

Statistische Modellierungen zur Schätzung genetischer Parameter für das Merkmal Vielseitigkeit beim Deutschen Reitpferd

Henning Frevert

kassel
university



press

Henning Frevert

**Statistische Modellierungen
zur Schätzung genetischer Parameter
für das Merkmal Vielseitigkeit beim Deutschen Reitpferd**

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr. Sven König
Universität Kassel
Zweiter Gutachter: PD Dr. habil. Kathrin Friederike Stock
Vit Verden / Tierärztliche Hochschule Hannover

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Februar 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2016
ISBN 978-3-7376-0128-3 (print)
ISBN 978-3-7376-0129-0 (e-book)
URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0002-401293>

© 2016, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
2. Literaturübersicht	9
2.1 Vielseitigkeit.....	9
2.1.1 Reglement und Anforderungen in Vielseitigkeitsprüfungen	9
2.1.2 Aktuelle Bedeutung der Vielseitigkeit in Deutschland	12
2.1.3 Heritabilitäten von Vielseitigkeitsprüfungen	13
2.2 Besonderheit von Rangergebnissen	15
2.3 Reitpferdezucht in Deutschland	16
2.3.1 Stutenleistungsprüfungen in Deutschland	17
2.4 Hengstleistungsprüfungen in Deutschland	18
2.4.1 HLP-Reformen 2011, 2012 und 2015.....	18
2.4.2 HLP-Neukonzeption ab 2016	19
2.5 Heritabilität von Leistungsprüfungsmerkmalen	21
2.6 Integrierte Zuchtwertschätzung in Deutschland	23
2.6.1 Verbandsinterne Zuchtwertschätzung	26
2.7 Stutenstammsystematik verschiedener Pferdezüchtverbände	28
2.7.1 Trakehner Familienschlüssel	28
2.7.2 Holsteiner Stammnummern	29
2.7.3 Hannoveraner Stammcode	29
2.7.4 Stutenfamilien beim englischen Vollblut	29
2.8 Maternale Vererbung	30
2.8.1 Maternale Effekte	30
2.8.2 Mitochondriale Vererbung.....	30
2.9 Stammheritabilitäten verschiedener Tierarten	31
3. Material und Methoden	33
3.1 Daten.....	33
3.1.1 Datenmaterial Turniersportergebnisse.....	33
3.1.2 Verteilung der Turniersportergebnisse.....	35
3.1.3 Datenmaterial Hengstleistungsprüfung.....	43
3.1.4 Verteilung Hengstleistungsprüfungsergebnisse	43
3.1.5 Datenmaterial Pedigree	46
3.1.6 Pedigreeanalyse	47

3.1.7 Inzuchtkoeffizient.....	47
3.1.8 Vollblutanteil im Pedigree.....	48
3.1.9 Stutenstämme.....	49
3.2 Methoden	51
3.2.1 Programme.....	51
3.3 Merkmalsdefinitionen	52
3.3.1 Transformierter Rang.....	52
3.3.2 Gewichteter transformierter Rang	53
3.3.3 Binäre Merkmalskodierung.....	55
3.3.4 Mehrstufige Merkmalskodierung	55
3.4 Modelle	56
3.4.1 Lineare Modelle	57
3.4.2 Schwellenwertmodelle	59
3.4.3 Modell Hengstleistungsprüfung.....	61
3.5 Formeln.....	63
3.5.1 Berechnung Zuchtwerte.....	63
3.5.2 Berechnung Stammheritabilität.....	63
4. Ergebnisse	64
4.1 Signifikanztest mit „Proc Mixed“	64
4.2 Varianzkomponenten, Heritabilitäten und genetische Korrelationen.....	69
4.2.1 Schwellenwertmodelle	76
4.2.2 Modellvergleich Stutenstamm.....	84
4.3 Genetische Parameter der Hengstleistungsprüfungen	92
4.4 Vollblutanteil in Pedigree und Inzuchtkoeffizienten	104
4.4.1 Vollblutanteil als Einflussfaktor	104
4.4.2 Inzuchtkoeffizient als Einflussfaktor	107
4.5 Vorschläge zur Entwicklung einer Zuchtwertschätzung für Vielseitigkeit	110
4.5.1 Vorschlag 1:.....	110
4.5.2 Vorschlag 2:.....	111
4.5.3 Vorschlag 3:.....	112
5. Diskussion	114
5.1 Schätzung von genetischen Parametern	114
5.1.1 Heritabilitäten für Turniersporterfolge in der Vielseitigkeit.....	114
5.1.2 Genetische Korrelationen zwischen Merkmalen des Turniersports	117
5.2 Der Effekt des Reiters als Varianzkomponente	120

5.3 Vergleich verschiedener Merkmalsdefinitionen von Rangergebnissen.....	122
5.4 Stutenstammheritabilitäten für Merkmale der Vielseitigkeit	127
5.5 Vollblutanteil im Pedigree und Inzuchtkoeffizienten	129
5.5.1 Einfluss des Vollblutanteils im Pedigree auf den Erfolg in Vielseitigkeitsprüfungen	129
5.5.2 Einfluss des Inzuchtkoeffizienten auf Turniersportergebnisse.....	131
5.6 Beziehungen von Merkmalen der Vielseitigkeit zu Hengstleistungs- prüfungsmerkmalen	133
5.7 Entwicklung einer Zuchtwertschätzung für Vielseitigkeit	135
6. Zusammenfassung	142
7. Summary	144
8. Anhang	146
9. Tabellenverzeichnis	150
10. Abbildungsverzeichnis	155
11. Literaturverzeichnis	157

Abkürzungsverzeichnis

ABP	Aufbauprüfung
BLUP	Best Linear Unbiased Prediction
Bzw.	Beziehungsweise
CCI	Concours complet internationale
CIC	Concours International Combiné
FN	Deutsche Reiterliche Vereinigung
FEI	Fédération Equestre Internationale
Genet.	Genetisch
GTR	Gewichteter transformierter Rang
HLP	Hengstleistungsprüfung
LPO	Leistungsprüfungsordnung
Max	Maximum
Min	Minimum
TR	Transformierter Rang
TSP	Turniersport
Vi	Vielseitigkeit international
Vn	Vielseitigkeit national

1. Einleitung

In den letzten Jahren mehren sich die Erfolge deutscher Vielseitigkeitsreiter auf zumeist auch deutschen Pferden. So gewannen die deutschen Vielseitigkeitsreiter, neben diversen Einzelmedaillen, Team-Gold bei den Olympischen Spielen 2012 in London, bei der Weltmeisterschaft 2014 sowie bei den Europameisterschaften 2011, 2013 und 2015. Dadurch ist sowohl das Interesse an der Disziplin Vielseitigkeit als auch das Käuferinteresse an deutschen Vielseitigkeitspferden im In- und Ausland stetig gewachsen. Daraus ergibt sich bei ansonsten rückläufigen Verkaufs - und Bedeckungszahlen (FN, 2014) eine positiv zu bewertende Absatzchance, einhergehend mit steigenden Verkaufszahlen und Erlösen für die deutsche Pferdezucht.

Diese positiven Tendenzen und die damit verbundenen Möglichkeiten und Erfolge sind der individuellen Arbeit ambitionierter Züchter zu verdanken: Es fehlen für die Zucht von Vielseitigkeitspferden züchterische Strategien und Strukturen zur Selektion potentieller Elterntiere, wie sie in der Dressur- und Springpferdezucht seit 2001 zum Beispiel in Form der Integrierten Zuchtwertschätzung angewendet werden.

Entgegen dem allgemeinen Zuchtziel für deutsche Reitpferde, ein für jeden Reitzweck geeignetes Pferd zu züchten, nimmt in den letzten Jahren die Spezialisierung der Zucht auf eine spätere Eignung als Dressur- oder Springpferd immer weiter zu. Der überwiegende Teil der Zuchtverbände bezieht sich in ihren Zuchtzielen durchaus auf die Vielseitigkeit, was sich aber nicht in den Zuchtprogrammen und den Selektionsstrategien widerspiegelt (Koenen *et al.*, 2004). Eine von Seiten der deutschen Zuchtverbände unterstützte bzw. initiierte Selektion von Pferden für den Vielseitigkeitssport findet mit Ausnahme des 2012 in Baden-Württemberg ins Leben gerufene „Buschprogramms“ nicht statt. Zwar wurde bis 2016 in Deutschland im Rahmen der Hengstleistungsprüfung (HLP) eine Geländeprüfung durchgeführt, aber die Ergebnisse aus HLP und Turniersport nicht zur Berechnung von Zuchtwerten in Hinblick auf die Eignung „Vielseitigkeit“ herangezogen. Anders hingegen in Frankreich wo seit 1999 in der offiziellen Zuchtwertschätzung für Reitpferde auch die Ergebnisse aus Vielseitigkeitsprüfungen berücksichtigt werden (Dubois und Ricard, 2007).

Die Steigerung des öffentlichen Interesses am Vielseitigkeitssport, die aktuellen Erfolge von Pferden mit deutscher Herkunft, der Zuwachs aktiver Reiter innerhalb dieser Reitsportsparte und letztlich die damit einhergehende Steigerung der Absatzmöglichkeiten für vielseitig veranlagte Pferde sollte Anstoß sein, um eine Selektionsgrundlage für ein bundesweites Programm zur Zucht von Vielseitigkeitspferden zu legen. Die Zuchtwertschätzung Vielseitigkeit ist dafür ein wichtiges Instrument. Denn nur wenn auch die Zucht von Vielseitigkeitspferden eine angemessene Beachtung erfährt, wird sich in Zukunft der Ruf der deutschen Pferdezucht als Garant für erfolgsversprechende Sportpferde weiterhin ausbauen und halten – und nicht zuletzt auch das Potential des Wirtschaftszeig Pferdezucht (in Deutschland) steigern lassen.

Eine entsprechende Grundlage, um die Zuchtwertschätzung auch in der Vielseitigkeit zu etablieren, wird durch diese Arbeit mit der Schätzung von Erblichkeiten und genetischen Korrelationen zu anderen Merkmalen des Reitsports sowie Vorschlägen zur Einbindung in die Zuchtprogramme gelegt.

2. Literaturübersicht

2.1 Vielseitigkeit

Die Vielseitigkeit (international offiziell „Concours Complet“, im Englischen „Eventing“) ist eine von drei olympischen Reitsportdisziplinen. Sie besteht aus den drei Teilprüfungen Dressur, Gelände und Springen und erfordert damit vom Reiter umfangreiche Erfahrungen in allen Bereichen des Reitsports. Ursprünglich entstand die Vielseitigkeit aus militärischen Geländeritten, bei denen die Ausdauerleistung stark im Vordergrund stand. Schon 1912 wurde die Vielseitigkeit Disziplin bei den olympischen Spielen in Stockholm und war damals noch ausschließlich Offizieren vorbehalten. Nach mehreren Anpassungen und Reformen zur Steigerung der Sicherheit wird sie, seit dem Wegfall von Rennbahn und Wegestrecke als Komponenten der Geländeprüfung im Jahr 2004, in der jetzigen Form ausgetragen (FN, 2015a; FEI, 2016).

2.1.1 Reglement und Anforderungen in Vielseitigkeitsprüfungen

Es wird zwischen nationalen und internationalen Prüfungen unterschieden. Für das Reglement nationaler Prüfungen ist in Deutschland die Deutsche Reiterliche Vereinigung (FN) verantwortlich, international werden die Durchführungsbestimmungen und Anforderungen durch die Fédération Equestre Internationale (FEI) festgelegt. Es werden auch internationale Prüfungen in Deutschland nach FEI-Richtlinien durchgeführt.

Im nationalen Bereich können Stilgeländeritte, Geländeritte, Vielseitigkeitsprüfungen und große Vielseitigkeitsprüfungen ausgeschrieben werden. Vielseitigkeitsprüfungen und große Vielseitigkeitsprüfungen umfassen die Teilprüfungen Dressur, Gelände und Springen. Dabei ist die Teilprüfung Dressur immer als erste Teilprüfung durchzuführen, die Teilprüfungen Gelände und Springen können dann in beliebiger Reihenfolge stattfinden. Zusätzlich sind Verfassungsprüfungen zur tierärztlichen Untersuchung des Pferdes vor der Dressurteilprüfung und nach der Geländeteilprüfung durchzuführen (FN, 2013). Beispielhaft sind in Tabelle 1 die Anforderungen für die Geländeteilprüfung der nationalen Vielseitigkeitsprüfungen zusammengestellt.

Für die Dressurteilprüfungen gibt es spezielle Aufgaben, für die Teilprüfungen Springen sind die Anforderungen in der Leistungsprüfungsordnung (LPO) festgelegt, z.B. beträgt die maximale Sprunghöhe in Vielseitigkeitsprüfungen der Klasse S 1,25m (FN, 2013).

Tab. 1: Anforderungen der Geländeprüfung abhängig vom Prüfungsniveau bei nationalen Prüfungen (FN, 2013).

Vielseitigkeit der Klasse	Streckenlänge in m	Tempo m/min	Sprünge max		Max. Weiten in m	
			Anzahl	Höhe in m	Im oberen Teil	An der Basis
E	1000 - 2000	450	12 - 15	0,90	1,00	1,50
A	1500 - 3000	500	16 - 25	1,00	1,20	1,80
L	2400 - 3200	520	24 – 32	1,10	1,40	2,10
M	2800 - 3600	550	28 - 36	1,15	1,60	2,40
S	3200 - 4000	570	32 - 40	1,20	1,80	2,70

In internationalen Vielseitigkeitsprüfungen wird zwischen großen Vielseitigkeitsprüfungen oder auch „Concours complet internationale“ (CCI) und Kurzprüfungen oder „Concours International Combiné“ (CIC) unterschieden. Große Vielseitigkeitsprüfungen (CCI) finden immer an mindestens drei Tagen statt. Die Reihenfolge der Teilprüfungen mit der Dressur als erstem Teil gefolgt von der Geländeprüfung und dem Springen ist vorgeschrieben. Kurzprüfungen (CIC) können an einem oder mehreren Tagen durchgeführt werden und müssen mit der Dressur beginnen. Die Geländeteilprüfung kann nach dem Springen angesetzt werden (FEI, 2015a). Der Schwierigkeitsgrad der Prüfungen wird durch die Anzahl der Sterne ausgedrückt und reicht von einem Stern, was ungefähr Klasse L in nationalen Prüfungen entspricht, bis zu vier Sternen. Auf Vier-Sterne-Niveau finden jährlich weltweit lediglich sechs Prüfungen statt. Die Veranstaltungsorte sind Badminton (England), Burghley (England), Lexington (Kentucky, USA), Adelaide (Australien), Luhmühlen (Deutschland) und Pau (Frankreich) (FEI, 2015b). In Tabelle 2 sind die Anforderungen in den Geländeteilprüfungen auf internationalem Niveau dargestellt.

Tab. 2: Anforderungen der Geländeprüfung abhängig vom Prüfungsniveau bei internationalen Prüfungen (FEI,2015a).

Prüfungsniveau	Länge der Strecke in m	Anzahl Hindernisse	Geschwindigkeit in m/min	Erlaubte Zeit in min
CIC*	2600 - 3120	25 - 30	520	5 - 6
CCI*	3640 - 4680	25 - 30	520	7 - 9
CIC**	3025 - 3575	27 - 32	550	5,5 - 6,5
CCI**	4400 - 5500	30 - 35	550	8 - 10
CIC***	3420 - 3990	30 - 35	570	6 - 7
CCI***	5700 - 6270	35 - 40	570	10 - 11
CCI****	6270 - 6840	40 - 45	570	11 - 12

Die Bewertungsverfahren für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen sind vergleichbar. Die vergebenen Noten in der Teilprüfung Dressur werden anhand der maximal erreichbaren Punkte/Noten in Prozentpunkte umgerechnet. Die resultierenden Strafpunkte werden durch das Abziehen der erreichten Prozentpunkte von 100 und dem anschließenden Multiplizieren mit 1,5 errechnet. Dementsprechend wären -30 Punkte ein sehr gutes Resultat. Dieses Ergebnis kann in den folgenden Teilprüfungen nur gehalten oder verschlechtert werden. Bei strafpunktfreien Ritten bleiben die Punkte bestehen, in der Teilprüfung Gelände können Strafpunkte durch Hindernisfehler (-11), Verweigerungen (1. Mal: -20; 2. Mal: -40) oder Zeitüberschreitung (-0,4 pro sec.), in der Teilprüfung Springen durch Abwürfe (-4), Verweigerungen (1. Mal: -4; 2. Mal: -8) und Zeitüberschreitungen (-1 pro sec.) hinzukommen. Stürze führen zum Ausschluss. Sieger ist das Pferd-Reiter-Paar mit den geringsten Strafpunkten. Bei Team-Wettbewerben gewinnt das Team mit den wenigstens Strafpunkten nach Addition der Ergebnisse der besten drei Teamreiter (FN, 2013; FEI, 2015a).

2.1.2 Aktuelle Bedeutung der Vielseitigkeit in Deutschland

Im Vergleich mit den Disziplinen Dressur und Springen spielt die Vielseitigkeit in Deutschland hinsichtlich ihrer Verbreitung eine eher untergeordnete Rolle. Während der Anteil der Prüfungen jeweils über die Jahre nahezu unverändert bleibt, kann für die Starts jeweils ein leichter Anstieg festgestellt werden. Im Jahr 2014 wurden 2,1% des gesamten Preisgeldes aller Disziplinen in der Vielseitigkeit ausgeschüttet (FN, 2014). In der Tabelle 3 sind die Anteile der Prüfungen bzw. Starts der Vielseitigkeits- und Geländepferdeprüfungen an der Gesamtverteilung der Prüfungen und Starts auf die Disziplinen dargestellt, die im Zeitraum 2008 – 2014 stattgefunden haben.

Tab. 3: Anteil der Vielseitigkeits-/Geländeprüfungen bzw. Geländepferde-/Jagdpferdeprüfungen an den Prüfungen und Starts insgesamt für die Jahre 2008 bis 2014 (FN, 2010a, 2012 und 2014).

Jahr	Vielseitigkeits-/ Geländeprüfungen		Geländepferde-/ Jagdpferdeprüfungen	
	Anteil Prüfungen	Anteil Starts	Anteil Prüfungen	Anteil Starts
2008	1,38%	1,41%	0,29%	0,19%
2009	1,39%	1,46%	0,29%	0,21%
2010	1,38%	1,47%	0,29%	0,23%
2011	1,34%	1,43%	0,30%	0,23%
2012	1,28%	1,38%	0,32%	0,27%
2013	1,38%	1,48%	0,29%	0,26%
2014	1,41%	1,50%	0,30%	0,28%

Unter Berücksichtigung der auf Championaten wie Europa- und Weltmeisterschaften sowie Olympischen Spielen gewonnenen Medaillen der letzten Jahre sind die deutschen Vielseitigkeitsreiter aber besonders erfolgreich. In der Rangliste der World Breeding Federation for Sport Horses (WBFSH) standen für die Vielseitigkeit sowohl drei deutsche Pferde auf den Plätzen eins bis drei, als auch sechs deutsche Pferdezuchtverbände unter den Top-Ten (WBFSH, 2015). Auch die Weltrangliste der Vielseitigkeitsreiter wird 2015 von dem deutschen Reiter Michael Jung angeführt (FEI, 2015c).

2.1.3 Heritabilitäten von Vielseitigkeitsprüfungen

Nur wenige wissenschaftliche Arbeiten sind zu züchterischen Aspekten der Vielseitigkeit durchgeführt worden, die durch die Kombination der Teilprüfungen Dressur, Springen und Gelände zudem eine Sonderrolle einnimmt.

In Studien aus England, Frankreich und Schweden konnten Heritabilitäten für das Merkmal Erfolg in einer Vielseitigkeitsprüfung abhängig von der Merkmalsdefinition (Rang, Gewinnsumme oder erreichte Punktzahl) zwischen 0,06 und 0,17 geschätzt werden (Ray, 2012; Kearsly, 2008; Ricard und Chanu, 2001). Für die Teildisziplinen wurden Heritabilitäten von 0,09 bis 0,11 für die Teilprüfung Dressur, von 0,08 bis 0,23 für die Teilprüfung Springen und von 0,02 bis 0,03 für die Teilprüfung Gelände abhängig von der Prüfungsklasse geschätzt (Kearsly, 2008). Für ausgewählte Prüfungen der Klasse L in Deutschland konnten Heritabilitäten für die Teilprüfungen Dressur ($h^2= 0,16$), Springen ($h^2= 0,05$) und Geländeprüfung ($h^2= 0,12$) von Butler und Pirchner (1988) geschätzt werden. Unter Verwendung der logarithmierten Gewinnsumme der Platzierung wurde eine Heritabilität von 0,11 für die Vielseitigkeit geschätzt (Meinardus, 1988). In nachfolgender Tabelle 4 sind Literaturwerte der Heritabilitäten von Vielseitigkeitsprüfungen mit der jeweiligen Merkmalsdefinition zusammengestellt. Die zusammengestellten Schätzwerte lassen sich nicht eins zu eins auf die deutsche Reitpferdepopulation übertragen, aber sie bilden die Grundlage für Vergleiche und Einordnungen der Ergebnisse der angestrebten Studie.

Tab. 4: Übersicht über Literaturwerte zur Heritabilität von Vielseitigkeitsprüfungen.

Autoren	Verwendete Merkmalsdefinitionen	Heritabilitäten
Paustian (2012)	Transformierter Rang	0,06
Ray (2012)	Logarithmierte Punkte	0,12
	Logarithmierter Rang	0,16
	Punkte pro Platzierung	0,06
Steward <i>et al.</i> (2012)	Normalisierte Strafpunkte für Teilprüfung Gelände	0,003 bis 0,039
Kearsley (2008)	Normalisierte Strafpunkte	0,05 bis 0,07
Ricard und Chanu (2001)	Logarithmierte jährliche Gewinnsumme Rang	0,11 bis 0,17 0,07
Meinardus (1988)	Logarithmierte Gewinnsumme der Platzierung	0,11

Erste Auswertungen von Rangergebnissen aus Turniersportdaten in Hinblick auf eine Zuchtwertschätzung Vielseitigkeit in Deutschland wurden im Rahmen der Masterarbeit von Margit Paustian an der Universität Göttingen durchgeführt. Die geschätzte Heritabilität für Vielseitigkeit von 0,06 bestätigt die Ergebnisse aus Frankreich und England. Zudem wurde eine Varianzkomponentenschätzung für additiv-genetische Komponenten, den Reitereffekt sowie für die permanente Umwelt mittels eines Ein-Merkmals-Modells durchgeführt (Paustian, 2010).

2.2 Besonderheit von Rangergebnissen

In der Tierzucht unterscheiden sich Rangergebnisse als Merkmal von anderen Leistungsmerkmalen auf Grund der kategorialen Datenstruktur, außerdem ist keine Leistungssteigerung über den ersten Platz hinaus möglich (Anthe *et al.*, 2015). Hauptsächlich finden sie Verwendung im Bereich der Pferdezucht als Ergebnis von Trab- oder Galopprennen oder von Turniersportprüfungen, aber auch Tierschauen, auf denen eine Rangierung durch eine Jury vorgenommen wird, liefern Rangergebnisse.

Rangergebnisse sind relative Leistungen eines Pferdes in Abhängigkeit der Leistungen der im gleichen Wettbewerb gestarteten Konkurrenz (Ricard und Legarra, 2010). Eine Platzierung oder Rangierung drückt somit den relativen Wert eines Tieres hinsichtlich einer zugrunde liegenden normalverteilten Variablen aus (Travenier, 1990). Vereinfachend wird durch die Transformation des Ranges durch einen Logarithmus oder eine Wurzel ein normalverteiltes, lineares Merkmal unterstellt (Ricard und Legarra, 2010). Transformierte Rangergebnisse werden in der europäischen Sportpferdezucht verbreitet zur Schätzung von Zuchtwerten verwendet (Ruhlmann *et al.*, 2009). Ein Vorteil bei der Verwendung des transformierten Ranges gegenüber der logarithmierten Gewinnsumme als Merkmal liegt in der Leistungserfassung aller gestarteten Pferde, während nur die ca. 25% platzierten Starter einer Prüfung eine Gewinnsumme erhalten und dadurch eine unerwünschte Vorselektion entsteht (Hassenstein *et al.*, 1999). Beispiele von Heritabilitäten für Reitsportdisziplinen bieten die Tabellen 4 und 6. Für das Rangergebnis in Galopprennen von Vollblütern in Spanien schätzte Chico (1994) Heritabilitäten von 0,07 bis 0,10.

