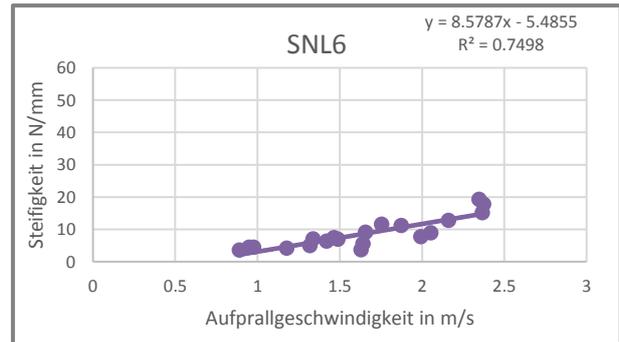
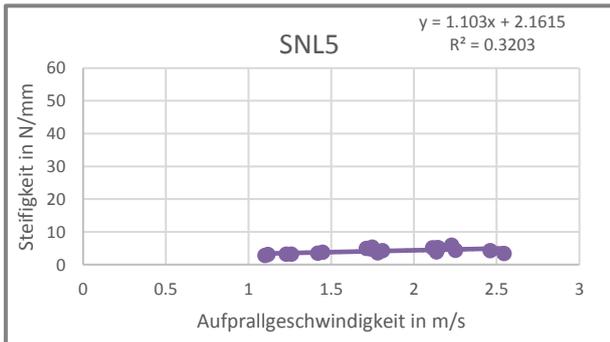
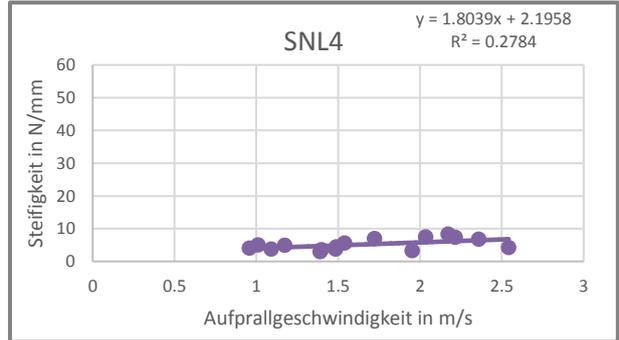
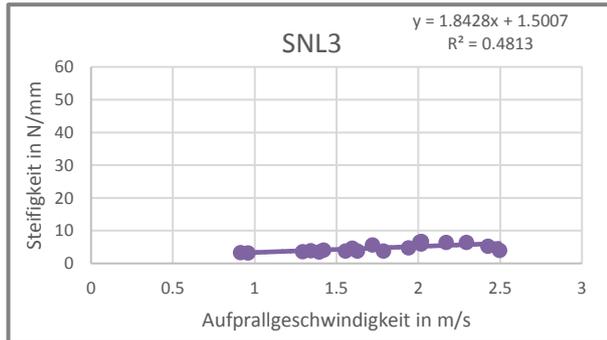
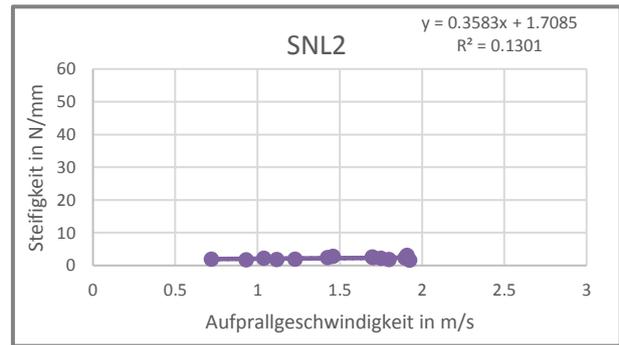
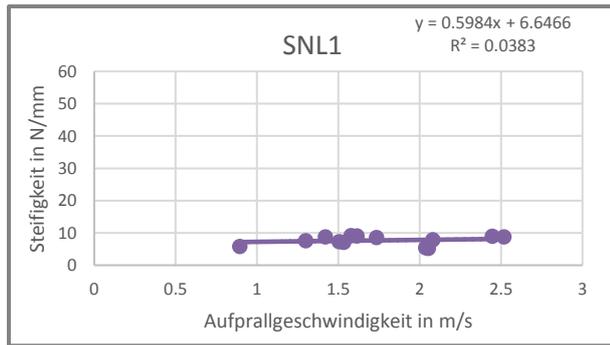
Gruppe 3: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Eindringtiefe