Hinsichtlich möglicher Schauerfolge der Nachkommen können Rangierungen von Tierschauen als Selektionsinstrument für Bullen zur gezielten Anpaarung eine Rolle spielen (Anthe *et al.*, 2015). Für Rangergebnisse von Holsteinkühen auf Tierschauen schätzten Anthe *et al.* (2015) Heritabilitäten für den Rang von 0,21 bis 0,24 im linearen Modell und von 0,27 bis 0,31 im Schwellenwertmodell mit binärer Merkmalskodierung.

Alternativ wurde ein vollständiger Bayes-Ansatz zur Schätzung von Varianzkomponenten der Rangergebnisse von Gianola und Simianer (2006) vorgeschlagen. Da Gama *et al.* (2014) schätzten unter Anwendung eines Thurstonian Modells bei Rangergebnissen von Tierschauen bei Gir Zebus (Milchtyp) in Brasilien Heritabilitäten für den Rang von 0,21 bei einer Wiederholbarkeit von 0,63.

2.3 Reitpferdezucht in Deutschland

Die Zucht erfolgt in allen der Deutschen Reiterlichen Vereinigung angeschlossenen Zuchtverbänden nach dem Prinzip der Zuchtverbandsordnung (ZVO). Laut ZVO müssen die Zuchtprogramme der Zuchtverbände das Zuchtziel, Leistungsprüfungen, Eintragungskriterien, den Umfang der Zuchtpopulation sowie die Zuchtmethode umfassen (ZVO (2014)).

Für die deutschen Reitpferdezuchtverbände gilt das 1975 formulierte, aber nachfolgend modifizierte, Rahmenezuchtziel:

„Gezüchtet wird ein edles, großliniges und korrektes, gesundes und fruchtbares Pferd mit schwungvollen, raumgreifenden, elastischen Bewegungen, das aufgrund seines Temperamentes, seines Charakters und seiner Rittigkeit für Reitzwecke jeder Art geeignet ist.“ (Haring, 2005).

Die einzelnen Zuchtverbände formulieren ihre jeweiligen Zuchtziele auf Basis des Rahmenezuchtziels. Das Zuchtprogramm bietet den Rahmen zur Selektion innerhalb der Populationen. Nachfolgend werden die vier zeitlich aufeinander folgenden Selektionsstufen in der deutschen Reitpferdezucht beschrieben und in der Abb. 1 dargestellt.

Die erste Stufe bildet die Fohlenbeurteilung bei Fuß der Mutter, es werden der Typ, das Exterieur und die Grundgangarten bewertet. Die weiteren Selektionsstufen auf Seite der Hengste sind die Körung (2. Stufe) und die Hengstleistungsprüfung bzw. der Veranlagungstest in Kombination mit dem Turniersport (3. Stufe).

Auf Seiten der Stuten folgen die Stutbuchaufnahme und die Stutenleistungsprüfung als Selektionsstufen zwei und drei. Bei Stutbuchaufnahmen erfolgt ebenfalls eine Bewertung von Exterieur und Grundgangarten, bei Körungen wird zusätzlich noch das Freispringen und teilweise ein Longieren durchgeführt. In den Leistungsprüfungen für Hengste oder Stuten werden die Reiteignung und das Freispringen der jungen Pferde geprüft. Eine Alternative oder Ergänzung dazu stellt der Turniersport dar. Die vierte Selektionsstufe ist dann die Zuchtwertschätzung, in die Informationen aus der dritten Selektionsstufe einfließen (Haring, 2005; ZVO, 2014).

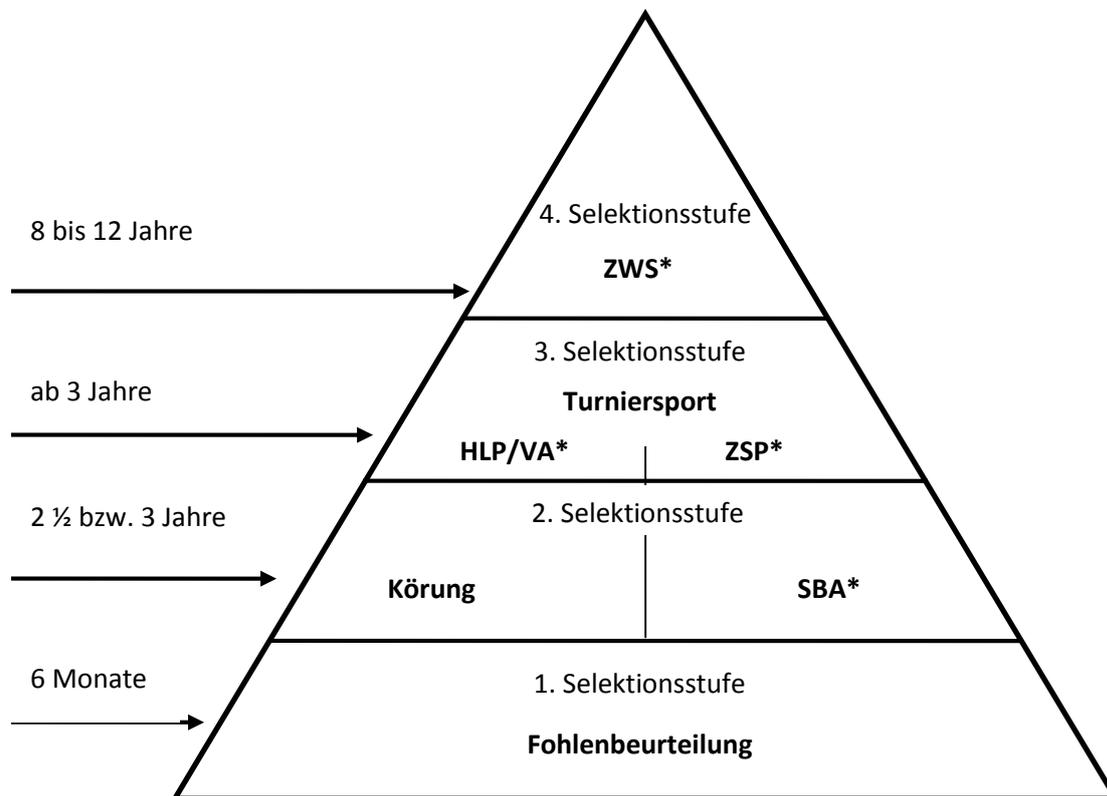


Abb. 1: Selektionsstufen in der deutschen Reitpferdezucht (ZWS = Zuchtwertschätzung, HLP = Hengstleistungsprüfung, VA = Veranlagungstest, ZSP = Zuchtstutenprüfung, SBA = Stutbuchaufnahme) (Sitzenstock, 2008).

2.3.1 Stutenleistungsprüfungen in Deutschland

Stutenleistungsprüfungen werden zuchtverbandsintern organisiert und können als Stations- oder als Feldprüfung durchgeführt werden. In beiden Prüfungsformen werden die Merkmalskomplexe Grundgangarten, Rittigkeit und Springanlage (Freispringen) bewertet. Während der mindestens 14-tägigen Stationsprüfung wird zusätzlich das Interieur der Stuten beurteilt (ZVO, 2014).

Stutenleistungsprüfungen werden auf freiwilliger Basis durchgeführt und sind nicht Voraussetzung für eine Eintragung in das jeweilige Stutbuch. Die Auszeichnung von Prämienstuten ist aber in der Regel an ein überdurchschnittliches Ergebnis in der Stutenleistungsprüfung gekoppelt.

2.4 Hengstleistungsprüfungen in Deutschland

Bewertet werden die Grundgangarten unter dem Sattel, die Rittigkeit auch durch Fremdreiter sowie die Springveranlagung von Hengsten im Alter von drei bis sieben Jahren. Vor 2011 lag die Kontrolle der Prüfungsstationen auf Ebene der Länder, ein Indexsystem erlaubte nur eine Vergleichbarkeit innerhalb der Prüfungsgruppe. Die staatlich organisierte Hengstleistungsprüfung ging auf Grund von Änderungen im Tierzuchtgesetz in die Verantwortung der Zuchtverbände über, die ihrerseits die Deutsche Reiterliche Vereinigung (FN) mit der zentralen Durchführung der Hengstleistungsprüfung beauftragten. Seitdem wurden einige Veränderungen an Modus und Organisation durchgeführt.

2.4.1 HLP-Reformen 2011, 2012 und 2015

Mit Übernahme der Organisation der Hengstleistungsprüfungen 2011 wurde eine verbindliche Anmeldung vier Wochen vor Prüfungsbeginn mit freier Auswahl der Prüfungsstationen eingeführt. Zudem wurde eine Anzahl von mindestens 25 sowie maximal 40 angemeldeten Hengsten pro Prüfungsdurchgang festgelegt. Die Prüfungskommission wird seitdem durch die FN zugewiesen, und die Trainingsbewertung führen zwei Richter zusammen mit dem Trainingsleiter durch.

Zusätzlich zur Veröffentlichung von Einzelnoten und gewichteten Endnoten wurde der HLP-Zuchtwert eingeführt. Dieser wird für die Disziplinen Dressur und Springen errechnet und gemeinsam mit der Abweichung des HLP-Zuchtwerts zum Verwandtschaftszuchtwert ausgegeben (FN, 2010b).

Neben einigen Änderungen bezüglich Anmeldung und Impfung wurde 2012 eine zusätzliche Beurteilung des Freispringens während des ersten Trainingsbesuches eingeführt und der zweite Trainingsbesuch der 70-tägigen Hengstleistungsprüfung von der 5. auf die 6. Prüfungswoche verschoben. Teilnahmeberechtigt an der 70-tägigen Hengstleistungsprüfung sind seit 2012 nur noch drei- bis siebenjährige Hengste. Für ältere Hengste besteht weiterhin die Möglichkeit die HLP über Erfolge im Turniersport abzulegen (FN, 2011).

Ab 2015 werden Hengstleistungsprüfungen und Veranlagungsprüfungen nur noch in den vier Hengstleistungsprüfungsstationen in Adelheidsdorf, Marbach, Neustadt/Dosse und Schlieckau durchgeführt. Dabei dürfen weder eigene Hengste, noch der Station zur Pacht, Ausbildung oder Beritt zur Verfügung stehende Hengste in den jeweiligen Prüfstationen geprüft werden (FN, 2015b).

2.4.2 HLP-Neukonzeption ab 2016

Ab dem Jahr 2016 gelten neue Richtlinien und Anforderungen für die Hengstleistungsprüfung. Die Ergebnisse werden nicht mehr in Form von VA- bzw. HLP-Zuchtwerten Dressur sowie VA- bzw. HLP-Zuchtwerten Springen, sondern nur noch als Gesamt- oder Endnote angegeben (FN, 2015b).

Die Veranlagungsprüfung wird zukünftig nur noch 14 Tage und nicht mehr 30 Tage dauern. Zugelassen sind hierzu drei- und vierjährige gekörte und nicht gekörte Hengste. Es werden die Grundgangarten, die Rittigkeit und das Freispringen geprüft, zusätzlich wird die Rittigkeit durch einen Fremdreiter beurteilt. Es werden drei Endnoten errechnet: die gewichtete Gesamtnote, die dressurbetonte Endnote und die springbetonte Endnote. Zum Bestehen der Prüfungen und der damit verbundenen vorläufigen Eintragung in das Hengstbuch 1 ist eine Gesamtnote von 7,5 oder eine dressur- bzw. springbetonte Endnote von 8,0 notwendig (FN, 2015b).

Eine neue Option bietet die 3-tägige Sportprüfung für vier- und fünfjährige gekörte Hengste. Hengste, die einen Veranlagungstest erfolgreich absolviert haben, können diese Sportprüfung anstelle der Hengstleistungsprüfung antreten um im Hengstbuch 1 fortgeschrieben zu werden. Hier kann je nach Veranlagung zwischen den Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit gewählt werden. Die Sportprüfung muss einmal vierjährig und einmal fünfjährig absolviert werden. Das erforderliche Leistungsniveau entspricht den Aufbau- und Basisprüfungen der Klasse A für vierjährige und der Klasse L für fünfjährige Hengste. Auch hier wird wieder ein Fremdreitertest durchgeführt. Das Ergebnis wird als disziplinspezifische gewichtete Endnote ausgegeben. Eine Note von 7,5 reicht bei vierjährigen Hengsten zur vorläufigen Hengstbuch 1 –Eintragung, bei fünfjährigen zur endgültigen Eintragung (FN, 2015b).

Von 70 auf 50 Tage wird die Prüfungsdauer der Hengstleistungsprüfung reduziert, an der drei- bis siebenjährige Hengste unabhängig ihres Körstatus teilnehmen dürfen. Es wird disziplinspezifische Prüfungsdurchgänge mit den Schwerpunkten Dressur oder Springen geben. Dabei wird das geforderte Leistungsniveau dem Alter der Hengste angepasst. Als Ergebnis wird eine disziplinspezifische Endnote ausgegeben, die Prüfung ist mit mindestens 7,8 bestanden und berechtigt zur endgültigen Eintragung in das Hengstbuch 1 (FN, 2015b).

Weiterhin bestehen bleibt die Option, den Leistungsnachweis eines Hengstes über den Sport zu erbringen und so eine Hengstbucheintragung zu erreichen. Dazu müssen mindestens fünf Platzierungen an erster bis dritter Stelle in Dressur- oder Springprüfungen der Klasse S oder in Vielseitigkeitsprüfungen der Klassen M oder S erreicht werden. Ebenfalls ausreichend ist eine Platzierung im Finale des Bundeschampionates der Dressur- oder Springpferde sowie eine Platzierung im Finale der Weltmeisterschaft der jungen Dressur-, Spring- oder Vielseitigkeitspferde.

Daraus resultieren vier Möglichkeiten, die endgültige Zuchtzulassung in Form der Eintragung in das Hengstbuch 1 zu erreichen. Es kann erstens die Kombination aus Veranlagungsprüfung und Sportprüfungen gewählt werden, alternativ ist zweitens die Kombination aus Veranlagungsprüfung und Hengstleistungsprüfung möglich. Drittens kann die Hengstleistungsprüfung direkt ohne vorangegangene Veranlagungsprüfung abgelegt werden und viertens besteht die Möglichkeit über Erfolge in Turniersportprüfungen (FN, 2015b).

2.5 Heritabilität von Leistungsprüfungsmerkmalen

Hengstleistungsprüfungen und Stutenleistungsprüfungen bilden gemeinsam mit dem Turniersport die dritte Selektionsstufe im Zuchtprogramm. Zusammengestellt in Tabelle 5 sind einige Literaturwerte von verschiedenen Leistungsprüfungsmerkmalen aus Hengst- und Stutenleistungsprüfungen und dem schwedischen „Riding Horse Quality Test“.

Zusätzlich befinden sich in Tabelle 6 die Heritabilitäten der Leistungsprüfungsmerkmale, die der integrierten Zuchtwertschätzung zu Grunde liegen.

Die in den Leistungsprüfungen bewerteten Merkmale weisen positive genetische Korrelationen zu den Turniersportmerkmalen auf und werden aufgrund ihrer höheren Erblichkeiten und ihrer früheren Verfügbarkeit als Hilfsmerkmale im Selektionsprozess und in der Zuchtwertschätzung verwendet (Ducro *et al.*, 2007). Die Heritabilitäten der Merkmale der Stutenleistungsprüfungen sind in der Regel niedriger als die der Hengstleistungsprüfungsmerkmale, was hauptsächlich auf größere Umwelteffekte in der Feldprüfung zurückzuführen ist (Brockmann und Bruns, 2000). In Stutenleistungsprüfungen können Leistungsmerkmale zu einem frühen Zeitpunkt an einem wenig vorselektierten und nicht auf Dressur oder Springen spezialisierten Pferdmaterial erhoben werden. Feldprüfungen haben dabei den Vorteil geringer Kosten und hohen Prüfkapazitäten (Von Velsen-Zerweck, 1998). Vergleichbare Merkmale liefert auch der „Riding Horse Quality Test“ (RHQT) in Schweden, indem Stuten, Hengste und Wallache getestet werden und dessen Ergebnisse in die schwedische Zuchtwertschätzung einfließen (Viklund *et al.*, 2010). Da nicht nur Zuchttiere einfließen erfolgt eine bessere Abbildung der Gesamtpopulation bei weniger Vorselektion. Die genetischen Korrelationen sind besonders hoch (bis zu 0,93) zwischen den Springbewertungen des RHQT und den Turniersportergebnissen im Springen, etwas niedriger (0,47 -0,77) sind die genetischen Beziehungen zwischen Merkmalen der Dressur im RHQT und den Turniersportergebnissen Dressur (Viklund *et al.*, 2010; Wallin *et al.*, 2003).

Tab. 5: Übersicht zu Heritabilitäten in der Literatur von Leistungsprüfungsmerkmalen von Hengsten, Stuten und jungen Pferden.

Autoren/Prüfungsform	Merkmal	Heritabilität
Brockmann und Bruns (2000)	Rittigkeit (Fremdreiter)	0,44
Hengstleistungsprüfung	Freispringen	0,47
	Parcoursspringen	0,38
	Trab	0,45
	Galopp	0,36
	Schritt	0,34
	Gelände	0,20
	Von Velsen-Zerweck (1998)	Schritt
Hengstleistungsprüfung	Trab	0,50
	Galopp	0,47
	Rittigkeit	0,52
	Springen	0,47
Stock und Distl (2007)	Schritt	0,27
Stutenleistungsprüfung (Feld)	Trab	0,37
	Galopp	0,35
	Rittigkeit	0,26
	Rittigkeit (Fremdreiter)	0,25
	Freispringen	0,39
Schöpke (2010)	Schritt	0,28
Stutenleistungsprüfung (Feld)	Trab	0,50
	Galopp	0,20
	Rittigkeit	0,15
	Freispringen	0,45
Ray (2012)	Schritt	0,31
Riding Horse Quality Test	Trab	0,40
	Galopp	0,35
	Rittigkeit	0,32
	Freispringen (Technik)	0,23

2.6 Integrierte Zuchtwertschätzung in Deutschland

Die Integrierte Zuchtwertschätzung wird in Deutschland seit 2001 vom Vit in Verden, beauftragt durch die Deutsche Reiterliche Vereinigung (FN) als Dachorganisation der Pferdezuchtverbände in Deutschland, durchgeführt und umfasst die Reitsportdisziplinen Dressur und Springen. Sie dient zur Prognose der Vererbung von Leistungsveranlagungen potentieller Elterntiere an ihre Nachkommen (Stock, 2015). Die Datengrundlage dazu bilden Leistungsdaten aus dem Turniersport und aus Leistungsprüfungen wie Zuchtstutenprüfungen, Veranlagungstests und Hengstleistungsprüfungen.

Zur Zuchtwertschätzung wird ein BLUP-Mehrmerkmals-Wiederholbarkeits-Tiermodell verwendet. Die Methodik der BLUP-Zuchtwertschätzung geht auf Henderson (1973) zurück, die Abkürzung BLUP steht für „Best Linear Unbiased Prediction“ (beste lineare unverzerrte Vorhersage). Es werden Einzelzuchtwerte für alle 15 in Tabelle 6 dargestellten Merkmale in einem Modell geschätzt. Somit werden mit Hilfe der genetischen Korrelationen die vorhandenen Beobachtungen in Beziehung gesetzt, optimal zur Zuchtwertschätzung ausgenutzt und die Schätzsicherheit erhöht. Liegen aus dem Turniersport Mehrfachbeobachtungen vor, werden diese als wiederholte Leistungen berücksichtigt.

Das Tiermodell stellt die verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den Tieren her, sodass auch für Tiere ohne eigene Beobachtungen Zuchtwerte geschätzt werden können. Auch eine Korrektur auf Umwelteffekte wie beispielsweise das Training der Pferde erfolgt durch das Modell der Zuchtwertschätzung (Stock, 2015; Jaitner und Reinhardt, 2012).

Die Zuchtwerte werden auf einen Mittelwert von 100 und eine Standardabweichung von 20 standardisiert. Dies erfolgt einzeln für die Zuchtwerte aller Merkmale. Als Basis der Standardisierung dienen die Hengste einer definierten Altersgruppe, die selbst oder mindestens 5 ihrer Nachkommen eine Hengstleistungsprüfung in Deutschland abgelegt haben. In der integrierten Zuchtwertschätzung der FN werden Gesamtzuchtwerte für die Disziplinen Dressur und Springen berechnet. Diese Gesamtzuchtwerte setzen sich jeweils zu einem Viertel aus den Teilzuchtwerten für Turniersportprüfungen, Aufbau- und Basisprüfungen, Zuchtstutenprüfungen und Veranlagungstests sowie Hengstleistungsprüfungen zusammen.

Die Teilzuchtwerte der Zuchtstutenprüfung und Veranlagungstests und der Hengstleistungsprüfungen werden wiederum disziplinspezifisch aus den Einzelzuchtwerten der Merkmale gebildet. Dabei werden für die Teilzuchtwerte der Zuchtstutenprüfung und Veranlagungstests und der Hengstleistungsprüfungen für die Disziplin Dressur die Einzelzuchtwerte der Merkmale Schritt, Trab, Galopp und Rittigkeit je mit 25% gewichtet (Tab. 7). Der Teilzuchtwert ZSP/VA des Gesamtzuchtwerts Springen entspricht dem Einzelzuchtwert des Merkmals Freispringen. Der Teilzuchtwert HLP des Gesamtzuchtwerts Springen besteht zu je 50% aus den Einzelzuchtwerten des Freispringens und des Parcourspringens (Jaitner und Reinhardt, 2012).

Tab. 6: Heritabilitäten (Diagonale) und genetischen Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) der Merkmale, die in der integrierten Zuchtwertschätzung für Dressur und Springen verwendet werden (Vit, 2012), TSP = Turniersportprüfungen, ABP = Aufbau- und Basisprüfungen, ZSP = Zuchtstutenprüfung, VA = Veranlagungstest (30-Tage-Test), HLP = Hengstleistungsprüfung (70-Tage-Test), (Jaitner und Reinhardt, 2012).

Merkmal		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TSP Springen	1	0,04	0,14	0,63	0,13	0,14	0,10	0,23	0,19	0,26	-0,08	0,03	0,10	0,11	0,38	0,44
TSP Dressur	2		0,08	0,14	0,61	0,51	0,52	0,48	0,64	0,01	0,54	0,61	0,57	0,67	-0,03	0,09
ABP Springen	3			0,13	0,26	0,07	0,15	0,31	0,27	0,42	0,07	0,11	0,28	0,26	0,46	0,69
ABP Dressur	4				0,17	0,54	0,60	0,57	0,66	0,10	0,54	0,63	0,64	0,69	0,07	0,25
ZSP/VA Schritt	5					0,30	0,55	0,52	0,56	0,10	0,73	0,57	0,62	0,53	-0,04	0,04
ZSP/VA Trab	6						0,40	0,69	0,67	0,18	0,55	0,79	0,67	0,64	0,04	0,11
ZSP/VA Galopp	7							0,37	0,67	0,25	0,49	0,60	0,73	0,59	0,15	0,30
ZSP/VA Rittigkeit	8								0,32	0,17	0,57	0,68	0,72	0,77	0,02	0,18
ZSP/VA Freispringen	9									0,34	-0,08	0,04	0,12	0,06	0,87	0,77
HLP Schritt	10										0,37	0,65	0,62	0,58	-0,13	0,03
HLP Trab	11											0,52	0,74	0,75	-0,05	0,03
HLP Galopp	12												0,44	0,72	0,17	0,29
HLP Rittigkeit	13													0,42	0,04	0,19
HLP Freispringen	14														0,41	0,86
HLP	15															0,34
Parcoursspringen																

Tab. 7: Zusammensetzung der Gesamtzuchtwerte Dressur und Springen aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten der Turniersportprüfungen (TSP), der Aufbau- und Basisprüfungen (ABP), der Zuchtstutenprüfung (ZSP) und des Veranlagungstests (VA) sowie der Hengstleistungsprüfung (HLP) (Jaitner und Reinhardt, 2012).

Gesamtzuchtwert Dressur			
25%	25%	25%	25%
Teilzuchtwert	Teilzuchtwert	Teilzuchtwert	Teilzuchtwert
TSP Dressur	ABP Dressur	ZSP/VA	HLP
		25% Schritt	25% Schritt
		25% Trab	25% Trab
		25% Galopp	25% Galopp
		25% Rittigkeit	25% Rittigkeit
Gesamtzuchtwert Springen			
25%	25%	25%	25%
Teilzuchtwert	Teilzuchtwert	Teilzuchtwert	Teilzuchtwert
TSP Springen	ABP Springen	ZSP/VA	HLP
		100% Freispringen	50% Freispringen
			50%
			Parcourspringen

2.6.1 Verbandsinterne Zuchtwertschätzung

Zusätzlich zur integrierten Zuchtwertschätzung greifen einige Zuchtverbände auf eine verbandsinterne Schätzung von Zuchtwerten, vornehmlich für Merkmale aus Stutbuchaufnahmen und Stutenleistungsprüfungen, zurück.

Das Vit in Verden führt seit 1996 für den Hannoveraner Verband und den Verband der Pferdezüchter Mecklenburg-Vorpommern e.V. verbandsinterne Zuchtwertschätzungen auf Grundlage von Ergebnissen aus Stutbuchaufnahmen und Stutenleistungsprüfung durch.

Der Hannoveraner Verband verwendet zusätzlich noch Informationen von Auktionsauswahlen, die analog zur Stutenleistungsprüfung durchgeführt werden. Es werden Einzelzuchtwerte für die Merkmale der Stutbuchaufnahme und der Zuchtstutenprüfung inklusive der Auktionssichtung des Hannoveraner Verbandes geschätzt und zu Teil- und Gesamtzuchtwerten zusammengefasst (Vit, 2012).

Der Trakehner Verband schätzt Exterieurzuchtwerte anhand von Daten der Stutbuchaufnahmen, seit 2013 wird dazu ein Tiermodell verwendet. Es werden Teil- und Gesamtzuchtwerte veröffentlicht (Trakehner Verband, 2013). Die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein führt die Zuchtwertschätzung für den Holsteiner Verband durch, sie beruht auf den Daten aus den Fohlenbeurteilungen und Stutbuchaufnahmen sowie Zuchtstutenprüfungen. Es werden jeweils Einzel- und Teilzuchtwerte sowie ein Gesamtzuchtwert berechnet (Holsteiner Verband, 2014).

Die Zuchtwertschätzung für das deutsche Sportpferd der Pferdezuchtverbände Brandenburg-Anhalt e.V. und Sachsen-Thüringen e.V. wurde auf Grundlage der Arbeit von Schöpke (2010) eingeführt. Aus 22 Merkmalen der Stutbuchaufnahme, Stutenleistungsprüfung und der Fohlenbeurteilung werden die Gesamtzuchtwerte Dressur, Springen und Exterieur und für Hengste zusätzlich ein Zuchtwert Fohlenbeurteilung berechnet (SMUL, 2010).

Darüber hinaus werden auch für andere Pferderassen in Deutschland Zuchtwerte geschätzt, beispielsweise vom LfL Bayern für das Süddeutsche Kaltblut, Haflinger und Edelbluthaflinger. Dort liegen teilweise abweichende Merkmalskomplexe zugrunde. So wird für das Süddeutsche Kaltblut ein Gesamtzuchtwert aus den Teilzuchtwerten Ziehen, Fahren und Exterieur gebildet (LfL, 2015).

2.7 Stutenstammsystematik verschiedener Pferdezuchtverbände

Das Wissen um Stutenstämme und deren Pflege hat in einigen Pferdezuchtverbänden eine große Tradition und Bedeutung. Die Zugehörigkeit zu Stutenstämmen ist bei Trakehnern und Holsteinern ein wichtiger Aspekt bei Zucht und Vermarktung (Christmann, 2010). In der Holsteiner Züchterschaft sei die Kenntnis über Stämme und deren Leistungsvererbung weit verbreitet und helfe bei Anpaarungs- und Kaufentscheidungen, so wirke sich das Stutenstammsystem positiv auf den Zuchtfortschritt aus, so zitiert Treu (2007) ein persönliches Gespräch mit dem Vorsitzenden der Holsteiner Jungzüchter Dietz.

Die Stammstute eines Stutenstammes ist allgemeingültig als älteste namentlich bekannte und in den Zuchtbüchern nachgewiesene Stute in der mütterlichen Ahnenfolge definiert, sodass ein Stutenstamm alle Nachfahren einer Stammstute umfasst. Es kann zusätzlich in Linien oder Zweige unterteilt werden.

Nachfolgend wird die Stutenstammsystematik der Zuchtverbände erläutert.

2.7.1 Trakehner Familienschlüssel

Der Trakehner Familienschlüssel wurde 1999 entwickelt, um die züchterische Aussage der Familienzugehörigkeit, die nach dem alten System durch eine starke Verbreiterung einiger Stämme nicht mehr gegeben war, wieder herzustellen.

Es wird aufgrund ihrer Herkunft zwischen Trakehner Familien (T), Ostpreußen-Familien (O), Sonstigen Familien (S), Englischen Vollblut-Familien (E) und Arabischen Familien (A) unterschieden. Mit dem jeweiligen Buchstabe beginnt der Code des Stammes. Innerhalb der Herkunftsgruppen werden die Stammstuten anhand ihres Geburtsjahres rangiert und dem Stamm wird, beginnend mit dem ältesten, eine Nummer zugeordnet. Innerhalb eines Stammes werden Gründerstuten, die eigene Familien nach dem zweiten Weltkrieg begründeten, wiederum fortlaufend nach dem Geburtsjahr mit Großbuchstaben benannt. Etwaige Linienbegründerinnen werden dann erneuert nummeriert, sodass ein Familienschlüssel beispielsweise O18B2 wäre (Trakehner Verband, 2003).

2.7.2 Holsteiner Stammmummern

Die Vergabe der Stammmummern für Holsteiner Stutenfamilien geht auf Georg Ahsbahs, Herausgeber des ersten Gestütsbuchs zurück, der die Stutenfamilien bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts zurückverfolgte und dessen Zuchtbuchführung die Grundlage der Holsteiner Zucht bildet (Holsteiner Verband, 2015a, Holsteiner Verband, 2015b). Insgesamt konnten 8888 Stammstuten für die gesamte Population identifiziert werden, so dass die Stammmummer 1 bis 8888, nach dem Geburtsjahr der Stammstute aufsteigend sortiert, vergeben wurden. Später wurden die Stämme nach Linienbegründerinnen geteilt, denen Großbuchstaben zugeordnet wurden. Zudem wurden Zweige von Stutenlinien erneut mit Zahlen gekennzeichnet (Treu, 2007). Ein bekannter Stamm ist beispielsweise mit 18A2 codiert.

2.7.3 Hannoveraner Stammcode

Für das Hannoveraner Zuchtbuch wurde auf Grundlage der Arbeiten von Treu (2007) und Doering (2008) eine Kombination aus Code und Stammname zur Identifizierung des Stutenstammes entwickelt. Der Code enthält die Ziffer der Ursprungsregion, das Geburtsjahr der Stammstute sowie eine fortlaufende Nummer innerhalb des Geburtsjahres. Zudem wird der Name der Stammstute sowie falls bekannt der Name, Wohnort und Landkreis des Besitzers der Stammstute angegeben. Vollständig würde ein Stutenstamm zum Beispiel als: 1187201 Note, Lohmann, Rieda (Verden) angegeben (Christmann, 2010).

2.7.4 Stutenfamilien beim englischen Vollblut

Das englische Vollblut ist eine der ältesten Haustierrassen der Welt. Seit 1791 gibt es ein Stutbuch, das frühzeitig geschlossen wurde, sodass sich große Anteile der Population auf sehr wenige Gründertiere zurückführen lassen (Cunningham *et al.*, 2001).

Die Nummerierung der Stutenfamilien beim englischen Vollblut geht auf Lowe zurück, der 43 verschiedene Stutenfamilien identifizierte und nach ihren Erfolgen zum damaligen Zeitpunkt rangierte.

Es folgte eine Ergänzung weiterer Stutenlinien durch Bobinski, der neben Stutenfamilien, die sich direkt auf das General Stutbook zurückführen lassen, argentinische, polnische, amerikanische, australische und Halbblut-Linien aufnahm (Thoroughbred Heritage, 2015).

Durch Untersuchungen der mitochondrialen DNA bei englischen Vollblütern von Hill *et al.* (2002) wurden vermeintliche Überschneidungen aufgedeckt, sodass wahrscheinlich mehrere Linien auf eine Stammstute zurückgehen und eine Überarbeitung der Familienzueordnung auf Grundlage dieser Erkenntnisse notwendig erscheint.

2.8 Maternale Vererbung

2.8.1 Maternale Effekte

Maternalen Effekte unterscheidet man in maternale Umwelteffekte, maternal genetische Effekte und gemeinsame Wurfumwelteffekte. Dabei beschreiben maternale Umwelteffekte den Effekt der Mutter als Umweltfaktor auf ihre Nachkommen (Schüler *et al.*, 2001). Als maternal-genetische Einflüsse gelten pränatal die uterine Umwelt und postnatal die Weitergabe von Antikörpern über die Kolostralmilch sowie das mütterliche Aufzuchtverhalten. Im Gegensatz zu den zytoplasmatischen Effekten (mitochondriale Vererbung) erfolgt eine additive Vererbung maternal-genetischer Effekte (Klunker *et al.*, 2002).

2.8.2 Mitochondriale Vererbung

Das Genom der mitochondrialen DNA (mtDNA) des Pferdes hat eine Größe von 16600 bp und liegt in einer zirkulären, doppelsträngigen Struktur vor (XU und ARNASON, 1994). Hutchison *et al.* (1974) zeigten bei Säugetieren den Mechanismus der maternalen Vererbung von mtDNA. Da die mtDNA eine relativ konstante Mutationsrate aufweist, können Unterschiede in der Mutationshäufigkeit der mtDNA auf verwandtschaftliche Beziehungen hinweisen (Kavar *et al.*, 1999). Alle Individuen einer (Stuten-) Familie sollten daher die gleichen Haplotypen der mtDNA tragen (Hill *et al.* 2002).

2.9 Stammheritabilitäten verschiedener Tierarten

Es wurden für verschiedene Tierarten und Merkmale Heritabilitäten der Mutterlinien geschätzt. Für Traber konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Stutenlinien für die Merkmale Jahresdurchschnittsrennzeit und Jahresgewinnsumme festgestellt werden, zusätzlich wurde ein signifikanter Einfluss der Stutenlinie auf diese Merkmale nachgewiesen (Schachtner *et al.*, 1992). Nachfolgend sind Stammheritabilitäten bei Leistungsmerkmalen verschiedener Tierarten in der Tabelle 8 dargestellt.

Tab. 8: Übersicht über Literaturwerte von Stammheritabilitäten bei Leistungsmerkmalen verschiedener Tierarten.

Autoren	Untersuchte Merkmale (Tierart)	Stammheritabilitäten
Southwood und Kennedy (1990)	Wurfgröße (Schwein)	0,00 – 0,05
	Anzahl lebend geborene Ferkel	0,00 – 0,08
	Anzahl abgesetzte Ferkel	0,04 – 0,08
Klunker <i>et al.</i> (2002)	Milch-kg (Milchrinder)	0,03
	Fett %	0,02
	Fett kg	0,04
	Eiweiß %	0,02
	Eiweiß kg	0,02
Endres (2010)	Gesamtindex HLP (Hannoveraner)	0 – 0,08
	Dressurindex HLP	0 – 0,05
	Springindex HLP	0 – 0,10
	Turniersportmerkmale	nahe 0

In der Schweinezucht wurden für die Merkmale Wurfgröße, Anzahl lebend geborener Ferkel und Anzahl abgesetzter Ferkel bei verschiedenen Rassekreuzungen Stammheritabilitäten von 0 bis 0,08 geschätzt (Southwood und Kennedy, 1990). Bei Milchrindern konnten für Milchleistungsmerkmale Stammheritabilitäten zwischen 0,02 und 0,04 geschätzt werden, bei Betrachtung einzelner Betriebe weichen sie aber zwischen den Betrieben z.T. erheblich ab (Klunker *et al.*, 2002). Angesichts geringer Anteile cytoplasmatischer Effekte an der Varianz von Milchmenge, Fettmenge und Fettprozent betrachteten Albuquerque *et al.* (1998) diese als unbedeutend für genetische Auswertungen. Für Hannoveraner Stutenstämme konnten Stammheritabilitäten für Hengstleistungsprüfungsergebnisse von 0 bis 0,1 in Abhängigkeit des verwendeten Modells und der Prüfungsform geschätzt werden. Nahe 0 lagen die Varianzanteile des Stutenstamms bei der Auswertung von Turniersportergebnissen (Endres, 2010).

3. Material und Methoden

3.1 Daten

Alle verwendeten Datenmaterialien wurden von der Deutschen Reiterlichen Vereinigung (FN) zur Verfügung gestellt. Seit 1995 werden die Turniersportergebnisse mit dem Computerprogramm „Turnierorganisations- und Informationssystem“ (TORIS) erfasst und von den Turnierveranstaltern an die FN gemeldet. Hier lagen die Turniersportergebnisse in Form von 80 Teildatensätzen, die Pedigreeinformationen in Form von 67 Teildatensätzen vor. Diese wurden zusammengeführt und wie nachfolgend erläutert, bearbeitet.

Zur eindeutigen Identifizierung der Tiere in Phänotypen- und Pedigree-Dateien diente die individuelle fünfzehnstellige Lebensnummer.

3.1.1 Datenmaterial Turniersportergebnisse

Der von der Deutschen Reiterlichen Vereinigung (FN) zur Verfügung gestellte Datensatz enthielt 7'985'102 registrierte Turniersportergebnisse aus den Jahren 2005 bis 2012 der Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit. Dieser umfasste zudem die Basis- und Aufbauprüfungen für vier- bis sechsjährige Pferde der drei genannten Disziplinen, also Dressurpferde-, Springpferde- und Geländepferdeprüfungen, die dem Heranführen junger Pferde an den Turniersport dienen.

Die Datei enthielt Ergebnisse von Turnieren in Deutschland von deutschen und ausländischen Reitern mit deutschen oder ausländischen Pferden sowie Ergebnisse von deutschen Reitern mit ihren jeweiligen Pferden auf internationalen Turnieren im Ausland. Die Beobachtungen waren in verschiedene Variablen untergliedert, die enthaltenen Informationen bestanden unter anderem aus: dem Tier, dem Geschlecht des Tieres, dem Geburtsdatum des Tieres, der Veranstaltung, dem Datum der Veranstaltung, der Disziplin, der Prüfungsklasse, der Prüfung, der Anzahl der Starts in der Prüfung, dem Reiter, der Leistungsklasse des Reiters, der Platzierung, dem Preisgeld und den Ranglistenpunkten.

Zur Aufbereitung des Datensatzes wurden mit Hilfe des Programmpakets SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2012), wie in Tabelle 9 beschrieben, fehlerhafte und nicht plausible Ergebnisse entfernt.

Tab. 9: Darstellung der Bearbeitungsschritte von den Rohdaten bis zum verwendeten Datensatz.

Beobachtungen	Aktion
7985102	Rohdaten
105475	Informationen ohne zugehörige Lebensnummer löschen
174461	Beobachtungen von Tieren ohne Geburtsdatum löschen
603530	Beobachtungen ohne Platzziffer löschen
2732	Beobachtungen von Prüfungen mit 3 oder weniger Startern löschen
351573	Beobachtungen von Prüfungen, in denen mehr Platzierungen als Starter verzeichnet wurden, löschen
329709	Beobachtungen, deren Prüfungsdatum nicht mit dem Beobachtungs-zeitraum übereinstimmt, löschen
705	Beobachtungen der Klasse E löschen
233	Beobachtungen von Tieren, die zum Beobachtungszeitpunkt älter als 25 Jahre waren, löschen
35	Beobachtungen von Tieren, die 2008 und später geboren wurden, löschen
6416649	Verbleibende Turniersportergebnisse

Daraus resultierte, dass 105'470 Beobachtungen wegen fehlender oder fehlerhafter Lebensnummer gelöscht wurden, da diese beobachteten Leistungen keinem Tier eindeutig zugeordnet werden konnten. Ebenfalls entfernt wurden Informationen von Pferden, deren Geburtsdatum nicht bekannt war, wenn der Platz 0 oder nicht vorhanden war, oder weniger als 3 Starts in der Prüfung vorlagen. Des Weiteren wurden Informationen entfernt, bei denen die Anzahl der platzierten Pferde größer als die Anzahl der gestarteten Pferde war, oder das Prüfungsdatum nicht im Beobachtungszeitraum lag.

Die Prüfungsklassen beschreiben den Schwierigkeitsgrad einer Prüfung von Klasse E (Einsteiger) bis Klasse S (Schwer). Ergebnisse der Klasse E wurden nicht berücksichtigt, da sie nur einen sehr geringen Anteil ausmachten und nicht für alle Disziplinen dokumentiert wurden. Ebenso flossen Beobachtungen von Pferden nicht in die Analyse ein, die zum Zeitpunkt der Prüfung älter als 300 Monate (entspricht 25 Jahren) waren oder im Jahr 2008 und später geboren wurden, da ein Turnierstart für Pferde dieses Alters unwahrscheinlich ist und daher ein Fehler in der Datei zu vermuten war.

Grundlage der Untersuchung waren somit die 6'416'649 nach der Datensatzaufbereitung verbliebenen Turniersportergebnisse von 219'879 Pferden der Geburtsjahre 1981 bis 2008. Von insgesamt 108'800 Reitern wurden 16'629 Reiter mit eigenem Reitereffekt im genetisch-statistischen Modell berücksichtigt. Dies erfolgte, analog zur Zuchtwertschätzung des Vit für die FN (Vit, 2012), wenn diese mehr als 50 Ergebnisse mit mindestens 5 verschiedenen Pferden aufweisen konnten.

3.1.2 Verteilung der Turniersportergebnisse

Die Tiere mit beobachteten Leistungen im Datensatz verteilten sich folgendermaßen auf die Geschlechter: Hengste 16,2%, Stuten 41,1% und Wallache 42,7%. Die prozentuale Verteilung der Leistungen dieser Tiere auf die Geschlechter wich leicht von obiger Verteilung ab: Hengste 15,6%, Stuten 39,7% und Wallache 44,7%. In der Abbildung 2 ist die prozentuale Verteilung der Geschlechter der Tiere, die Beobachtungen insgesamt bzw. in der Vielseitigkeit aufweisen, abgebildet.

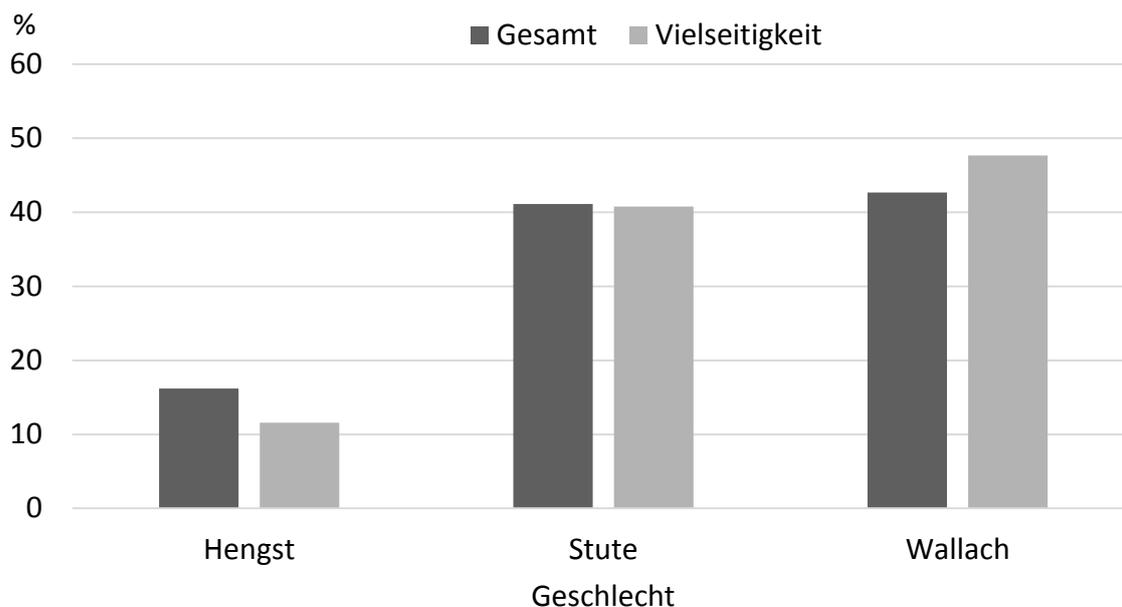


Abb. 2: Prozentuale Verteilung der Tiere mit Beobachtungen Gesamt und für die Vielseitigkeit auf die Geschlechter.

Die Verteilung der Turniersportergebnisse auf die Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit ist in Tabelle 10 dargestellt.

Tab. 10: Verteilung der Beobachtungen auf die Disziplinen.

Disziplin	Beobachtungen (n)	Prozent
Dressurprüfungen	1756663	27,4
Springprüfungen	3282005	51,2
Vielseitigkeitsprüfungen	67664	1,1
Dressurpferdeprüfungen	289486	4,5
Springpferdeprüfungen	1003089	15,6
Geländepferdeprüfungen	17742	0,3
Insgesamt	6416649	100

Zusätzlich wurde diese für die Jungpferdeprüfungen, namentlich Dressurpferde-, Springpferde- und Geländepferdeprüfungen, ebenfalls dort aufgetragen. Die Vielseitigkeits- und Geländepferdeprüfungen machten jeweils den geringsten Anteil an den Gesamtbeobachtungen aus, den größten Anteil hatten die Springprüfungen mit über 50% der Gesamtbeobachtungen. Bei den Jungpferdeprüfungen hatten die Springpferdeprüfungen mit 15,6% den größten Anteil.

Die meisten Pferde, die in der Vielseitigkeit gestartet waren, hatten ebenfalls Beobachtungen in den Disziplinen Dressur und Springen. Auch der Anteil der Pferde, die in der Vielseitigkeit und in Springen oder in der Vielseitigkeit und in Dressuren gestartet sind, war größer als der Anteil der Pferde, die nur in Vielseitigkeitsprüfungen gestartet waren (Tab. 11). Der jeweils größte Anteil der Pferde hingegen startete nur in der Dressur (38,3%) oder nur im Springen (41,9%). Auf den ganzen Datensatz bezogen gab es durchschnittlich 29,2 Beobachtungen pro Tier, bei einem Minimum von einer Beobachtung und einem Maximum von 525 Beobachtungen.

Tab. 11: Verteilung der Tiere mit Leistungen in den Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit inklusive der jeweiligen Jungpferdeprüfungen.

Leistungen in Kombination von Disziplinen	Tiere	Prozent
Leistungen in allen Disziplinen	11014	5,0
Leistungen in DRE + SPR	27459	12,5
Leistungen in DRE + VS	1597	0,7
Leistungen in SPR + VS	2032	0,9
Leistungen nur in DRE	84116	38,3
Leistungen nur in SPR	92233	41,9
Leistungen nur in VS	1428	0,6

Über alle Vielseitigkeits- und Geländepferdeprüfungen hinweg konnten für 16072 Tiere 85407 Beobachtungen gemacht werden, dies entspricht im Mittel 5,3 Beobachtungen pro Tier. In internationalen Vielseitigkeitsprüfungen starteten 2599 Tiere, daraus resultieren 11206 Beobachtungen bei einem Durchschnitt von 4,3 Beobachtungen pro Tier (Tab. 12). Es ist möglich, dass Pferde sowohl in nationalen als auch in internationalen Prüfungen gestartet sind.

Tab. 12: Verteilung der Beobachtungen und Pferde auf die nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen.

	Vielseitigkeit national	Vielseitigkeit international
Beobachtungen	56459 (83,4%)	11206 (16,6%)
Pferde	13910	2599

Für 1756 Tiere lagen Beobachtungen aus nationalen und internationalen Prüfungen vor. Über 83% der vorliegenden Beobachtungen stammten von nationalen Vielseitigkeitsprüfungen, lediglich 16,6% aus internationalen Prüfungen.