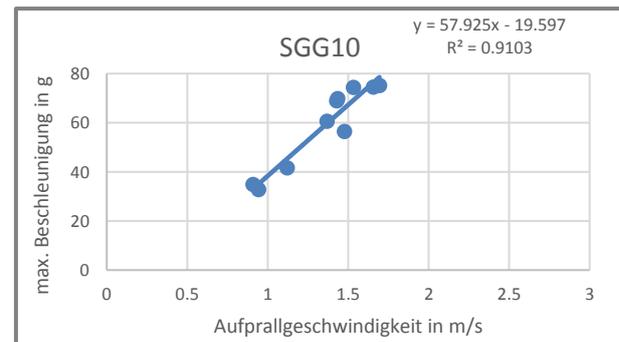
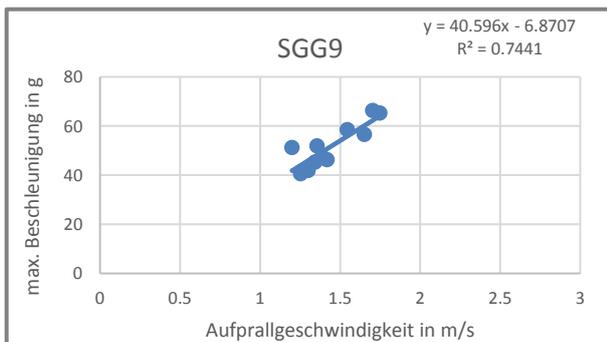
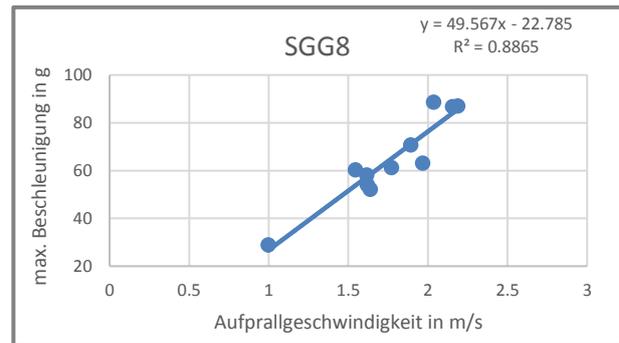
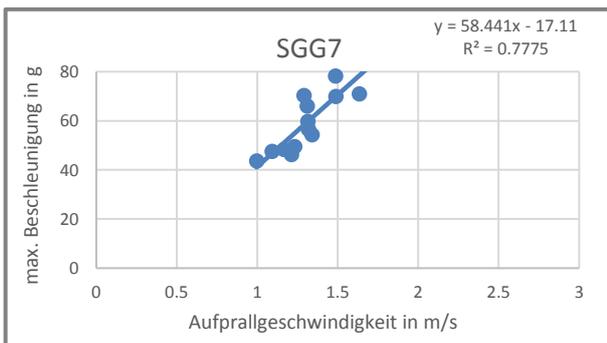
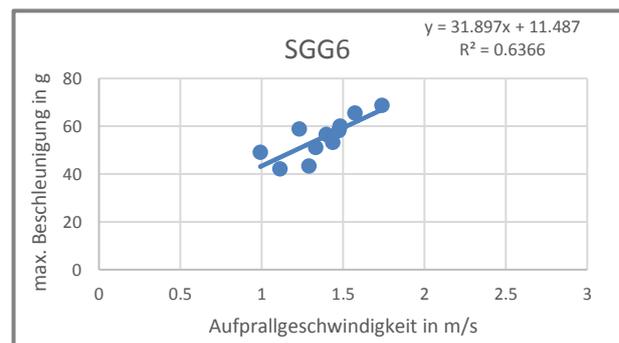
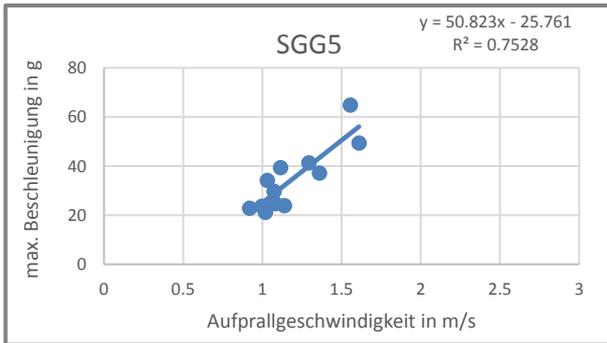