Der Tabelle 13 zu entnehmen ist die Verteilung der Beobachtungen auf die Kategorien platziert und nicht platziert, wie sie später im Schwellenwertmodell verwendet werden. In dieser Auswertung wurden alle zur Verfügung stehenden Turniersportergebnisse der Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit berücksichtigt. Laut Leistungsprüfungsordnung (LPO) der FN sind in jeder Prüfung zwischen einem Viertel und einem Drittel der Teilnehmer zu platzieren, mindestens aber die vier besten Teilnehmer (FN, 2013). Entsprechend wird bei kleinen Starterfeldern der prozentuale Anteil der platzierten Teilnehmer die 25% bzw. 33% überschreiten. In der Disziplin Dressur wurde ein Verhältnis von 38,3% platzierter Teilnehmer zu 61,7% nicht platzierter Teilnehmer errechnet. In der Vielseitigkeit erreichte der Anteil der platzierten Teilnehmer sogar fast 46%.

Tab. 13: Verteilung der Beobachtungen der Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit auf die Kategorien platziert und nicht platziert.

Disziplin	Platziert (1)	nicht platziert (0)
Dressur	38,3%	61,7%
Springen	40,3%	59,7%
Vielseitigkeit	45,9%	54,1%

Für die Disziplinen Dressur und Vielseitigkeit wurde jeweils der größte prozentuale Anteil der Turniersportergebnisse in der Prüfungsklasse A beobachtet (Abb. 3). Der Anteil der Starts in der Klasse A war in der Vielseitigkeit mit 68,1% jedoch noch größer als in der Dressur mit 40,8%.

Der größte Anteil der Ergebnisse im Springen wurde mit 30,1% für die Klasse M registriert. Jeweils der kleinste Anteil der Starts in den Disziplinen wurde in der Klasse S beobachtet, wobei dies im Springen noch 13% entsprach, während in der Vielseitigkeit nur 1,5% der Beobachtungen in der Klasse S gemacht wurden.

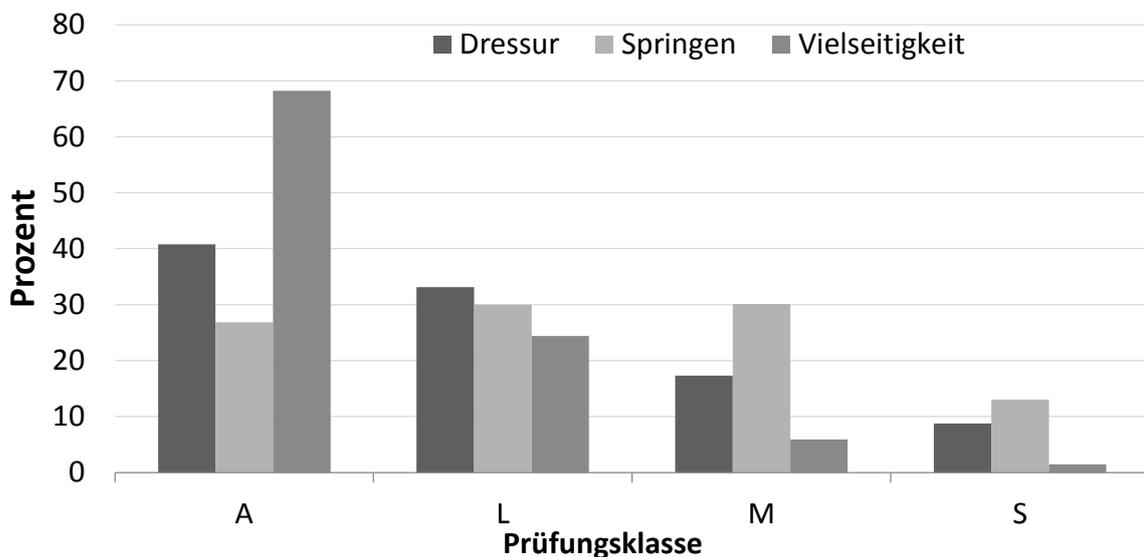


Abb. 3: Prozentuale Verteilung der Turniersportergebnisse auf die Prüfungsklassen für die Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit.

Betrachtet man für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen die Verteilung der Beobachtungen auf die Prüfungsklassen (Abb. 4), waren über 80% der Beobachtungen der nationalen Kategorie in der Klasse A zu finden. Die Klassen M und S waren national kaum ausgeschrieben. Während internationale Prüfungen der Klasse A etwa ein Prozent ausmachten, konnte dort für die Klasse L mit 60,7% der größte Anteil festgestellt werden. Diese Verteilung entspricht der Erwartung, da Prüfungen der Klasse M und S in der Regel international ausgeschrieben werden, die Klasse A wird international nur für Ponys ausgeschrieben.

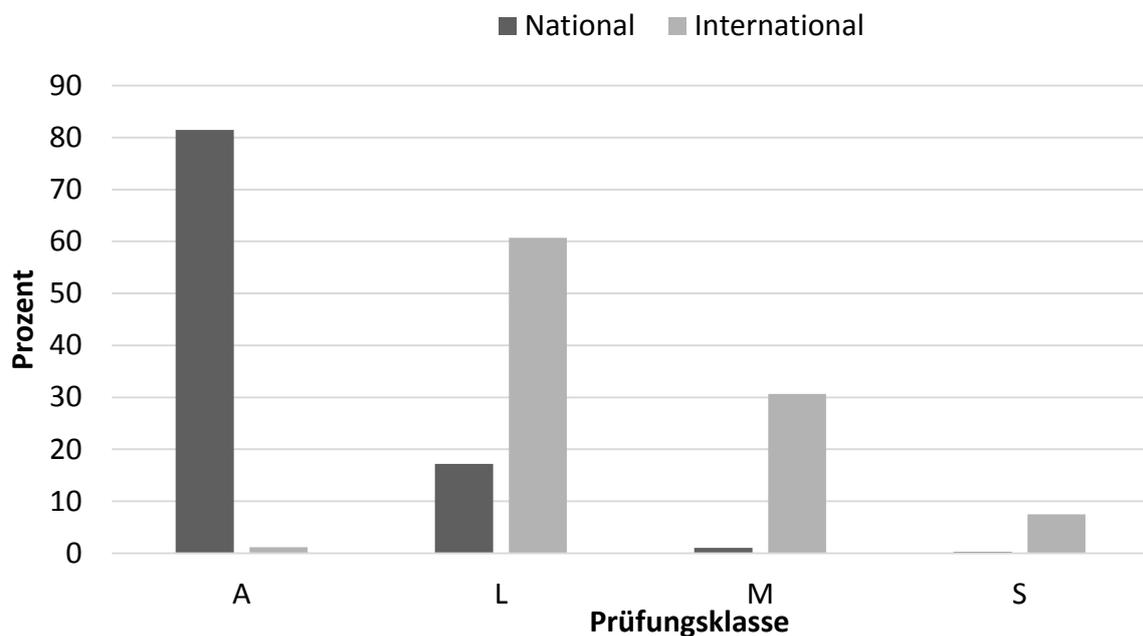


Abb. 4: Verteilung der Beobachtungen in Prozent auf die Prüfungsklassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen.

Die Verteilung der Beobachtungen für die Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit ist über den Beobachtungszeitraum relativ konstant (Abb. 5). Da aus dem Jahr 2005 nur Beobachtungen aus den Monaten Oktober, November und Dezember zur Verfügung standen, stellten die registrierten Beobachtungen lediglich weniger als ein Prozent der Gesamtbeobachtungen in der jeweiligen Disziplin dar. Für einige Berechnungen musste auf Grund der Datenmenge und der sehr langen Rechendauer eine Einschränkung des Datensatzes auf die Jahre 2010 bis 2012 für alle Disziplinen durchgeführt werden, dieser reduzierte Datensatz bildete jeweils ca. 40% der Gesamtbeobachtungen ab.

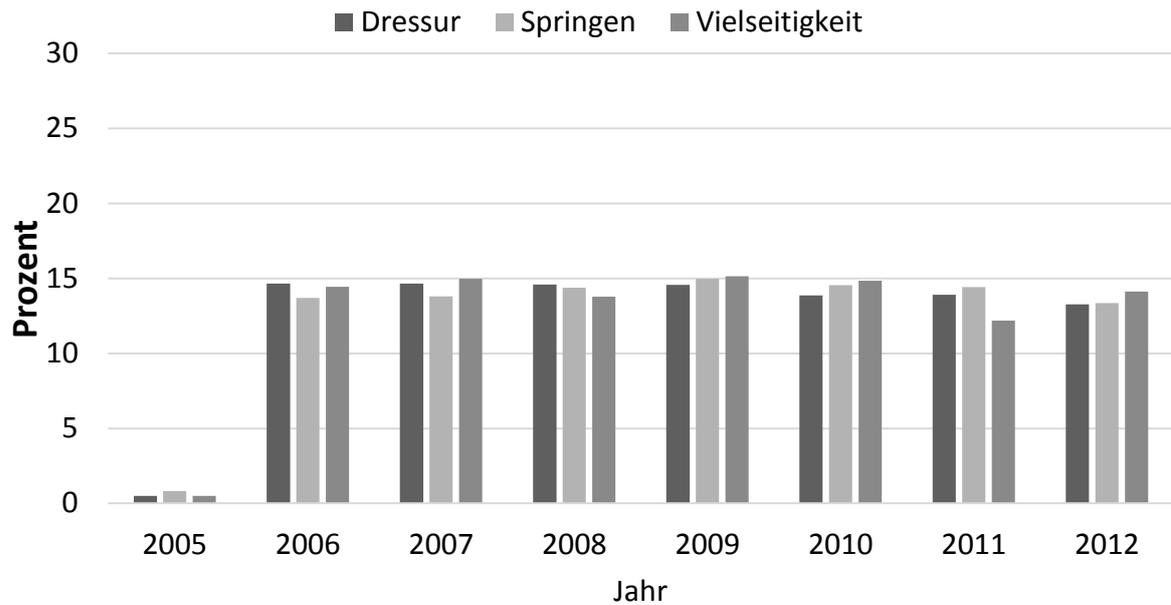


Abb. 5: Verteilung der Beobachtungen in Prozent für die Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit auf den Beobachtungszeitraum.

Nachfolgend wird in Abbildung 6 die prozentuale Verteilung der Pferde mit registrierten Turniersportergebnissen auf die Zuchtgebiete für alle Disziplinen bzw. für die Vielseitigkeit dargestellt. Den größten Anteil eines Zuchtverbandes an Pferden mit Beobachtungen, über alle Disziplinen betrachtet, hatte mit 19 Prozent der Hannoveraner Verband. Mit lediglich 3 Prozent der Pferde hatte der Trakehner Zuchtverband den kleinsten Anteil. Ausländische Pferde sowie Pferde weiterer deutscher Zuchtverbände wurden unter „sonstige“ zusammengefasst.

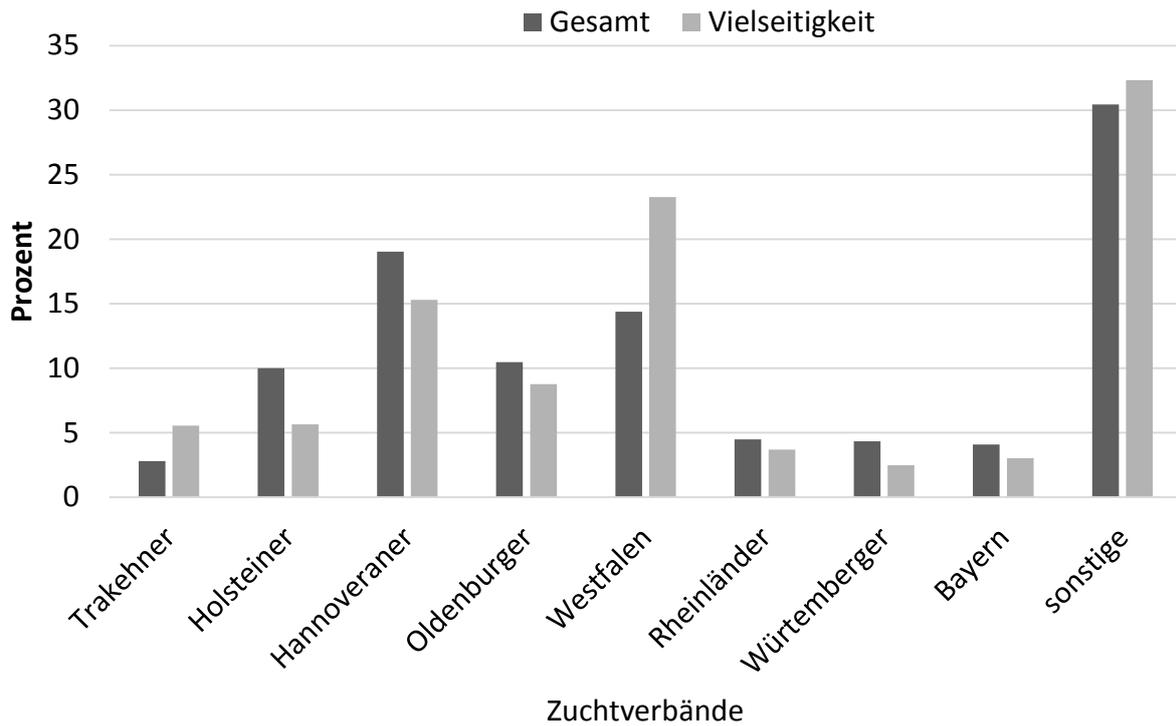


Abb. 6: Verteilung der Tiere mit Turniersportergebnissen für alle Disziplinen bzw. für die Vielseitigkeit hinsichtlich ihrer Zuchtverbandszugehörigkeit.

Werden die Pferde mit Beobachtungen in der Vielseitigkeit hinsichtlich ihrer Zuchtverbandszugehörigkeit sortiert, konnte der größte Anteil dem westfälischen Pferdezuchtverband zugewiesen werden. Der Anteil der Trakehner verdoppelte sich im Vergleich zur Betrachtung über alle Disziplinen auf 6 Prozent.

3.1.3 Datenmaterial Hengstleistungsprüfung

Es standen 1051 (30-Tage-Test) bzw. 790 (70-Tage-Test) Hengstleistungsprüfungsergebnisse aus den Jahren 2001 bis 2004 zur Verfügung. Auch hier wurde eine Datenaufbereitung durchgeführt und Bewertungen, die keinem Tier zugeordnet werden konnten sowie Tiere, für die in einer Mehrzahl von Merkmalen keine Bewertung vorlag, aus den Datensätzen entfernt. Nach erfolgter Aufbereitung umfasste der Datensatz die Bewertungen von 861 Hengsten im 30-Tage-Test aus 45 Prüfungsdurchgängen in 11 Prüfungsstationen, sowie von 736 Hengsten im 70-Tage-Test aus 28 Prüfungsdurchgängen in 7 Hengstleistungsprüfungsanstalten.

Dies entsprach einer durchschnittlichen Prüfungsdurchgangsgröße von 19,1 Hengsten im 30-Tage-Test und 26,3 Hengsten im 70-Tage-Test. Die Hengste wurden im 30-Tage-Test in 16 verschiedenen Merkmalen und im 70-Tage-Test in 19 Merkmalen getestet. Diese Merkmale entsprachen sich, mit Ausnahme der Geländeprüfung und dem Parcourspringen, die nur im 70-Tage-Test durchgeführt wurden. Die Abstammungen dieser Tiere lagen ebenfalls in der Pedigreedatei vor.

3.1.4 Verteilung Hengstleistungsprüfungsergebnisse

Für die 16 Merkmale, die im 30-Tage-Test geprüft werden, wurden nachfolgend die Mittelwerte, Standardabweichungen sowie die Minima und Maxima dargestellt (Tab. 14). Abweichungen von der Gesamtzahl an geprüften Hengsten für einzelne Merkmale waren auf Ausfälle während der laufenden Prüfung zurück zu führen. Das vorgestellte T bei Merkmalsbezeichnungen wies im Training benotete Merkmale aus. Die Notenskala wurde für die Beurteilung der Hengste nicht voll ausgeschöpft, als schlechteste Bewertung wurde eine 3,5 vergeben. Auch Standardabweichungen von maximal 1,09 weisen auf diesen Trend hin. Die Mittelwerte der einzelnen Merkmale lagen alle oberhalb von 7,0 (entspricht *ziemlich gut*). Das durchschnittliche Alter der geprüften Hengste zum Prüfzeitpunkt betrug 39 Monate.

Tab. 14: Anzahl (n), Mittelwert (\bar{x}), Standardabweichung (Std.), Minimum und Maximum für die Merkmale der 30-tägigen Hengstleistungsprüfung.

Merkmal	n	\bar{x}	Std.	Min.	Max.
Charakter	861	8,69	0,75	6	10
Temperament	861	8,45	0,68	6,5	10
Leistungsbereitschaft	861	8,41	0,68	6	10
Konstitution	861	8,42	0,71	6	10
*T-Rittigkeit	861	7,89	0,74	5	10
*T-Schritt	861	7,49	0,85	4	10
*T-Trab	861	7,35	0,85	5	10
*T-Galopp	861	7,85	0,72	5	10
*T-Springveranlagung	861	7,92	0,87	4,5	10
Schritt	860	7,21	0,92	4	9,75
Trab	860	7,04	0,91	4	9,62
Galopp	860	7,59	0,78	5	10
Springanlage	858	7,63	1,00	4	10
Springmanier	490	7,30	1,09	3,5	10
Springvermögen	481	7,76	1,09	4	10
Rittigkeit	860	7,75	0,86	4,75	10

*T markiert die im Training während der Leistungsprüfung bewerteten Merkmale

In Tabelle 15 wurde die Verteilung der Bewertungen in den Merkmalen der 70-tägigen Hengstleistungsprüfungen aufgetragen.

Tab. 15: Anzahl (n), Mittelwert (\bar{x}), Standardabweichung (Std.), Minimum und Maximum für die Merkmale der 70-tägigen Hengstleistungsprüfung.

Merkmal	n	\bar{x}	Std.	Min.	Max.
Charakter	736	8,66	0,73	5	10
Temperament	736	8,39	0,65	6	10
Leistungsbereitschaft	736	8,33	0,66	6	10
Konstitution	736	8,32	0,62	6	10
*T-Trab	736	7,17	0,91	4	10
*T-Galopp	736	7,60	0,78	5	10
*T-Schritt	736	7,41	0,95	4	10
*T-Rittigkeit	736	7,67	0,86	5	10
*T-Springveranlagung	736	7,65	0,92	5	10
Trab	734	6,98	0,95	4,16	9,66
Galopp	734	7,37	0,77	4,66	10
Schritt	734	7,18	0,93	3,66	9,83
Freispringen	734	7,60	0,98	4,66	10
Springmanier	716	7,39	1,02	4,16	10
Springvermögen	696	7,84	1,04	5	10
Gelände Galopp	733	7,66	0,93	1	10
Geländespringmanier	733	7,43	0,89	1	10
Rittigkeit	734	7,34	0,97	3,66	10
Parcoursspringen	735	7,55	1,12	4	10

*T markiert die im Training während der Leistungsprüfung bewerteten Merkmale

Auch hier lagen die Mittelwerte für fast alle Merkmale oberhalb der Bewertung 7,0 bei geringen Standardabweichungen (max. 1,12) innerhalb der Merkmalsbewertungen. Die Mittelwerte der Interieurmerkmale Charakter, Temperament, Leistungsbereitschaft und Konstitution waren mit 8,32 bis 8,66 am höchsten. Der niedrigste Mittelwert wurde mit 6,98 für das Merkmal Trab verzeichnet. Lediglich für die während der Geländeprüfungen bewerteten Merkmale Galopp und Springmanier wurde Noten von 1 bis 10 vergeben. Im Mittel waren die im 70-Tage-Test geprüften Hengste 47 Monate alt.

3.1.5 Datenmaterial Pedigree

Die Pedigree-Datei, die 3'221'544 Pferde umfasste, enthielt die folgenden Informationen: Lebensnummer des Pferdes, Geschlecht, Geburtsdatum, Zuchtjahr, Name, Rasse, die Lebensnummer des Vaters und die Lebensnummer der Mutter.

Auf Basis der Phänotypen-Datei konnten aus dieser umfangreichen Pedigree-Datei 491'936 Leistungstiere und deren Vorfahren mit Hilfe eines python-Skriptes (Wensch-Dorendorf, 2006) identifiziert werden. Bei 8993 Tieren mit Beobachtungen konnte keine Mutter zugeordnet werden, für 7012 Tiere war der Vater unbekannt und bei 6331 Tieren mit Turniersportergebnissen war die Abstammung vollständig unbekannt. Diese Pedigreedatei wurde zuvor mit Hilfe der Software CFC (Sargolzaei *et al.*, 2006) sowie weiteren nicht veröffentlichten Programmen (Tietze, 2013) überprüft. Somit war es möglich, dass Tiere, die sowohl als Hengst als auch als Stute auftraten, korrigiert oder (wenn dies nicht möglich war) aus der Datei entfernt werden konnten. Die Abstammung von Tieren, deren Eltern jünger waren als sie selbst, wurde als unbekannt codiert. Traten Tiere in ihrem eigenen Pedigree auf, wurde ab diesem Fehler die Abstammung ebenso mit unbekannt angegeben. Diese Bearbeitungen wurden ebenfalls mit Hilfe der Software SAS 9.4 durchgeführt (SAS Institute Inc., 2012).

3.1.6 Pedigreeanalyse

Die Tiere, von denen Turniersportergebnisse vorlagen, hatten 15574 verschiedene Hengste zum Vater und 123583 verschiedene Mütter. Daraus ergab sich eine durchschnittliche Anzahl von 14,1 Nachkommen pro Hengst und 1,8 Nachkommen pro Stute. 95,05% der Beobachtungen stammten von Tieren, deren Väter mindestens fünf Nachkommen hatten, dies waren 35,06% der Väter. Der 1986 geborene rheinische Hengst Florestan I hatte mit 1245 die meisten Nachkommen.

Betrachtet man die Vielseitigkeit allgemein (Geländepferdeprüfungen inbegriffen) hatte ein Hengst im Mittel 3,4 Nachkommen mit Beobachtungen. Die Pferde, die in internationalen Vielseitigkeitsprüfungen gestartet waren, hatten 1179 Väter bei einer mittleren Nachkommenzahl von 2,2 pro Hengst. Mit 187 respektive 64 Nachkommen stellte hier jeweils der englische Vollbluthengst Heraldik XX (geboren 1982) mit deutlichem Abstand die meisten Nachkommen.

3.1.7 Inzuchtkoeffizient

Der Inzuchtkoeffizient (F) nach Wright (1922) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein herkunftsgleiches Allel sowohl vom Vater als auch von der Mutter an den Nachkommen vererbt wird. Die Berechnung der Inzuchtkoeffizienten erfolgte mit dem Programmpaket CFC (Sargolzaei *et al.*, 2006), welches wiederum auf einen von Sargolzaei *et al.* (2005) beschriebenen Logarithmus zur Berechnung der Inzuchtkoeffizienten zurückgreift.

Wurden alle Tiere mit Beobachtungen im Turniersport und ihre Vorfahren einbezogen, resultierte daraus ein durchschnittlicher Inzuchtkoeffizient von 0,010 für alle Tiere und von 0,015 für die ingezüchteten Tiere.

Die Abbildung 7 zeigt exemplarisch die Verteilung der Inzuchtkoeffizienten der Tiere mit Turniersportergebnissen in der Vielseitigkeit in Klassen. Der mittlere Inzuchtkoeffizient dieser Tiere betrug 0,009, das Minimum 0, das Maximum 0,315. Betrachtet man speziell die Gruppe der Pferde mit Starts in internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, wiesen diese einen durchschnittlichen Inzuchtkoeffizienten von 0,005 auf, das Maximum betrug hier 0,25, das Minimum 0.

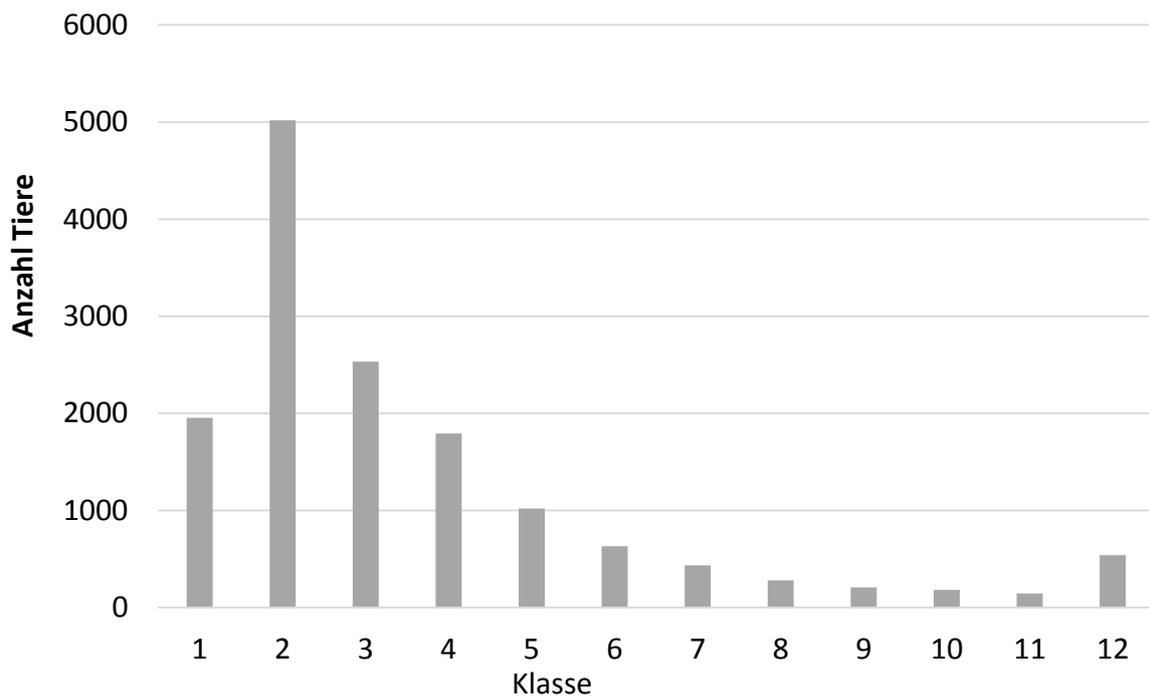


Abb. 7: Verteilung der Pferde mit Turniersportergebnissen in der Vielseitigkeit auf definierte Inzuchtkoeffizientenklassen (Klasse 1: $F = 0, 0,004$ Intervall, Klasse 12: $F > 0,04$).

3.1.8 Vollblutanteil im Pedigree

Der Anteil englischer Vollblüter im Pedigree wurde mit Hilfe eines Fortran90-Skriptes unter Berücksichtigung von vier Generationen berechnet. Vollblüter wurden anhand des Zuchtverbandskürzels 06 in der Lebensnummer identifiziert. Ihnen wurde ein Vollblutanteil von 1 zugewiesen. Für Tiere mit unbekannter Abstammung wurde der Vollblutanteil mit 0 definiert. Der Vollblutanteil eines Nachkommen errechnet sich wie folgt:

$$\text{Vollblutanteil Nachkomme} = (\text{Vollblutanteil Vater} + \text{Vollblutanteil Mutter})/2$$

Die Verteilung der Tiere hinsichtlich ihres Vollblutanteils, aufgetrennt nach Leistungen in nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, wird in Abb. 8 dargestellt.

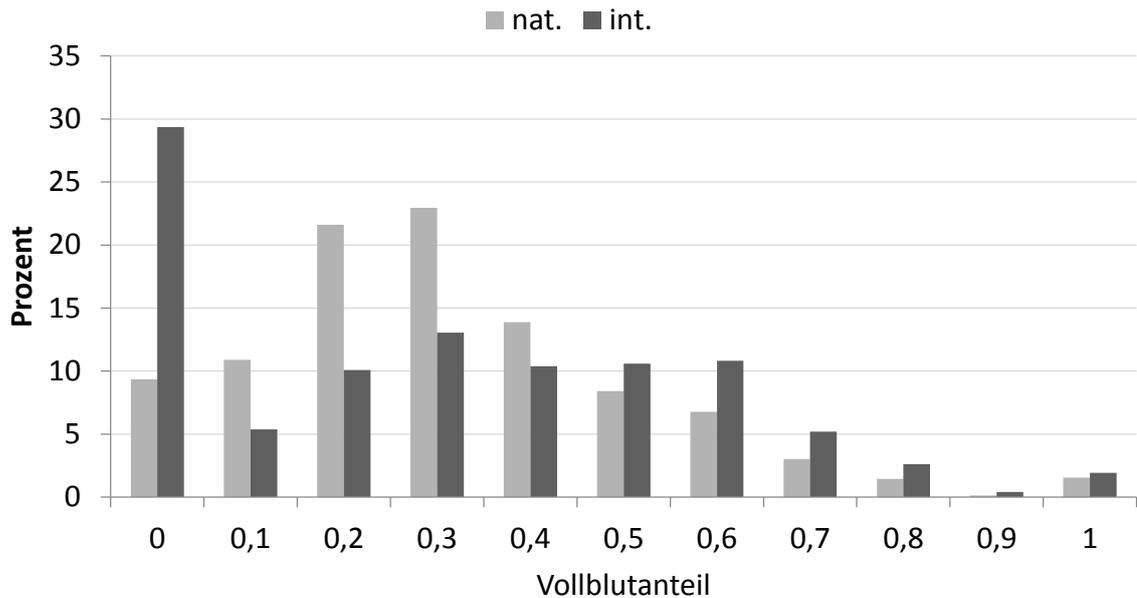


Abb. 8: Verteilung der Tiere mit Beobachtungen in nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen hinsichtlich ihres Vollblutanteils.

Während der durchschnittliche Vollblutanteil aller in der Phänotypen-Datei registrierten Tiere 0,27 betrug, lag dieser bei Tieren mit Beobachtungen in der Vielseitigkeit unabhängig von nationalen oder internationalen Prüfungen bei 0,30. Ein Vollblutanteil von 0 war in der Regel auf eine unbekannte Abstammung zurückzuführen.

3.1.9 Stutenstämme

Als Stammstute wurde das letzte bekannte weibliche Tier in der weiblichen Ahnenfolge auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Abstammungsdatei definiert. Die Tiere, deren Turniersportergebnisse für die Auswertung berücksichtigt wurden, gehen auf 30075 Stutenstämme zurück. Dies entspricht einem Durchschnitt von 7,01 Nachkommen pro Stutenstamm, das Maximum lag bei 577 Nachkommen pro Stutenstamm.

8994 Tieren konnte auf Grund unbekannter mütterlicher Abstammung kein Stutenstamm zugeordnet werden. Speziell für die Vielseitigkeit lagen 6293 Stutenstämme zu Grunde, die im Mittel 2,17 Nachkommen mit Turniersportergebnissen hatten.

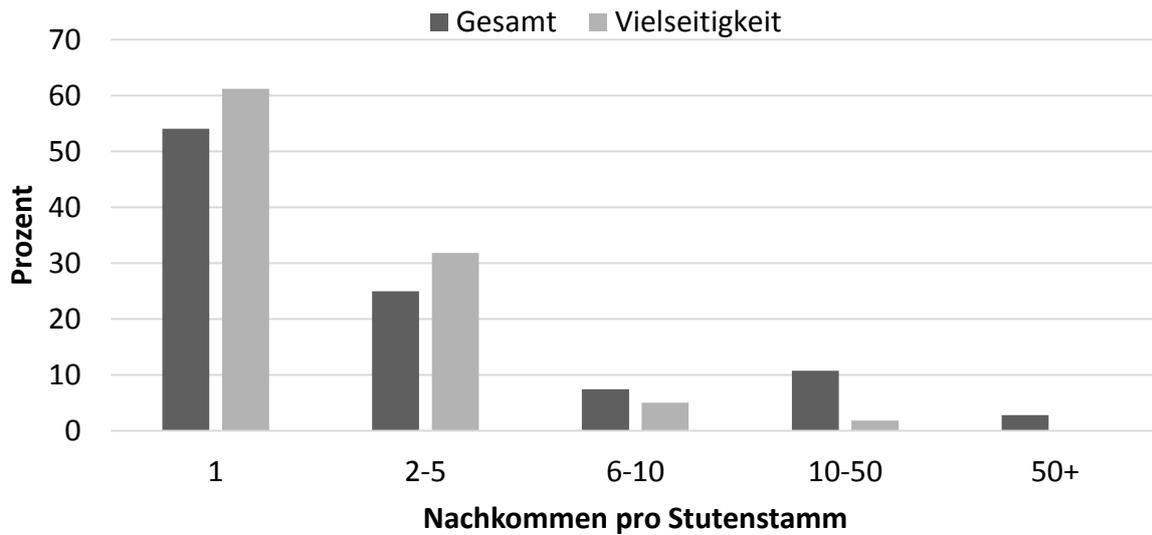


Abb. 9: Prozentuale Verteilung der Stutenstämme in Klassen für den gesamten Datensatz sowie nur für die Vielseitigkeit.

Über 54 Prozent der Stutenstämme hatten lediglich einen Nachkommen mit Turniersportergebnissen in den Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit sowie in den entsprechenden Jungpferdeprüfungen im Beobachtungszeitraum (Abb. 9). Fünfzig oder mehr Nachkommen hatten noch 2,8% der Stutenstämme. Betrachtete man nur die Leistungen in der Vielseitigkeit waren über 61 Prozent Stutenstämme mit nur einem Nachkommen mit Leistungen im Beobachtungszeitraum vertreten. Nur 0,03% (entspricht lediglich zwei Stutenstämmen) konnten 50 und mehr Nachkommen zugeordnet werden.

3.2 Methoden

3.2.1 Programme

Zur Schätzung genetischer Parameter wurden die Programme DMU 6.5.1 (Madsen und Jensen, 2002) und TM (Legarra *et al.*, 2011) genutzt. Dabei wurde für alle dargestellten Auswertungen die Methode Gibbs-Sampling verwendet.

Die Umkodierung der Daten erfolgte sofern notwendig mit dem Programm SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2012) und dem Programmpaket CFC (Sargolzaei *et al.*, 2006).

Das Programm DMU 6.5.1 (Madsen und Jensen, 2002) wurde in Dänemark an der Fakultät für Agrarwissenschaften/ Aarhus zur Varianzkomponentenschätzung und Zuchtwertschätzung (BLUP) in einem Zeitraum von über 25 Jahren programmiert und weiterentwickelt. Die Abkürzung DMU steht dabei für „Derivative-free approach to MULTivariate analysis by Restricted Maximum Likelihood (REML)“ (Madsen *et al.*, 2010). Das Programm ist modular aufgebaut, es kann zudem zwischen REML und RJMC ausgewählt werden, während das Programm TM grundsätzlich auf Gibbs-Sampling basiert.

Bei dem Programm TM von Legarra *et al.* (2011) handelt es sich um eine Fortran90-Software zur Schätzung von Varianzkomponenten und Zuchtwerten speziell für den Anwendungsbereich Tierzucht. Dabei können sowohl Schwellenwert- als auch lineare Modelle verwendet werden. Die Theorie der Schwellenwertmodelle (Sorensen und Gianola, 2002) beschreibt die Annahme, dass ein oder mehrere Schwellenwerte und eine Anfälligkeit einen Schwellenwert zu erreichen, einen beobachteten Phänotyp erklärt.

Verwendet man den Gibbs Sampler für Schwellenwertmodelle wird die Anfälligkeit als lästiger Parameter (Nuisance-Parameter) berücksichtigt. Ein lästiger Parameter ist an sich unbedeutend, sein unbekannter Wert wird aber zur Lösung des Gleichungssystems benötigt (Sorensen und Gianola, 2002). Bei jeder Iteration wird für jede Beobachtung eine Anfälligkeit, die beschriebene Schwelle über- oder unterzuschreiten, generiert (Legarra *et al.*, 2011).

3.3 Merkmalsdefinitionen

Es wurden mehrere verschiedene Ansätze der Merkmalsdefinition gewählt und miteinander verglichen. Neben dem transformierten Rang und dessen Kombination mit einem Gewichtungsfaktor wurden binäre und mehrstufige Merkmalskodierungen auf ihre Eignung in der Varianzkomponentenschätzung getestet.

3.3.1 Transformierter Rang

Der transformierte Rang nach Hassenstein *et al.* (1999) wird in Deutschland für die offizielle Zuchtwertschätzung der Disziplinen Dressur und Springen verwendet und ist wie folgt definiert:

$$TR = 11 - \sqrt{Rang}$$

Diese Transformation des Ranges durch die Quadratwurzel ermöglichte einen besseren Vergleich unterschiedlich großer Starterfelder bei einer gleichzeitig geringeren Varianz, aber einer günstigeren Varianzhomogenität. Zugleich ließ sich der Konkurrenzdruck auf vorderen Plätzen so besser abbilden (Hassenstein *et al.*, 1999).

Der Wertebereich für das Merkmal „transformierter Rang“ lag zwischen 1 und 10 (Abb. 10).

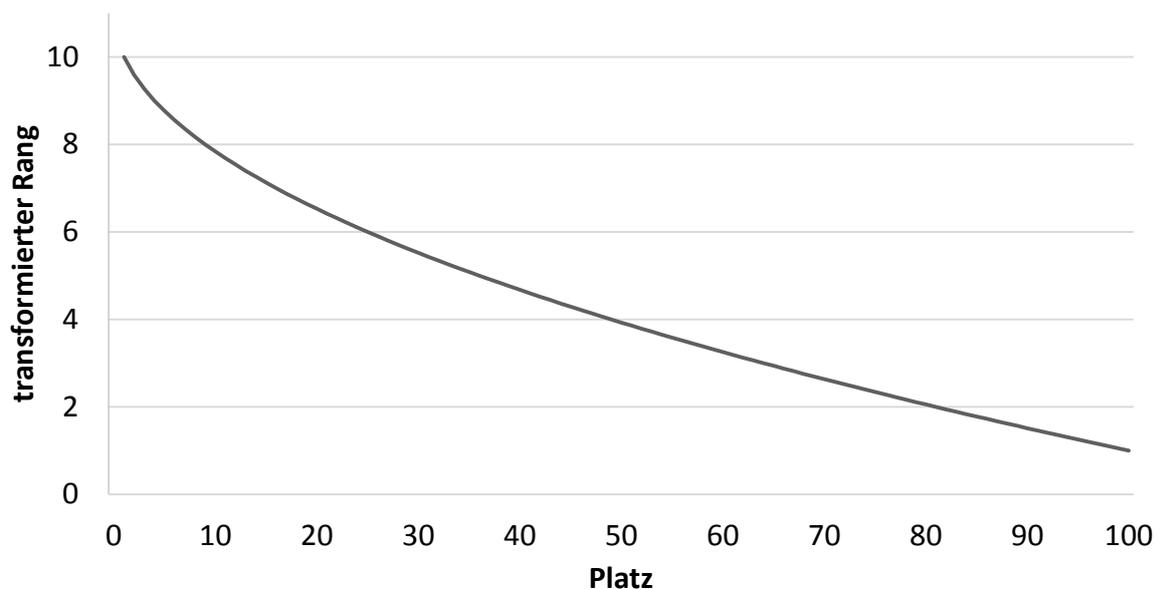


Abb. 10: Verhältnis zwischen Rangergebnis (Platz) und dem transformierten Rang.

3.3.2 Gewichteter transformierter Rang

Für die Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ wurde die Idee der Gewichtung der Prüfungsklassen durch einen Faktor (Höh, 2013) dahingehend modifiziert, dass der Gewichtungsfaktor in die Transformation des Rangergebnisses integriert wurde.

Der gewichtete transformierte Rang wurde definiert als:

$$GTR = 22,5 - \sqrt{Rang + X}$$

In der Tabelle 16 sind die Gewichtungsfaktoren, mit denen die Prüfungsklasse beim Merkmal „gewichteter transformierter Rang“ gewichtet wurde, dargestellt.

Dabei wurden den Klassen A, L, M und S Gewichtungsfaktoren zugewiesen, um den unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad der Prüfungsklassen stärker als beim transformierten Rang zu berücksichtigen. Dort wird die Prüfungsklasse lediglich als fixer Effekt im Model berücksichtigt.

Der Wertebereich für das Merkmal „gewichteter transformierter Rang“ lag zwischen 2,5, was dem 100. Platz in Klasse A entsprach, und 21,5, dem Wert für den ersten Platz in Klasse S.

Tab. 16: Gewichtungsfaktoren der Prüfungsklassen beim Merkmal „gewichteter transformierter Rang“.

Prüfungsklasse	Gewichtungsfaktor X
A	300
L	200
M	100
S	0

Bedingung war zudem, dass der erste Platz der niedrigeren Prüfungsklasse durch die gewichtete Transformation einen geringeren Wert erhielt als der 100. Platz der nächst höheren Klasse. Die kleiner werdende Steigung zwischen dem ersten und 100. Platz innerhalb einer Prüfungsklasse war auf den „quadratischen Effekt“ der Wurzel zurückzuführen (Abb. 11). Bei kleiner werdenden Gewichtungsfaktoren bekam der Effekt der Wurzel auf die Steigung eine größere Bedeutung. Der höhere Konkurrenzdruck auf den vorderen Plätzen (Hassenstein *et al.*, 1998) wurde so insbesondere in der schwersten Klasse S abgebildet.

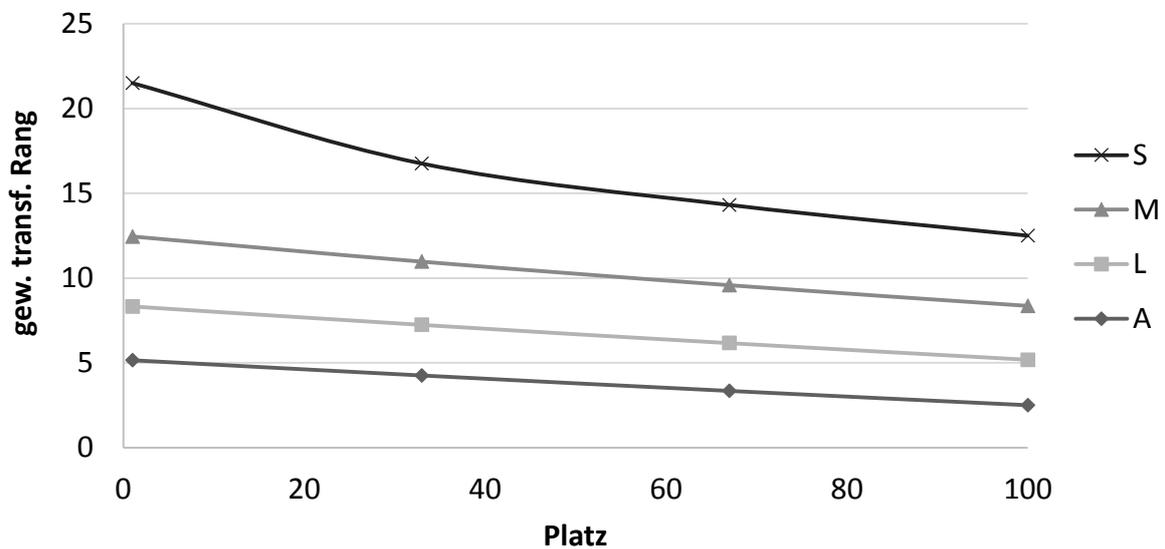


Abb. 11: Verhältnis zwischen dem Rangergebnis (Platzierung) und dem gewichteten transformierten Rang für die Prüfungsklassen.

Alternativ zu den linearen Modellen wurden Schwellenwertmodelle mit einer binären oder mehrstufigen Merkmalskodierung verwendet.

3.3.3 Binäre Merkmalskodierung

Die binären Zielvariablen wurden 0/1-kodiert. Dementsprechend wurde für das Erreichen einer definierten Leistung die 1 vergeben, für das Nicht-Erreichen die 0.

Zwei verschiedene Merkmalsdefinitionen wurden getestet:

(a) Platziert in jeweiliger Prüfung mit 1, nicht platziert mit 0 definiert

(b) Gestartet in Klasse S mit 1, nicht gestartet mit 0 definiert

Dabei bezog sich (b) auf den gesamten Beobachtungszeitraum. Der Datensatz wurde auf Tiere eingeschränkt, die ein Mindestalter von sieben Jahren, das zum Start in Prüfungen der Klasse S erforderlich ist, im Beobachtungszeitraum erreichten.

3.3.4 Mehrstufige Merkmalskodierung

Für das mehrstufige Schwellenwertmodell, das mit dem Programm TM (Legarra *et al.*, 2011) gerechnet wurde, wurden sieben Schwellen kodiert. Dabei entspricht für den ersten bis zum sechsten Platz der Rang der jeweiligen Kodierung, der siebte und alle weiteren Plätze wurden mit sieben kodiert.

3.4 Modelle

Im Vorfeld der Untersuchungen wurde mit SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2012) die Prozedur „Proc Mixed“ zur Überprüfung in Frage kommender Effekte (Test auf Signifikanz) durchgeführt. Aus Gründen der Praktikabilität konnte nur ein Teildatensatz mit vereinfachten Effekten verwendet werden. So wurden nur Ergebnisse der Disziplin Vielseitigkeit verwendet, anstelle des Veranstaltungseffekts wurde der Effekt Prüfjahrmonat eingesetzt und der zufällige Reitereffekt konnte nicht berücksichtigt werden.

Für den Vollbluteffekt wurden verschiedene Varianten getestet, so wurde dieser linear und quadratisch genestet mit der Kategorie national/ international sowie als fixer Effekt der Vollblutklasse mit 10 Effektstufen ins das Modell integriert.

Folgendes Modell wurde angewandt:

$$TR_VS_{ijklmno} = \mu + \text{alter}_j + \text{sex}_j + \text{kla}_k + \text{kni}_l + \text{pjm}_m + \text{vba}_n + n_o + e_{ijklmno}$$

TR_VS_{ijklmno} = Abhängige Variable transformierter Rang Vielseitigkeit

μ = Populationsmittel

alter_j = Kovariable des i-ten Alters in Jahren

sex_j = fixer Effekt des j-ten Geschlechts des Tieres

kla_k = fixer Effekt der k-ten Prüfungsklasse

kni_l = fixer Effekt der l-ten Kategorie national/international

pjm_m = fixer Effekt des m-ten Prüfjahrmonats

vba_n = Regression des n-ten Vollblutanteils genestet innerhalb Kategorie oder als fixer Effekt der Vollblutklasse

n_o = zufälliger Effekt des o-ten Tieres

e_{ijklmno} = zufälliger Resteffekt

Weiterhin wurde die SAS-Prozedur Proc Corr verwendet um Rangkorrelationen nach Spearman zwischen den Zuchtwerten resultierend aus den unterschiedlichen Merkmalsdefinitionen zu berechnen. Zur Auswertung der Turniersportergebnisse wurden verschiedene Ansätze hinsichtlich der verwendeten Modelle gewählt. Dies war mitunter durch die Merkmalsdefinition bedingt.

Ziel war eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit bereits in der Praxis zur Zuchtwertschätzung Dressur und Springen umgesetzten Herangehensweisen als auch der verschiedenen Ansätze untereinander.

3.4.1 Lineare Modelle

Vergleichbar mit dem Modell zur Schätzung der Teilzuchtwerte für den Turniersport Dressur und Springen des Vit (Jaitner und Reinhardt, 2012) wurde hier das Basismodell aufgestellt. Abweichend wurde anstelle des Effekts Alter x Geschlecht, wie vom Vit verwendet, das Geschlecht als fixer Effekt und das Alter (in Monaten) zum Zeitpunkt der Beobachtung als Kovariable verwendet. Zudem wurden hier anstelle des fixen Effekts der Prüfung die fixen Effekte der Veranstaltung und der Prüfungsklasse in das Modell integriert, da die Anzahl der Effektstufen eines Effekts der Prüfung hier technisch nicht realisierbar gewesen wären.

Übereinstimmend wurde Reitern ab 50 Beobachtungen auf 5 verschiedenen Pferden ein eigener Effekt zugewiesen, zusätzlich verwendet das Vit für alle Reiter, die dies nicht erfüllen, deren Leistungsklasse. Hier wurde die Leistungsklasse der Reiter ohne eigenen Effekt nicht berücksichtigt, da die Leistungsklasse in der Vielseitigkeit nicht im Datensatz vorlag.