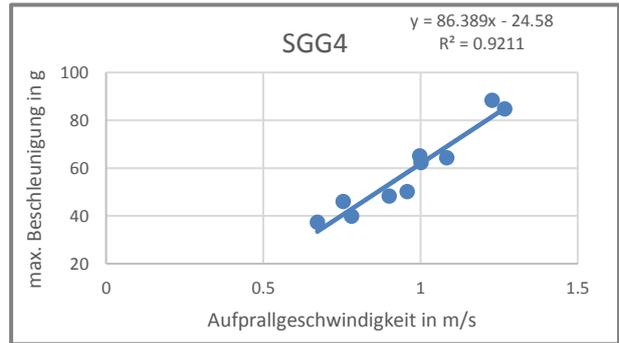
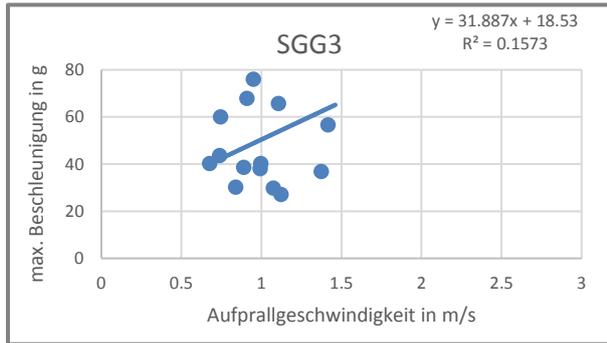
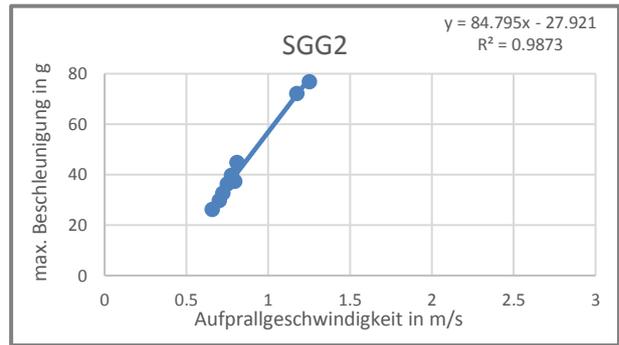
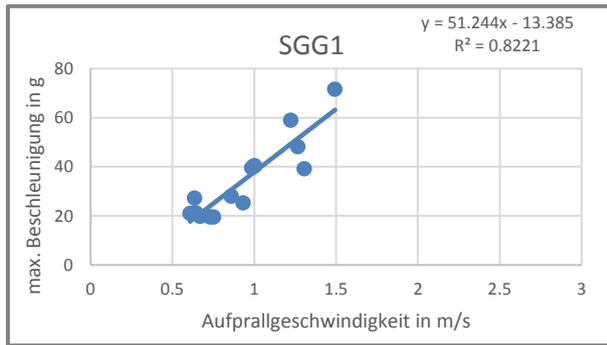
Gruppe 3: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Energierückgewinnung



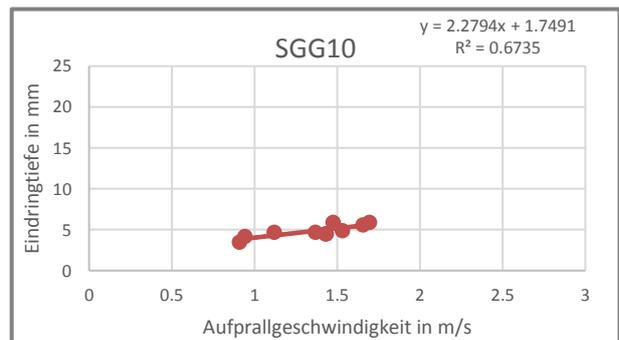
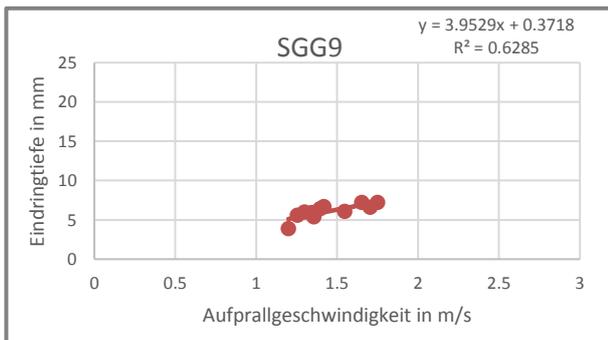
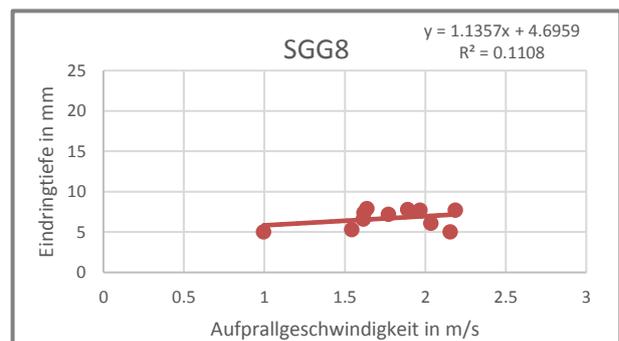
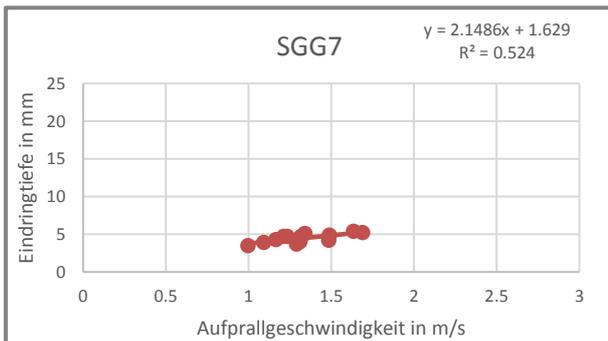
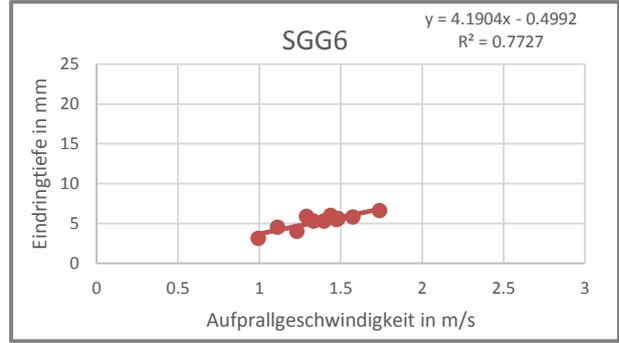
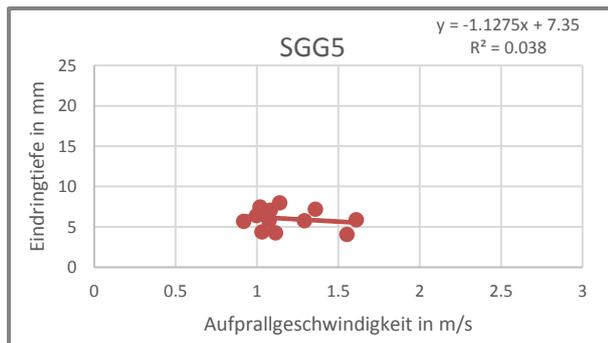
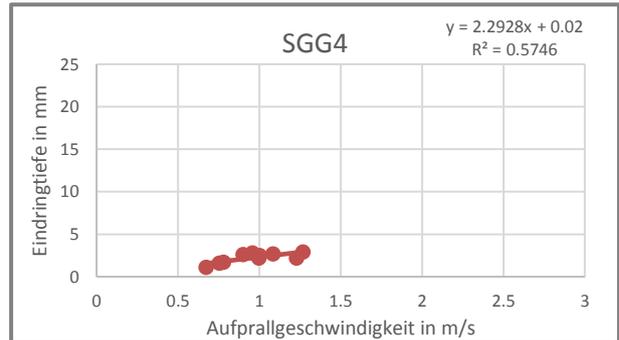
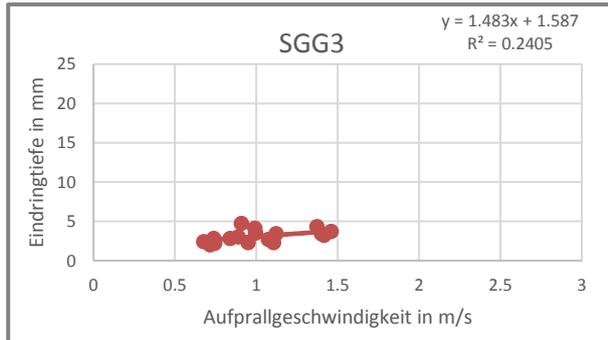