Das statistische lineare **Basismodell 1** zur Schätzung genetischer Parameter wurde wie folgt definiert:

$Y_{ijklmno}$	= $\mu + V_i + S_j + K_k + Age_l + R_m + pe_n + a_o + e_{ijklmno}$
$Y_{ijklmno}$	= Beobachtungswert des Tieres im jeweiligen Merkmal
μ	= Populationsmittel
V_i	= fixer Effekt der i-ten Veranstaltung
S_j	= fixer Effekt des j-ten Geschlechts
K_k	= fixer Effekt der k-ten Prüfungsklasse (nicht berücksichtigt für GTR)
Age_l	= Kovariable des l-ten Alters in Monaten
R_m	= zufälliger Effekt des m-ten Reiters
pe_n	= zufälliger permanenter Umwelteffekt des n-ten Tieres
a_o	= zufälliger additiv-genetischer Effekt des o-ten Tieres
$e_{ijklmno}$	= zufälliger Restfehler

Der fixe Effekt der k-ten Klasse wurde nicht berücksichtigt wenn die Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ (GTR) verwendet wurde. Für den in Tabelle 19 dargestellten Vergleich zur Prüfung des Einflusses der Prüfungsklasse auf die Varianzkomponentenschätzung wurde die Prüfungsklasse in der entsprechend benannten Variante ebenfalls nicht verwendet.

Zur Schätzung genetischer Parameter wurde das lineare Basismodell 1 mittels der Programmen DMU 6.5.1 (Madsen und Jensen, 2002) und TM (Legarra *et al.*, 2011) verwendet. Mittels Gibbs Sampling erfolgten 100'000 Iterationen mit einer "Burn-in-Periode" von 10'000 Iterationen.

Das lineare Modell 2 beruht auf dem Basismodell 1 und wurde um weitere Effekte ergänzt. So wurden die fixen Effekte Geburtsjahr und Zuchtverband, die Kovariable des Vollblutanteils und der Stutenstamm als zufälliger Effekt zusätzlich berücksichtigt.

Folgende Definition galt für das lineare **Modell 2**:

$Y_{ijklmnopqrs}$	= $\mu + V_i + S_j + K_k + GJ_l + Z_m + Age_n + VB_o + R_p + St_q + pe_r + a_s + e_{ijklmnopqrs}$
$Y_{ijklmnopqrs}$	= Beobachtungswert des Tieres im jeweiligen Merkmal
μ	= Populationsmittel
V_i	= fixer Effekt der i-ten Veranstaltung
S_j	= fixer Effekt des j-ten Geschlechts
K_k	= fixer Effekt der k-ten Prüfungsklasse (nicht berücksichtigt für Merkmal GTR)
GJ_l	= fixer Effekt des l-ten Geburtsjahres
Z_m	= fixer Effekt des m-ten Zuchtverbandes
Age_n	= Kovariable des n-ten Alters in Monaten
VB_o	= Kovariable des o-ten Vollblutanteils in Prozent
R_p	= zufälliger Effekt des p-ten Reiters
St_q	= zufälliger Effekt des q-ten Stutenstamms
pe_r	= zufälliger permanenter Umwelteffekt des r-ten Tieres
a_s	= zufälliger additiv-genetischer Effekt des s-ten Tieres
$e_{ijklmnopqrs}$	= zufälliger Restfehler

Die Varianzkomponentenschätzung basierend auf dem linearen Modell 2 erfolgte mit dem Programm DMU 6.5.1 (Madsen und Jensen, 2002). Dabei wurden für definierte Merkmalskombinationen bivariate und trivariate Rechenläufe durchgeführt. Es erfolgten 100'000 Iterationen mit einer "Burn-in-Periode" von 20'000 Iterationen.

3.4.2 Schwellenwertmodelle

Die Schwellenwertmodelle wurden unter simultaner Berücksichtigung der binären Merkmale verwendet. Die Restvarianz wurde auf 1 gesetzt. Die Auswahl des Modells war abhängig von der Merkmalsdefinition. Die Modelle A und B wurden für die Merkmalsdefinition (a) platziert in jeweiliger Prüfung mit 1, nicht platziert mit 0 definiert, verwendet.

In Anlehnung an das Basismodell 1 wurde das **Schwellenwertmodell A** definiert als:

$$Y_{ijklmno} = \varphi + V_i + S_j + K_k + Age_l + R_m + pe_n + a_o$$

$Y_{ijklmno}$ = Beobachtungswert des Tieres im jeweiligen Merkmal

φ = Populationsmittel

V_i = fixer Effekt der i-ten Veranstaltung

S_j = fixer Effekt des j-ten Geschlechts

K_k = fixer Effekt der k-ten Prüfungsklasse

Age_l = Kovariable des l-ten Alters in Monaten

R_m = zufälliger Effekt des m-ten Reiters

pe_n = zufälliger permanenter Umwelteffekt des n-ten Tieres

a_o = zufälliger additiv-genetischer Effekt des o-ten Tieres

Mit den Programmen DMU 6.5.1 (Madsen und Jensen, 2002) und TM (Legarra *et al.*, 2011) wurden 100'000 Iterationen mit einer Burn-in-Periode von 10'000 Runden zur Schätzung der Varianzkomponenten durchgeführt.

Das Schwellenwertmodell B berücksichtigt im Vergleich zum Modell A weitere Effekte wie den zufälligen Effekt des Stutenstamms und entspricht diesbezüglich dem linearen Modell 2.

Es galt folgenden Definition für das **Schwellenwertmodell B**:

$$Y_{ijklmnopqrs} = \varphi + V_i + S_j + K_k + GJ_l + Z_m + Age_n + VB_o + R_p + ST_q + pe_r + a_s$$

$Y_{ijklmnopqrs}$ = Beobachtungswert des Tieres im jeweiligen Merkmal

φ = Populationsmittel

V_i = fixer Effekt der i-ten Veranstaltung

S_j = fixer Effekt des j-ten Geschlechts

K_k = fixer Effekt der k-ten Prüfungsklasse

GJ_l = fixer Effekt des l-ten Geburtsjahres

Z_m = fixer Effekt des m-ten Zuchtverbandes

Age_n = Kovariable des n-ten Alters in Monaten

VB_o = Kovariable des o-ten Vollblutanteils in Prozent

R_p = zufälliger Effekt des p-ten Reiters

St_q = zufälliger Effekt des q-ten Stutenstamms

pe_r = zufälliger permanenter Umwelteffekt des r-ten Tieres

a_s = zufälliger additiv-genetischer Effekt des s-ten Tieres

Die Merkmalsdefinition (b) (gestartet in Klasse S mit 1, nicht gestartet mit 0 definiert) soll die Fragestellung abbilden, ob ein Pferd, das alt genug war, entsprechend dem Zuchtziel Beobachtungen in der schwersten Klasse erreicht hat. Da über den Beobachtungszeitraum mehrere Beobachtungen mit unterschiedlichen Reitern und zu verschiedenen Zeitpunkten möglich waren, konnten die Effekte der Veranstaltung, des Reiters und des Alters nicht in das Modell integriert werden.

Es wurde folgendes **Schwellenwertmodell C** definiert:

Y_{ijklmn}	= $\varphi + S_i + GJ_j + Z_k + VB_l + a_m + pe_n$
Y_{ijklm}	= Beobachtungswert des Tieres im jeweiligen Merkmal
φ	= Populationsmittel
S_i	= fixer Effekt des i-ten Geschlechts
GJ_j	= fixer Effekt des j-ten Geburtsjahres
Z_k	= fixer Effekt des k-ten Zuchtverbandes
VB_l	= Kovariable des l-ten Vollblutanteils in Prozent
pe_m	= zufälliger permanenter Umwelteffekt des m-ten Tieres
a_n	= zufälliger additiv-genetischer Effekt des n-ten Tieres

Die Varianzkomponentenschätzung der Schwellenwertmodelle B und C wurde mit dem Programm DMU 6.5.1 (Madsen und Jensen, 2002) durchgeführt. Mittels Gibbs Sampling, ergänzt um den bei Ødegård *et al.* (2010) beschriebenen Algorithmus, erfolgten 100'000 Iterationen, die Anzahl der Iterationen in der "Burn-in-Periode" wurden auf 20'000 Iterationen erhöht um eine Unabhängigkeit der Zufallsvektoren $X^{(n)}$ von den Anfangswerten $X^{(0)}$ zu erreichen.

3.4.3 Modell Hengstleistungsprüfung

Bei dem zur Schätzung von genetischen Parametern von Hengstleistungsprüfungsmerkmalen verwendeten Modell handelt es sich ebenfalls um ein lineares Modell mit einem fixen Effekt aus der Kombination von Prüfstation, Prüfdurchgang und Prüfungsjahr sowie einer Kovariable des Alters zum Prüfungszeitpunkt. Wiederholte Beobachtungen lagen nicht vor.

Das folgende **Modell HLP** wurde in Kombination mit dem Basismodell 1 in bivariaten Rechenläufen mit dem Programm DMU 6.5.1 (Madsen und Jensen, 2002) verwendet:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + Age_j + a_k + e_{ijk}$$

Y_{ij} = Beobachtungswert des Tieres im jeweiligen Merkmal

μ = Populationsmittel

V_i = fixer Effekt der i-ten Kombination von Prüfstation, Prüfdurchgang und Prüfungsjahr

Age_j = Kovariable des j-ten Alters in Monaten

a_k = zufälliger additiv-genetischer Effekt des k-ten Tieres

e_{ijk} = zufälliger Restfehler

Es wurden 100'000 Iterationen mit einer Burn-in-Periode von 10'000 Runden zur Schätzung der Varianzkomponenten durchgeführt.

Abschließend wurden zur besseren Übersicht in der Tabelle 17 die verwendeten Modelle zusammengefasst und in Beziehung zueinander gesetzt.

Tab. 17: Übersicht der beschriebenen und verwendeten Modelle.

Modell	Beschreibung
Lineares Basismodell 1:	Angelehnt an das vom Vit und der FN verwendeten Modell zur Zuchtwertschätzung Turniersport Dressur und Springen
Lineares Modell 2:	Basiert auf dem Basismodell 1, erweitert um die fixen Effekte Geburtsjahr und Zuchtverband, den zufälligen Effekt des Stutenstamms und die Kovariable Vollblutanteil
Schwellenwertmodell A:	Verwendete Effekte entsprechen denen des linearen Basismodells 1
Schwellenwertmodell B:	Verwendete Effekte entsprechen denen des linearen Modells 2
Schwellenwertmodell C:	Angepasst an die Merkmalskodierung (b) gestartet/nicht gestartet in Klasse S
Modell HLP:	Angepasst an das Datenmaterial Hengstleistungsprüfung

3.5 Formeln

3.5.1 Berechnung Zuchtwerte

Die Zuchtwerte wurden auf einer Relativskala mit einem Mittelwert von 100 und einer genetischen Streuung von 20 Punkten standardisiert.

Zur Berechnung der standardisierten Zuchtwerte gilt:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \times 20 + 100$$

Dabei steht x für den jeweiligen Zuchtwert, μ für den Mittelwert der Zuchtwerte und σ für die Standardabweichung der Zuchtwerte.

Die Formel zur Berechnung der Genauigkeit der Zuchtwerte nach Falconer und Mackay (1996) lautet:

$$r = \sqrt{1 - \frac{SE^2}{\sigma_a^2}}$$

Der Standardfehler der Zuchtwerte wird durch SE symbolisiert, σ_a^2 ist die additiv-genetische Varianz des Merkmals.

3.5.2 Berechnung Stammheritabilität

Berücksichtigt man den Stutenstamm als zufälligen Effekt im Modell der Varianzkomponentenschätzung, wird die Varianz dieses Effekts ermittelt. Die Heritabilität des Stutenstammes entspricht dem Anteil der Varianz des Stutenstammes an der Gesamtvarianz.

$$\begin{aligned} \text{Heritabilität des Stutenstamm (} l^2 \text{)} \\ = \text{Varianz des Stutenstamms} / \text{Gesamtvarianz} \end{aligned}$$

4. Ergebnisse

Der Schwerpunkt der Untersuchungen, deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden, lag in der Varianzkomponentenschätzung für Turniersport- und Leistungsprüfungsmerkmale sowie im Vergleich verschiedener Merkmalsdefinitionen und Modellierungen.

4.1 Signifikanztest mit „Proc Mixed“

Im vorgeschalteten Test einzelner Effekte auf Signifikanz wurde wie in Kap. 3.4 beschrieben, vorgegangen.

Alle getesteten Effekte (Alter in Jahren, Geschlecht, Prüfjahrmonat, Prüfungsklasse, Kategorie und der Vollblutanteil) waren für Turniersportergebnisse in der Vielseitigkeit (transformierter Rang) hoch signifikant ($<0,0001$) unabhängig von der verwendeten Art des Vollblutanteils. Der höchste AIC-Wert wurde unter Verwendung des Vollblutanteils, linear genestet innerhalb der Kategorie, berechnet. Wurde der Vollblutanteil in Klassen als fixer Effekt eingesetzt, wurde der AIC-Wert kleiner. Der kleinste AIC-Wert konnte erreicht werden, wenn der Vollblutanteil quadratisch genestet innerhalb der Kategorie verwendet wurde. Nachfolgend werden daher die Ergebnisse der Effekte Geschlecht, Klasse und Kategorie aus dem Modell mit dem quadratischen Vollblutanteil graphisch dargestellt. Zusätzlich werden alle drei Varianten des Vollblutanteils aufgeführt.

Die Abbildung 12 stellt die korrigierten Mittelwerte der Geschlechter dar. Dabei unterschieden sich Hengste und Stuten nicht signifikant voneinander, der Unterschied zwischen Hengsten und Wallachen war signifikant ($<0,05$) und Wallache waren hochsignifikant erfolgreicher als Stuten ($<0,0001$).

Auch für den Effekt der Prüfungsklasse in der Vielseitigkeit konnten hoch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen festgestellt werden, lediglich zwischen den Klassen M und S konnte diese Beobachtung nicht gemacht werden (Abb. 13).

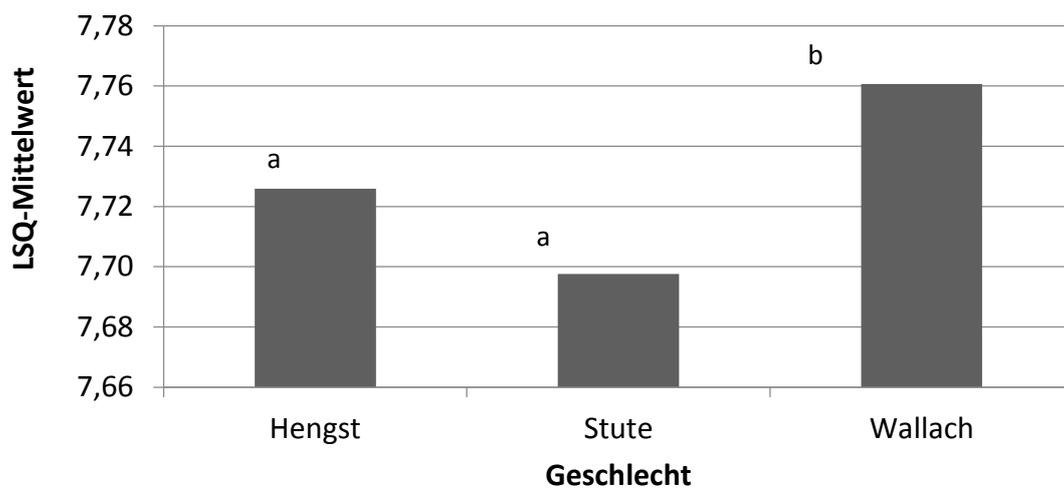


Abb. 12: LSQ-Mittelwerte für die Effektstufen des Effekts Geschlecht, Merkmal Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition transformierter Rang.

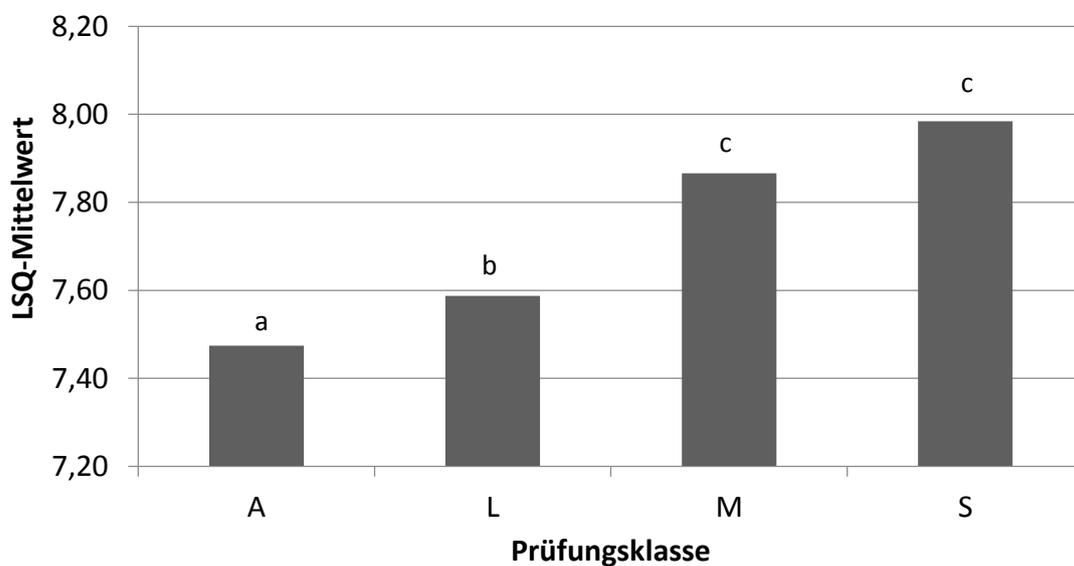


Abb. 13: LSQ-Mittelwerte für die Effektstufen des Effekts Prüfungsklasse, Merkmal Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition transformierter Rang.

Die in Abbildung 14 abgetragenen Schätzwerte für die Kategorien national und international in der Vielseitigkeit wichen ebenfalls hoch signifikant ($<0,0001$) voneinander ab.

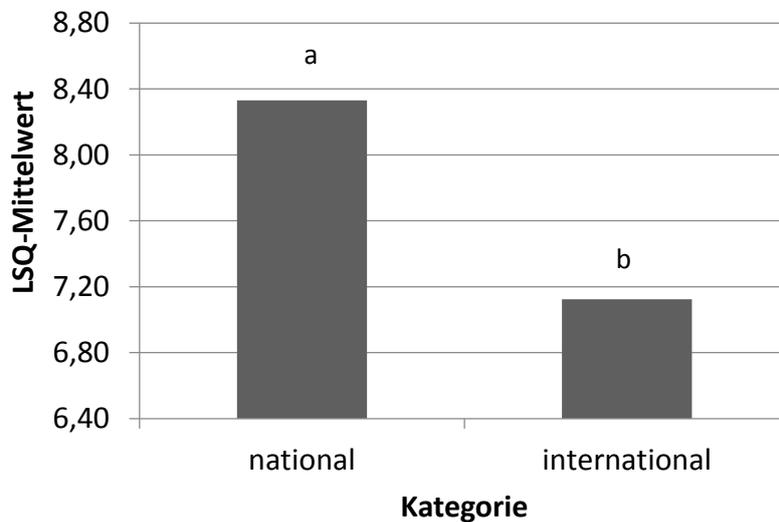


Abb. 14: LSQ-Mittelwerte für die Effektstufen des Effekts Kategorie, Merkmal Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition transformierter Rang.

Wurde der Vollblutanteil als fixer Effekt im Modell berücksichtigt, zeigte sich folgende in Abbildung 15 veranschaulichte Verteilung. Der Schätzwert bewegt sich für nationale Vielseitigkeitsprüfungen über die Vollblutklassen im Bereich zwischen 8,29 (Klasse 9) und 8,41 (Klasse 7) mit einem Ausreißer (8,14) in Klasse 10. Die Schätzwerte waren in der internationalen Kategorie deutlich niedriger als in der nationalen. Es konnte ein kontinuierlicher Anstieg von Klasse 1 (6,77) bis Klasse 7 (7,38) beobachtet werden, der höchste Wert wurde für die Klasse 9 (7,39) berechnet, die Klassen 8 und 10 lagen darunter.

Wurde der Vollblutanteil linear genestet innerhalb der Kategorie verwendet, konnten insgesamt höhere Schätzwerte in der nationalen Kategorie verzeichnet werden (Abb. 16). Die Schätzwerte für nationale Vielseitigkeitsprüfungen stiegen leicht von 8,31 (0%) auf 8,36 (100%) an. Bei internationalen Prüfungen gab es einen deutlichen Anstieg der Schätzwerte von 6,86 (0%) auf 7,51 (100%).

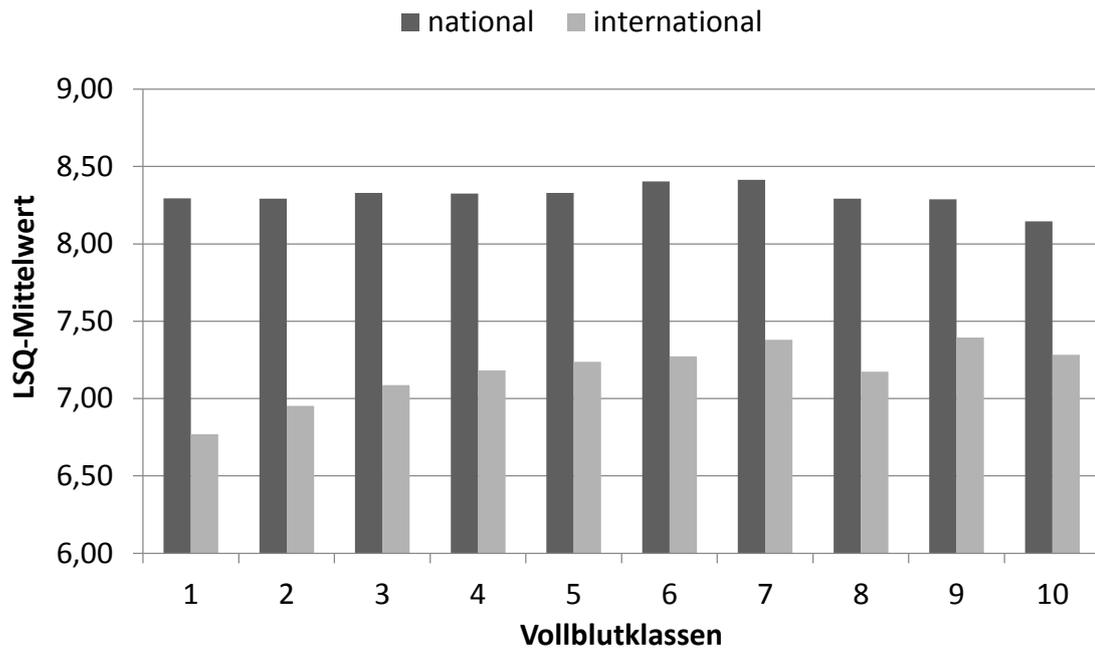


Abb. 15: LSQ-Mittelwerte der Vollblutklassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Intervall der Vollblutklassen 0,1, AIC-Wert: 218734,6.

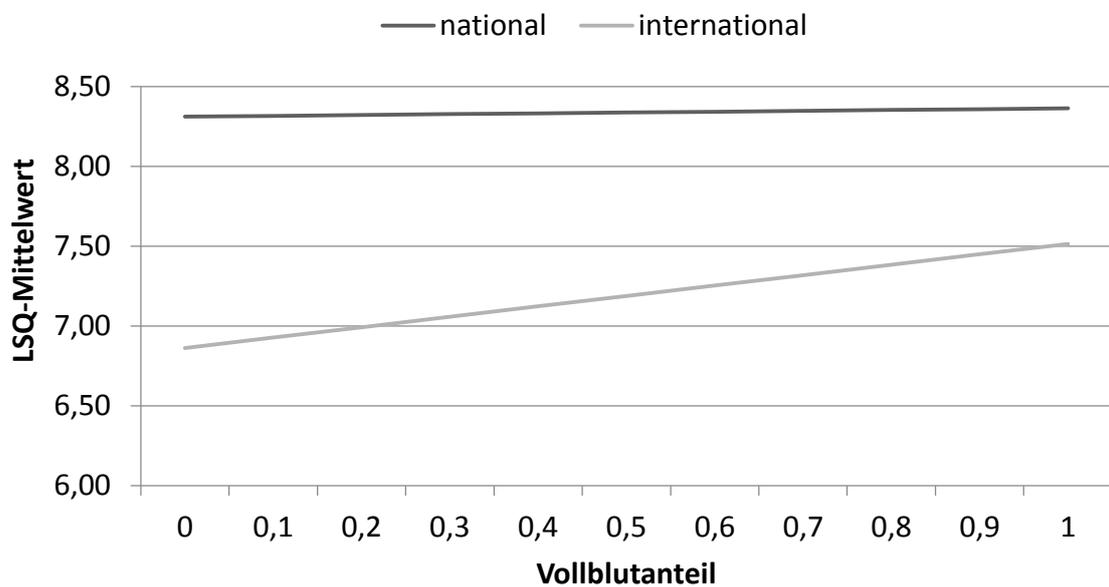


Abb. 16: LSQ-Mittelwerte des linearen Vollblutanteils für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, AIC-Wert 218681,5.

Wurde der Vollblutanteil quadratisch modelliert und genestet innerhalb der Kategorie in das Modell integriert, konnten ebenfalls in der nationalen Kategorie höhere Schätzwerte als in der internationalen Kategorie geschätzt werden. Dabei war die Kurve in der nationalen Kategorie sehr flach mit ihrem Maximum bei einem Vollblutanteil von 50%, während die Kurve der internationalen Kurve eine größere Krümmung aufwies. Das Maximum lag hier bei einem Vollblutanteil von 70% (Abb. 17). Für diese Modellierung des Vollblutanteils konnte der kleinste AIC-Wert (218580,9) erreicht werden, im Vergleich mit einem AIC-Wert von 218681,5 wenn der Vollblutanteil linear genestet innerhalb der Kategorie verwendet wurde und 218734,6 wenn der Vollblutanteil als fixer Effekt in Klassen modelliert wurde.

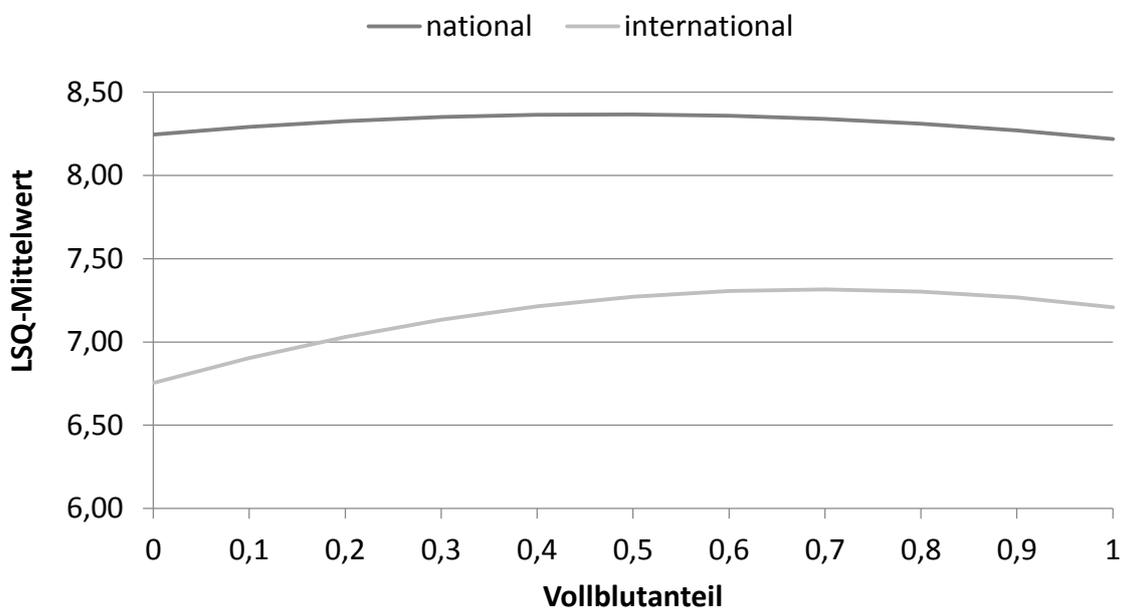


Abb. 17: LSQ-Mittelwerte des quadratischen Vollblutanteils für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, AIC-Wert 218580,9.

4.2 Varianzkomponenten, Heritabilitäten und genetische Korrelationen

In einem ersten Schritt wurden Heritabilitäten und genetische Korrelationen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen geschätzt. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse beruhen auf bivariaten Rechenläufen, für die das lineare Basismodell 1 verwendet wurde, entsprechend fielen jeweils zwei Werte für die jeweilige Heritabilität an. Für die in Tabelle 18 dargestellten Werte wurde die Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ angenommen.

Tab. 18: Posterior means der Heritabilitäten (Diagonale) und genetischen Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen sowie Geländepferdeprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichung in Klammern.

	VS national	VS international	Geländepferdeprüf.
VS national	0,04 (0,01)* 0,05 (0,01)**	0,45 (0,12)	0,54 (0,07)
VS international		0,06 (0,01)*** 0,05 (0,02)**	0,39 (0,16)
Geländepferdeprüf.			0,07 (0,01)*** 0,08 (0,01)*

* Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit VS international; ** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Geländepferdeprüfung; *** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit VS national.

Für Turniersportergebnisse in nationalen Vielseitigkeitsprüfungen konnten Heritabilitäten von 0,04 und 0,05 geschätzt werden. Für internationale Prüfungen betragen diese 0,05 und 0,06. Mit 0,07 und 0,08 waren die Heritabilitäten der Geländepferdeprüfungen noch etwas größer. Moderate genetische Korrelationen wurden zwischen den drei hier betrachteten Merkmalen festgestellt.

Die Korrelation zwischen nationaler Vielseitigkeit und Geländepferdeprüfungen war sowohl größer als die zwischen internationaler Vielseitigkeit und Geländepferdeprüfungen als auch die zwischen nationalen und internationalen Prüfungen.

Vergleichend wurde ein bivariater Schätzlauf für die Merkmale Vielseitigkeit national und Vielseitigkeit international ohne Berücksichtigung der Prüfungsklasse durchgeführt. Die resultierenden Ergebnisse für die Varianzkomponenten stimmten mit denen unter Berücksichtigung der Prüfungsklasse überein (Tab. 19).

Tab. 19: Varianzkomponenten sowie Heritabilitäten und genetische Korrelationen von nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen geschätzt in bivariaten Rechenläufen mit und ohne Berücksichtigung der Prüfungsklasse als Effekt im Basismodell 1, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichungen in Klammern.

	Modell 1 mit Klasse		Modell 1 ohne Klasse	
Additiv genet. Varianz Vn	0,05	(0,01)	0,05	(0,01)
Additiv genet. Varianz Vi	0,15	(0,03)	0,16	(0,04)
Genet. Kovarianz Vn*Vi	0,04	(0,01)	0,04	(0,01)
Restvarianz Vn	0,84	(0,01)	0,84	(0,01)
Restvarianz Vi	1,45	(0,02)	1,45	(0,02)
Heritabilität Vn	0,04	(0,01)	0,04	(0,01)
Heritabilität Vi	0,06	(0,01)	0,06	(0,01)
genet. Korrelation Vn*Vi	0,45	(0,12)	0,42	(0,11)

Nur für genetische Korrelationen ließ sich eine geringfügige Abweichung feststellen. Anhand des Bayes-Faktors (Kass und Raftery, 1995), berechnet aus den marginal log-likelihood-Werten, lassen sich verschiedene Modelle vergleichen.

Der Bayesfaktor ($\log B_{12}$) betrug hier 1,00 und ließ auf keine nennenswerte Evidenz des Modells unter Berücksichtigung der Prüfungsklasse als Effekt gegenüber dem Modell ohne Prüfungsklasse als Effekt schließen. Die Rangkorrelationen der Zuchtwerte innerhalb eines Merkmals betrugen jeweils 0,99 bei einer Signifikanz von $<0,0001$.

Für die Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ wurden die geschätzten genetischen Parameter in Tabelle 20 aufgeführt.

Tab. 20: Heritabilitäten (Diagonale) und genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen sowie Geländepferdeprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“, Standardabweichung in Klammern.

	VS national	VS international	Geländepferdeprüf.
VS national	0,07 (0,01)* 0,07 (0,01)**	0,37 (0,01)	0,22 (0,04)
VS international		0,08 (0,01)*** 0,09 (0,02)**	0,09 (0,06)
Geländepferdeprüf.			0,13 (0,01)*** 0,13 (0,01)*

* Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit VS international; ** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Geländepferdeprüfung; *** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit VS national.

Die höchsten Heritabilitäten konnten wiederum für die Geländepferdeprüfungen vermerkt werden, die Heritabilitäten von nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen lagen mit 0,07 und 0,08 bzw. 0,09 darunter. Zwischen den nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen wurde eine moderate genetische Korrelation von 0,37 berechnet, zwischen diesen und der Geländepferdeprüfung konnten jeweils nur geringe genetische Beziehungen festgestellt werden.

Für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen wurden für die Merkmalsdefinitionen transformierter Rang und gewichteter transformierter Rang Rangkorrelationen zwischen den Zuchtwerten geschätzt. Dabei wurden nur Zuchtwerte mit einer Genauigkeit größer gleich 0,4 berücksichtigt.

Die Rangkorrelationen der Zuchtwerte (Tab. 21) waren innerhalb der Prüfungsarten sehr hoch und entsprachen zwischen den Prüfungsarten mit Werten von 0,43 bis 0,51 dem Wertebereich der geschätzten genetischen Korrelationen (dargestellt in Tab. 18 und 20).

Tab. 21: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten mit einer Genauigkeit $\geq 0,4$ für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen der Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ (TR) und „gewichteter transformierter Rang“ (GTR) (n=501), Signifikanzniveau aller Werte $<0,0001$.

	TR VS national	TR VS international	GTR VS national	GTR VS international
TR VS national	1	0,44	0,94	0,47
TR VS international		1	0,43	0,91
GTR VS national			1	0,51
GTR VS international				1

Eine hohe genetische Korrelation von 0,79 zwischen nationalen Vielseitigkeitsprüfungen und der Dressur wurde unter Verwendung des transformierten Ranges geschätzt (Tab. 22). Während nationale Vielseitigkeitsprüfungen nur gering mit dem Springen korrelieren, konnten für internationale Vielseitigkeitsprüfungen moderate Korrelationen zu Dressur und Springen festgestellt werden. Die geschätzten Heritabilitäten waren mit 0,10 für die Dressur am größten.

Tab. 22: Heritabilitäten (Diagonale) und genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) aus bivariaten Rechenläufen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen sowie Dressur und Springen, Turniersportergebnisse 2010 bis 2013, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“.

	VS national	VS international	Dressur	Springen
VS national	0,06 (0,01)* 0,06 (0,01)** 0,05 (0,01)***	0,37 (0,21)	0,79 (0,03)	0,19 (0,07)
VS international		0,07 (0,02)**** 0,04 (0,01)** 0,05 (0,01)***	0,41 (0,12)	0,35 (0,06)
Dressur			0,10 (0,01)**** 0,10 (0,01)*	
Springen				0,08 (0,01)**** 0,09 (0,01)*

* Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit VS international; ** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Dressur; *** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Springen; **** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit VS national

Auf Grund der Datenfülle für die Disziplinen Dressur und Springen und der damit verbundenen Rechendauer wurde hier der Beobachtungszeitraum auf die Jahre 2010 bis 2013 eingeschränkt und kein bivariater Rechenlauf mit der Merkmalskombination Dressur und Springen durchgeführt.

Den in Tabelle 23 und 24 dargestellten Heritabilitäten und genetischen Korrelationen lagen bivariate Rechenläufe mit dem linearen Basismodell 1 zugrunde. Für Dressur- und Springpferdeprüfungen wurden für die beiden Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“ bzw. „gewichteter transformierter Rang“ vergleichbare Heritabilitäten geschätzt. Lediglich die Heritabilität der Geländepferdeprüfungen war unter Verwendung des gewichteten transformierten Ranges größer. Die höchste Erblichkeit konnte für das Rangergebnis (transformiert) in Dressurpferdeprüfungen geschätzt werden.

Tab. 23: Heritabilitäten (Diagonale) und genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) aus bivariaten Rechenläufen für Dressurpferde-, Springpferde- und Geländepferdeprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“.

	Dressurpferdeprüf.	Springpferdeprüf.	Geländepferdeprüf.
Dressurpferdeprüf.	0,14 (0,01)* 0,14 (0,01)**	0,41 (0,03)	0,52 (0,06)
Springpferdeprüf.		0,07 (0,01)*** 0,07 (0,01)**	0,44 (0,05)
Geländepferdeprüf.			0,09 (0,01)*** 0,07 (0,01)*

* Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Springpferdeprüfungen; ** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Geländepferdeprüfungen; *** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Dressurpferdeprüfungen.

Weiterhin stimmten die hier geschätzten Heritabilitäten der Geländepferdeprüfungen mit denen aus den bivariaten Rechenläufen mit nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen überein (Tab. 18 und 20). Die genetischen Korrelationen folgten dem bereits oben beobachteten Trend, dass diese geringer waren, wenn der gewichtete transformierte Rang verwendet wurde.

Dabei konnte die größte genetische Korrelation zwischen Dressurpferde- und Geländepferdeprüfungen mit 0,52 für den transformierten Rang festgestellt werden, wohingegen für die Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ die größte genetische Korrelation mit 0,30 jene zwischen den Dressur- und Springpferdeprüfungen war. Bestand unter Berücksichtigung des transformierten Ranges die engere genetische Beziehung zwischen Dressurpferdeprüfungen und Geländepferdeprüfungen, war diese für die Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ zwischen Springpferdeprüfungen und Geländepferdeprüfungen größer.

Tab. 24: Heritabilitäten (Diagonale) und genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) aus bivariaten Rechenläufen für Dressurpferde-, Springpferde- und Geländepferdeprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“.

	Dressurpferdeprüf.	Springpferdeprüf.	Geländepferdeprüf.
Dressurpferdeprüf.	0,13 (0,01)* 0,13 (0,01)**	0,30 (0,03)	0,18 (0,04)
Springpferdeprüf.		0,07 (0,01)*** 0,06 (0,01)**	0,22 (0,04)
Geländepferdeprüf.			0,13 (0,01)*** 0,13 (0,01)*

* Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Springpferdeprüfungen; ** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Geländepferdeprüfungen; *** Berechnet in bivariatem Rechenlauf mit Dressurpferdeprüfungen

4.2.1 Schwellenwertmodelle

Alternativ zu den linearen Modellen wurden drei verschiedene Schwellenwertmodelle und unterschiedliche Merkmalskodierungen getestet. Für einen Modellvergleich zwischen Modell A, das auf dem linearen Basismodell beruht, und dem Modell B, das um einige Effekte erweitert wurde (siehe Modellbeschreibung), wurden in Tabelle 25 die geschätzten Heritabilitäten und genetischen Korrelationen für die Merkmale nationale bzw. internationale Vielseitigkeit dargestellt. Es wurden in Modell B geringere additiv-genetische Varianzen geschätzt, entsprechend waren die mit Modell A größer als die in Modell B geschätzten Heritabilitäten. Die Varianz des Stutenstamms (Modell B) ist in Tab. 31 ersichtlich. Für die mit Modell B geschätzten Heritabilitäten konnten geringere Standardabweichungen verzeichnet werden, allerdings war anhand des Bayes-Faktors (Kass und Raftery, 1995) keine nennenswerte Evidenz des Modells B gegenüber dem Modell A festzustellen.

Tab. 25: Varianzkomponenten, Heritabilitäten und genetische Korrelationen von nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen geschätzt in bivariaten Rechenläufen mit der binären Merkmalskodierung (a) unter Verwendung der Schwellenwertmodelle A und B, Standardabweichungen in Klammern.

	Modell A		Modell B	
Additiv genet. Varianz Vn	0,14	(0,02)	0,10	(0,02)
Additiv genet. Varianz Vi	0,26	(0,06)	0,17	(0,07)
Genet. Kovarianz Vn*Vi	0,11	(0,03)	0,07	(0,03)
Restvarianz Vn	1		1	
Restvarianz Vi	1		1	
Heritabilität Vn	0,07	(0,03)	0,05	(0,01)
Heritabilität Vi	0,11	(0,09)	0,07	(0,03)
genet. Korrelation Vn*Vi	0,60	(0,10)	0,51	(0,13)

Im Vergleich der Abbildungen 18 für das Schwellenwertmodell A und 19 für das Modell B zeigten jeweils die Verläufe der Varianzen und Heritabilitäten für internationale Vielseitigkeit über die Iterationen stärkere Schwankungen als für die nationalen Vielseitigkeitsprüfungen.

In den dem Schwellenwertmodell B zugeordneten Grafiken waren für beide Merkmale und beide Parameter geringere Abweichungen als im Modell A festzustellen. In allen Fällen konnte aber ein vollständig linearer Verlauf nicht erreicht werden.

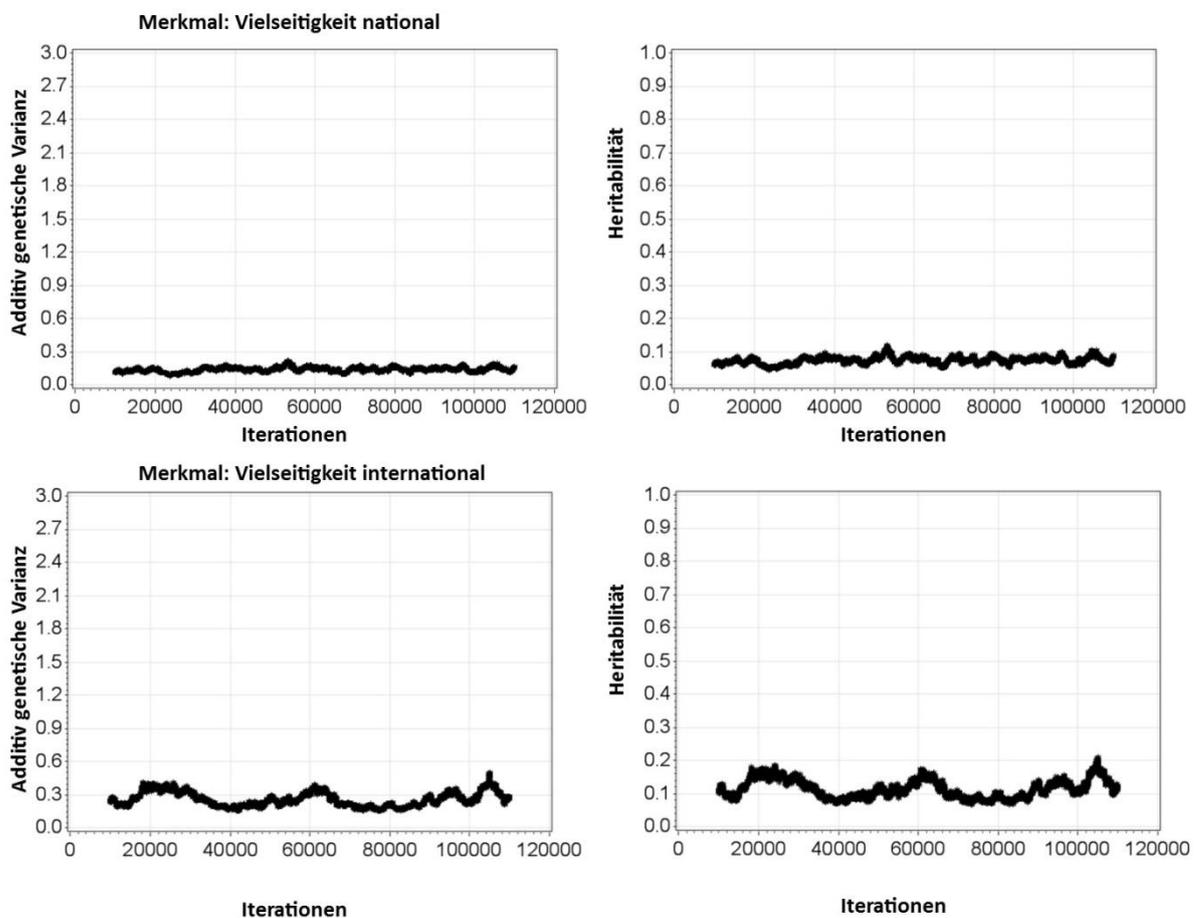


Abb. 18: Additiv genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Vielseitigkeit national und Vielseitigkeit international, Schwellenwertmodell A.

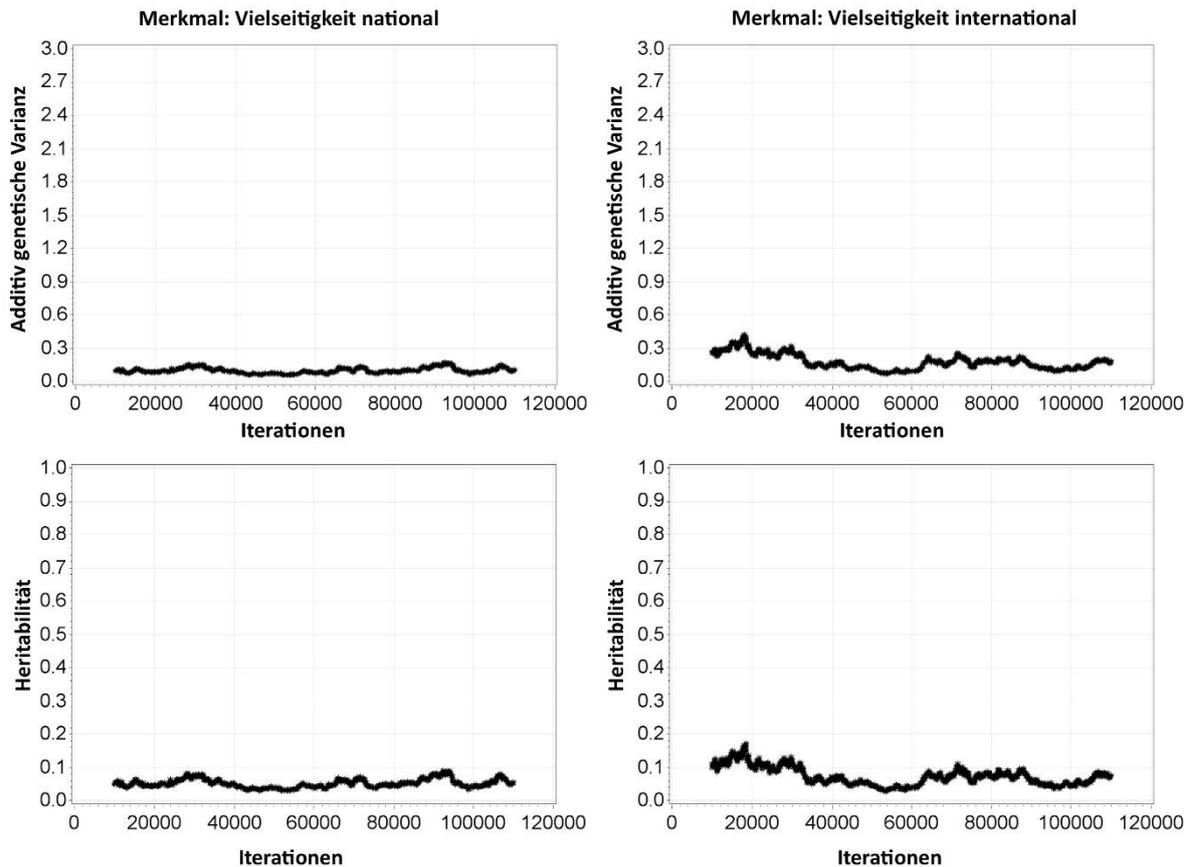


Abb. 19: Additiv-genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Vielseitigkeit national und Vielseitigkeit international, Schwellenwertmodell B.