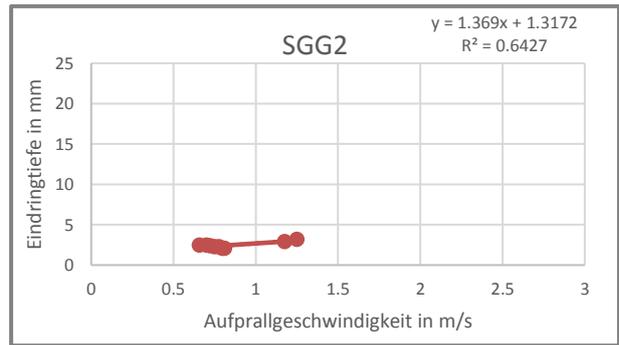
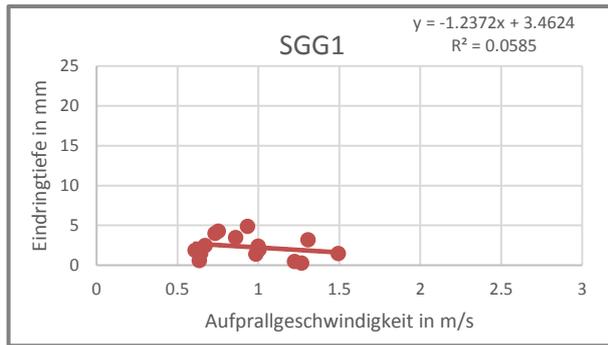
Gruppe 3: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Steifigkeit



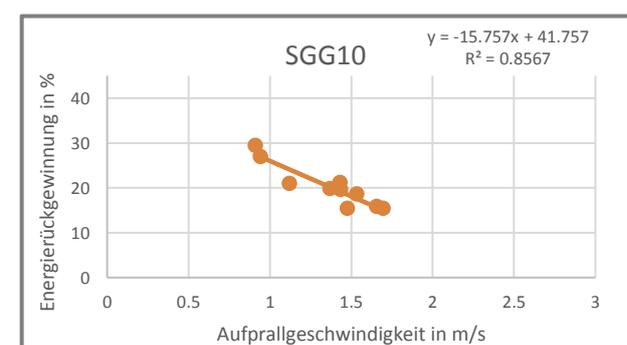
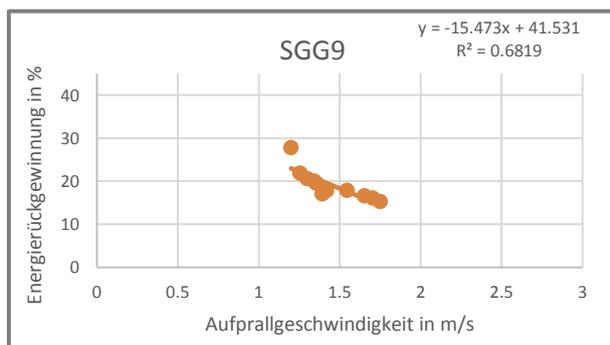
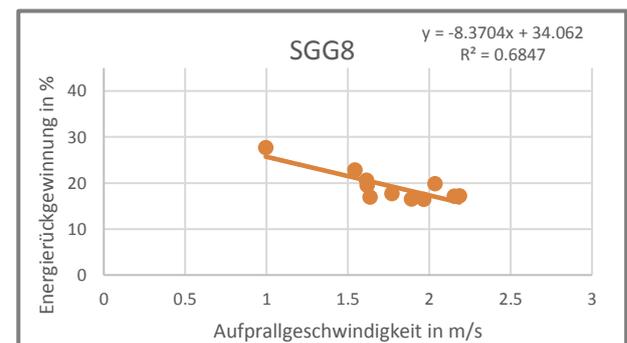
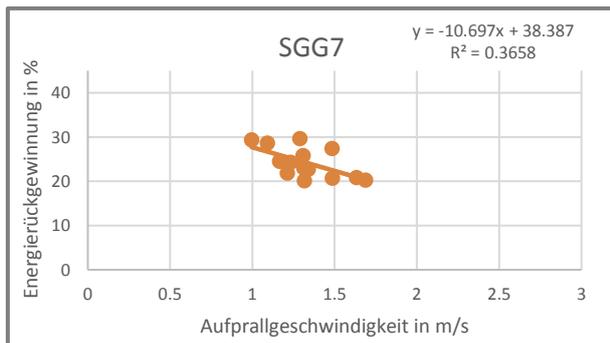
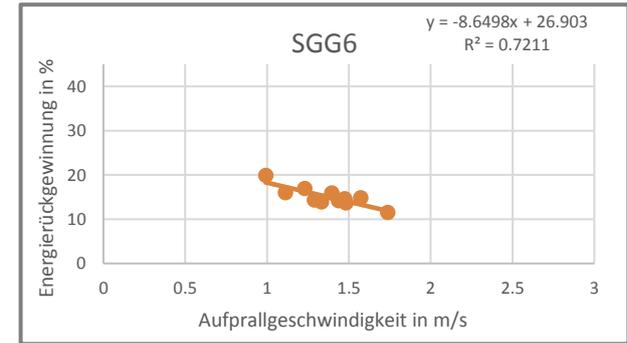
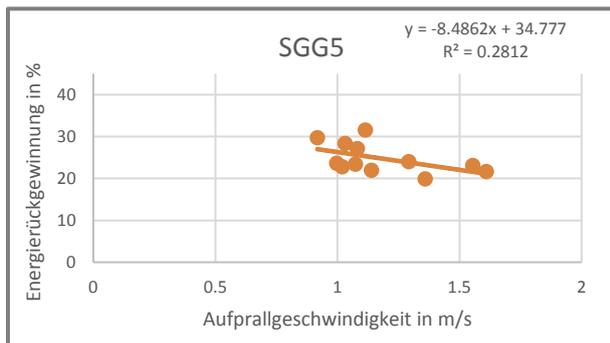
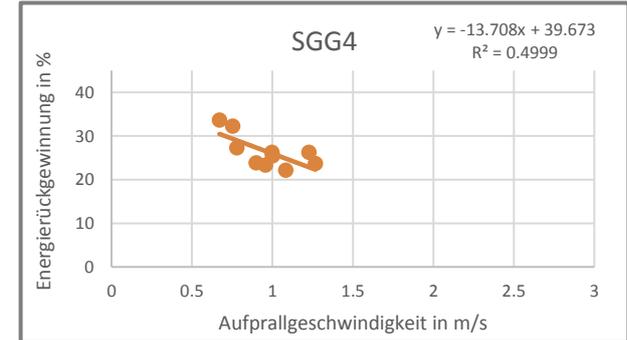
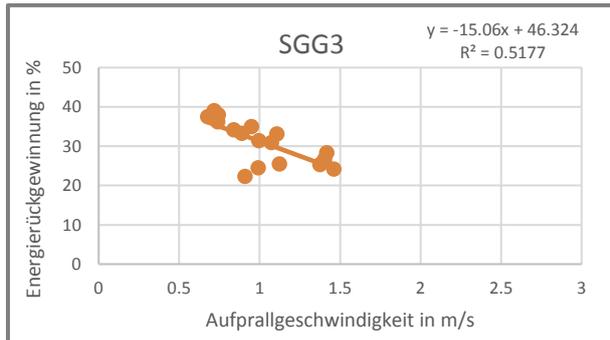
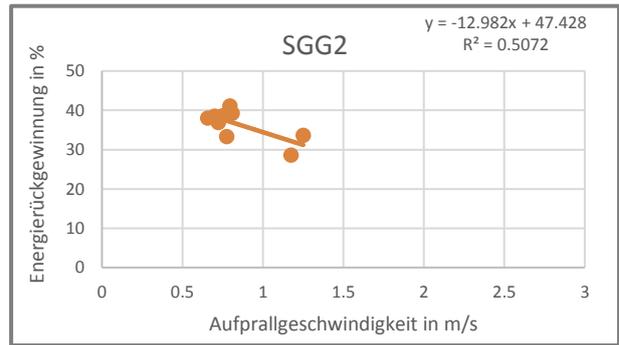
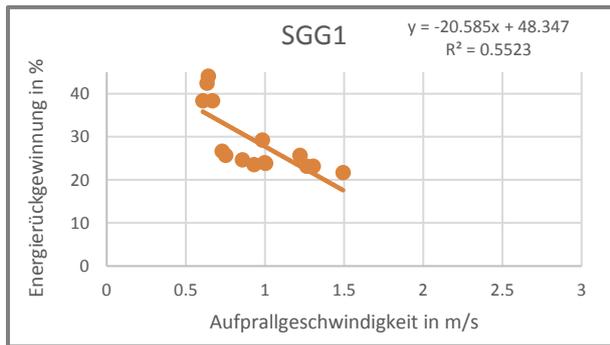
Gruppe 4: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und max. Beschleunigung



Gruppe 4: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Eindringtiefe



Gruppe 4: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Energierückgewinnung



Gruppe 4: Grafiken zur Aufprallgeschwindigkeit und Steifigkeit