Vergleichend wurde neben dem Softwarepaket DMU 6.5.1 das Programm TM von Legarra *et al.* (2011) verwendet. Die Software ermöglichte sowohl die Verwendung linearer Modelle als auch Schwellenwertmodelle. Auf Grundlage des dem linearen Basismodell 1 und dem Schwellenwertmodell A wurden nachfolgende in Tabelle 26 dargestellte Ergebnisse berechnet. Zunächst wurde neben der Merkmalsdefinition transformierter Rang eine binäre Merkmalskodierung übereinstimmend mit der Merkmalskodierung (a) für das Schwellenwertmodell gewählt. Die weiterhin verwendete siebenstufige Definition des Merkmals wurde im entsprechenden Kapitel zu Material und Methoden (3) erläutert.

Die Heritabilität für nationale Vielseitigkeitsprüfungen war für beide Schwellenwert-Rechenläufe identisch, unter Verwendung des transformierten Ranges war die Heritabilität mit 0,06 etwas niedriger.

Im Falle der binären Kodierung lag die Heritabilität der internationalen Prüfungen mit 0,04 deutlich unter der der nationalen Prüfungen. Wurde die siebenstufige Kodierung gewählt, lag die Heritabilität der internationalen Vielseitig mit 0,14 deutlich über der Heritabilität der nationalen Vielseitigkeit. Dieser Trend war auch beim transformierten Rang zu beobachten. Der Wertebereich der genetischen Korrelationen nahm für die Schwellenwertmodelle eine vergleichbare Größenordnung an. Mit dem transformierten Rang als Merkmal war die genetische Korrelation deutlich kleiner (Tab. 26).

Tab. 26: Vergleich der Varianzkomponenten, Heritabilitäten und genetischen Korrelationen für die Merkmale Vielseitigkeit national und international, geschätzt mit der Software TM für die lineare Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, eine binäre Kodierung und eine Kodierung mit 7 Schwellen, Standardabweichungen in Klammern.

	Transform. Rang		Binäre Kodierung		7 Schwellen	
Additiv genet. Varianz Vn	0,07	(0,01)	0,12	(0,02)	2,72	(0,65)
Additiv genet. Varianz Vi	0,27	(0,07)	0,05	(0,01)	215,66	(136,83)
Genet. Kovarianz Vn*Vi	0,06	(0,02)	0,05	(0,01)	15,55	(86,16)
Restvarianz Vn	0,95	(0,01)	1		23,95	(3,97)
Restvarianz Vi	1,56	(0,03)	1		1277,55	(1053,68)
Heritabilität Vn	0,06	(0,01)	0,08	(0,01)	0,08	(0,01)
Heritabilität Vi	0,12	(0,03)	0,04	(0,01)	0,14	(0,06)
genet. Korrelation Vn*Vi	0,47	(0,11)	0,63	(0,11)	0,68	(0,08)

In einem Ein-Merkmalsmodell für das Merkmal Vielseitigkeit insgesamt (bei siebenstufiger Kodierung) wurde ebenfalls eine Heritabilität von 0,08 bei einer Standardabweichung von 0,01 geschätzt.

Weiterhin wurden die additiv-genetischen Varianzen und Heritabilitäten aus dem Schwellenwertmodell C in Abbildung 20 aufgetragen. Für die dort verwendete Merkmalsdefinition „gestartet/ nicht gestartet in Klasse S“ wurden die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit gewählt, weil eine Unterscheidung zwischen nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen an dieser Stelle nicht sinnvoll erschien, da die Klasse S in der Vielseitigkeit in der Regel ausschließlich international ausgeschrieben wird. Die geschätzten Heritabilitäten waren mit 0,54 für die Dressur, 0,69 für das Springen und 0,55 für die Vielseitigkeit moderat bis hoch und lagen deutlich über dem erwarteten Wertebereich. Der angestrebte lineare Verlauf über die Iterationen konnte nicht erreicht werden. Durch eine Ergänzung des Schwellenwertmodells C um den zufälligen Effekt des Stutenstammes wurde diesbezüglich keine Verbesserung erzielt (Abb. 21).

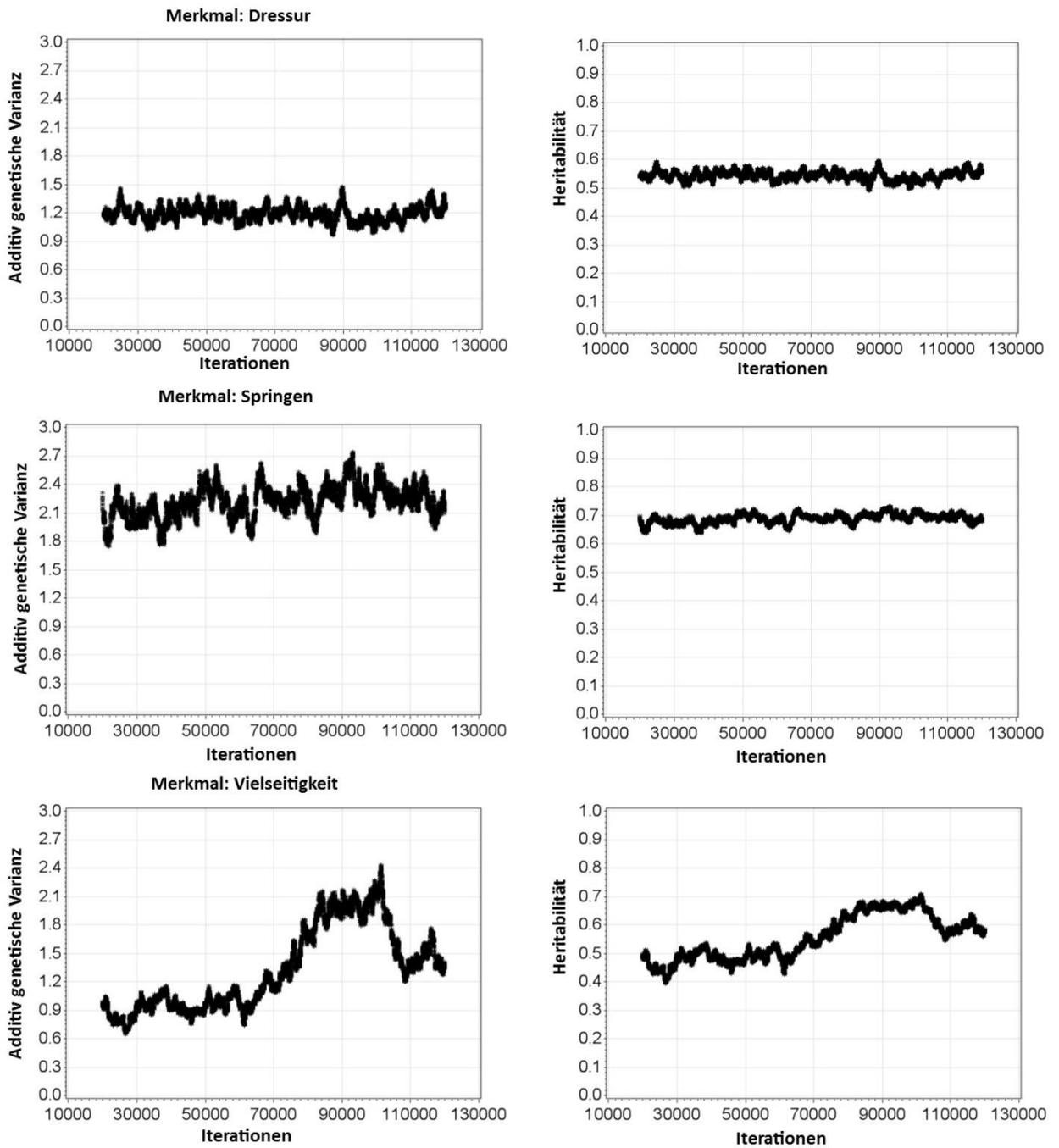


Abb. 20: Additiv genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit, Schwellenwertmodell C.

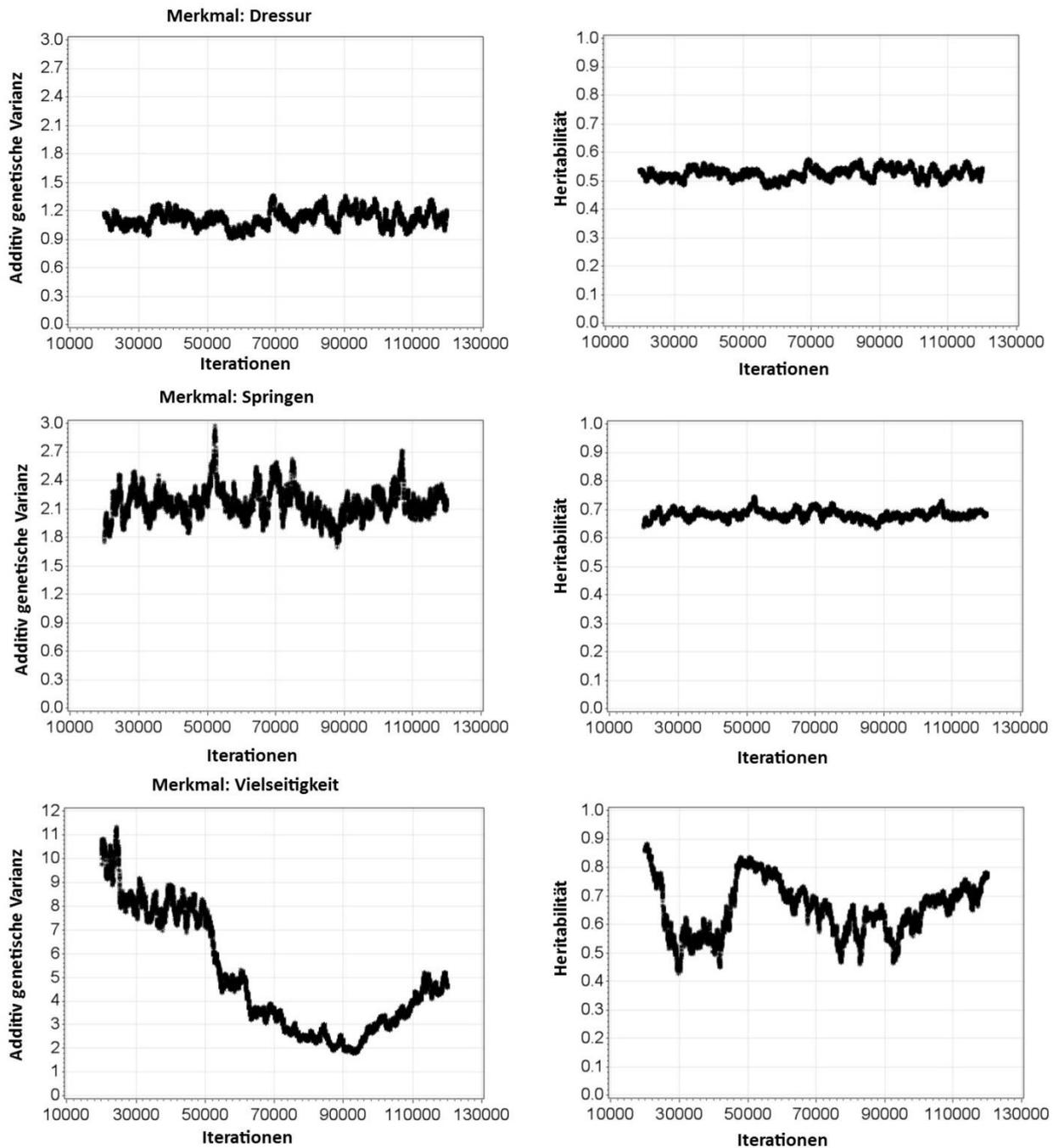


Abb. 21: Additiv-genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit, Schwellenwertmodell C mit Stutenstamm als zufälligem Effekt.

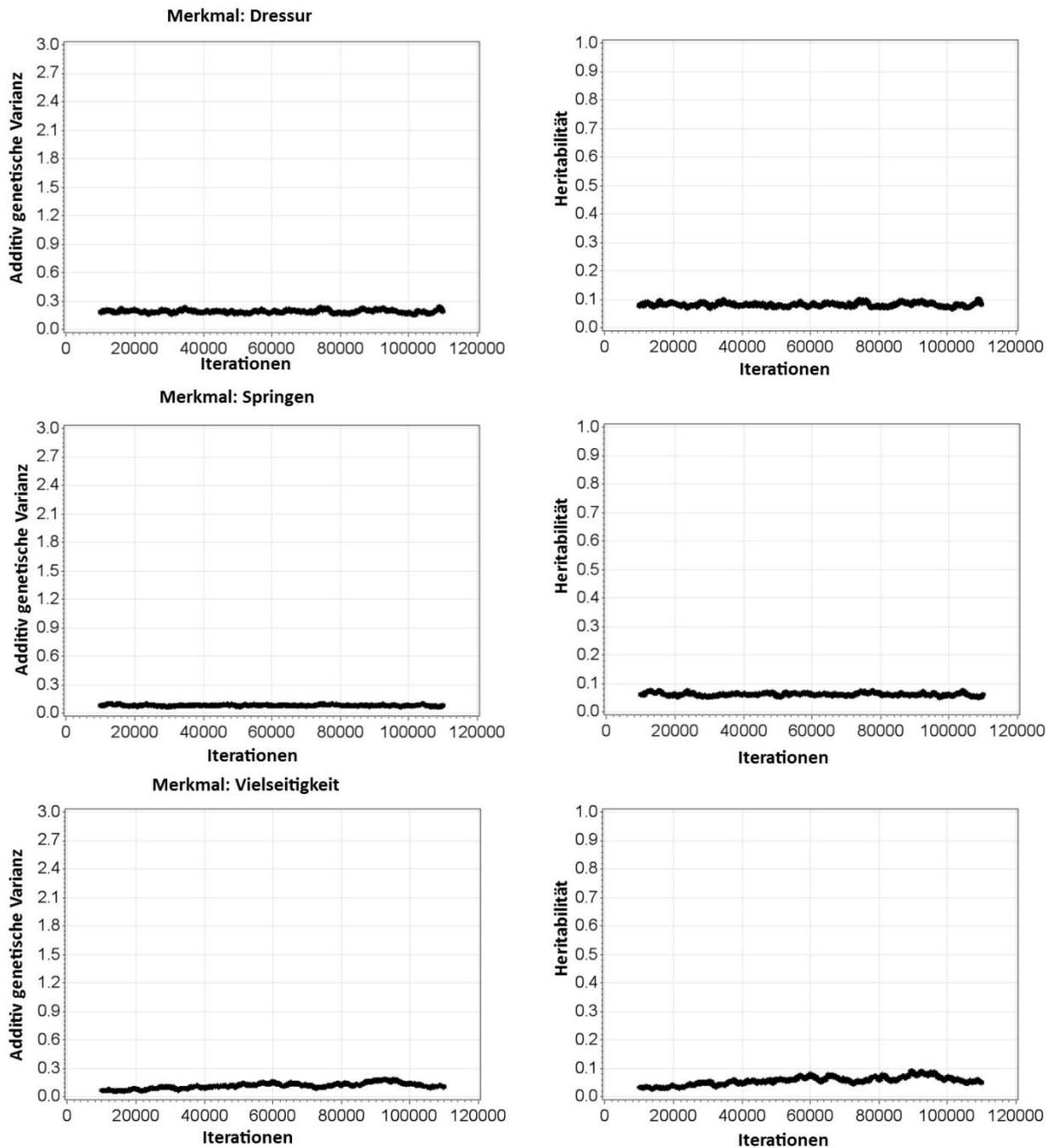


Abb. 22: Additiv-genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit, Schwellenwertmodell B.

Durch die Verwendung der Merkmalsdefinition (a) konnten weitere Effekte berücksichtigt werden, sodass das Schwellenwertmodell B anstelle der Modells C die Grundlage der Berechnungen bildete.

Daraus folgten die in Abbildung 22 dargestellten Varianzen und Heritabilitäten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit, deren Verlauf über die Iterationen nur noch geringfügig schwankt.

4.2.2 Modellvergleich Stutenstamm

Für die Vielseitigkeit insgesamt konnte im Schwellenwertmodell B eine Heritabilität von 0,056 geschätzt werden (Tab. 27). Die Heritabilität des Stutenstamms lag für die drei Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit auf sehr niedrigem Niveau, wobei für die Vielseitigkeit der größte Effekt des Stutenstammes festgestellt werden konnte. Während die genetische Korrelation zwischen Dressur und Vielseitigkeit auf 0,57 bei einer Standardabweichung von 0,11 geschätzt wurde, konnten zwischen Dressur und Springen mit 0,01 sowie für Springen und Vielseitigkeit mit -0,05 jeweils genetische Korrelationen nahe null berechnet werden.

Tab. 27: Heritabilitäten und Stammheritabilitäten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für das Beobachtungsjahr 2010, Schwellenwertmodell B, Merkmalsdefinition (a), Standardabweichungen in Klammern.

	Dressur	Springen	Vielseitigkeit
Additiv genet. Varianz	0,19 (0,01)	0,08 (0,01)	0,12 (0,03)
Restvarianz	1	1	1
Heritabilität	0,08 (0,01)	0,06 (0,001)	0,06 (0,01)
Stammheritabilität (I^2)	0,01 (0,001)	0,004 (0,006)	0,024 (0,01)
Anteil Reitervarianz	0,25	0,09	0,17

Trotz eines abweichenden Beobachtungszeitraums resultierten im linearen Modell bei Verwendung der Merkmalsdefinition transformierter Rang ähnliche oder identische Heritabilitäten für die Zielmerkmale (Tab. 28).

Auch die Größenordnung der Stammheritabilitäten war vergleichbar. Die größte genetische Korrelation wurde mit 0,80 zwischen den Merkmalen Dressur und Vielseitigkeit verzeichnet, zwischen Springen und Vielseitigkeit betrug sie 0,19, zwischen Dressur und Springen war sie mit -0,09 leicht negativ.

Tab. 28: Varianzkomponenten, Heritabilitäten und Stammheritabilitäten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für den gesamten Beobachtungszeitraum, lineares Modell 2, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichungen in Klammern.

	Dressur	Springen	Vielseitigkeit
Additiv genet. Varianz	0,154 (0,007)	0,088 (0,004)	0,091 (0,009)
Restvarianz	0,832 (0,001)	1,295 (0,001)	0,991 (0,007)
Heritabilität	0,09 (0,004)	0,05 (0,002)	0,06 (0,01)
Stammheritabilität (I^2)	0,008 (0,001)	0,006 (0,001)	0,015 (0,002)
Anteil Reitervarianz	0,18	0,06	0,16

Übereinstimmend wurde bei Betrachtung der Reitervarianz für die Vielseitigkeit der jeweils größte Wert mit 0,25 bzw. 0,18 festgestellt (Tab. 27 und 28), während für die Leistung im Springen der Reiter einen deutlich geringeren Anteil der Gesamtvarianz erklärt (9 Prozent im Schwellenwertmodell und 6 Prozent im linearen Modell). Insgesamt war auf den zufälligen Effekt des Reiters jeweils der größte Varianzanteil zurückzuführen.

Zum weiteren Vergleich der beiden Ansätze wurden Rangkorrelationen zwischen den Zuchtwerten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit mit einer Genauigkeit größer gleich 0,4 berechnet und in den Tabellen 29 und 30 dargestellt.

Tab. 29: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für das Beobachtungsjahr 2010, Schwellenwertmodell B, Merkmalsdefinition (a) (n=2085), Signifikanzniveau aller Werte <0,0001.

	Dressur	Springen	Vielseitigkeit
Dressur	1	-0,28	0,87
Springen		1	-0,37
Vielseitigkeit			1

Auf Grund des längeren Beobachtungszeitraums standen aus der Berechnung mit dem linearen Modell 2 Zuchtwerte von knapp 60000 Pferden zur Verfügung, während aus dem Schwellenwertmodell für das Beobachtungsjahr 2010 Zuchtwerte von 2085 Tieren zur Berechnung der Rangkorrelationen herangezogen werden konnten.

Tab. 30: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für den gesamten Beobachtungszeitraum, lineares Modell 2, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, (n=59991), Signifikanzniveau aller Werte <0,0001.

	Dressur	Springen	Vielseitigkeit
Dressur	1	-0,35	0,93
Springen		1	-0,06
Vielseitigkeit			1

Trotz der beschriebenen Unterschiede sind die resultierenden Ergebnisse in Größenordnung und Tendenz durchaus vergleichbar. So waren übereinstimmend die Rangkorrelationen zwischen Dressur und Vielseitigkeit mit 0,87 bzw. 0,93 sehr hoch. Zwischen Dressur und Springen wurden in beiden Fällen moderat negative Rangkorrelationen errechnet.

Eine größere Abweichung zwischen den Werten zeigten die Rangkorrelationen der Zuchtwerte zwischen dem Springen und der Vielseitigkeit, diese betragen im Schwellenwertmodell -0,37 und im linearen Modell -0,06.

In einem weiteren Vergleich wurden die Ergebnisse der Berechnungen für die Merkmalsdefinitionen transformierter Rang, gewichteter transformierter Rang und der Schwellenwertdefinition (a) auf Basis des erweiterten Modells Stutenstamm bzw. Schwellenwertmodell B gegenübergestellt. Dargestellt in Tab. 31 wurden die Posterior means der Heritabilitäten und genetischen Korrelationen für die drei verschiedenen Ansätze.

Die geschätzten Varianzkomponenten bewegten sich über alle Merkmalsdefinitionen hinweg in einem relativ einheitlichen Wertebereich. Die größte Differenz innerhalb eines Parameters wies die genetische Korrelation zwischen nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen auf. Dabei war die berechnete Korrelation beim gewichteten transformierten Rang mit 0,31 am kleinsten und die im Schwellenwertmodell berechnete mit 0,51 am größten. Diese Tendenz zeigte auch die Korrelation zwischen den Linieneffekten von nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen. In gleicher Weise war die Heritabilität bei nationalen Vielseitigkeitsprüfungen jeweils niedriger als die internationaler Prüfungen. Für die Stammheritabilität verhielt es sich ähnlich.

Dabei überstiegen die Werte der Stammheritabilität die der Heritabilität des Merkmals beim gewichteten transformierten Rang und bei internationalen Vielseitigkeitsprüfungen auch beim transformierten Rang. Die Standardabweichung der Schätzwerte war bei der Merkmalsdefinition gewichteter transformierter Rang jeweils am niedrigsten.

Tab. 31: Vergleich der Varianzkomponenten (Posterior means) für die Merkmale Vielseitigkeit national und international für die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“, „gewichteter transformierter Rang“ und Schwellenwertdefinition (a); Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

	transform.		gew. transform.		Schwellenwert	
	Rang		Rang		p./n.p.	
Additiv genet. Varianz Vn	0,04	(0,01)	0,003	(0,00)	0,10	(0,02)
Additiv genet. Varianz Vi	0,11	(0,03)	0,025	(0,00)	0,20	(0,05)
Genet. Kovarianz Vn*Vi	0,03	(0,02)	0,025	(0,00)	0,07	(0,02)
Restvarianz Vn	0,84	(0,01)	0,03	(0,00)	1	
Restvarianz Vi	1,45	(0,02)	0,22	(0,00)	1	
Heritabilität Vn	0,03	(0,01)	0,06	(0,01)	0,05	(0,01)
Heritabilität Vi	0,04	(0,01)	0,07	(0,01)	0,07	(0,03)
genet. Korrelation Vn*Vi	0,49	(0,15)	0,31	(0,06)	0,51	(0,13)
Anteil Reitervarianz Vn	0,10	(0,01)	0,09	(0,01)	0,13	(0,01)
Anteil Reitervarianz Vi	0,20	(0,02)	0,14	(0,01)	0,24	(0,02)
Stammheritabilität (I^2) Vn	0,03	(0,01)	0,09	(0,01)	0,03	(0,01)
Stammheritabilität (I^2) Vi	0,05	(0,01)	0,10	(0,01)	0,06	(0,01)
Korrelation der Linieneffekte Vn*Vi	0,19	(0,09)	0,13	(0,04)	0,22	(0,10)

Die Reitervarianz erklärte für die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“ und „Schwellenwert platziert/nicht platziert“ den größten Anteil der Gesamtvarianz. Lediglich unter Verwendung des gewichteten transformierten Ranges waren die Stammheritabilität und die Reitervarianz in ihrer Größenordnung vergleichbar. Über alle Ansätze war ein größerer Effekt der Reitervarianz bei internationalen Vielseitigkeitsprüfungen im Vergleich zu nationalen Prüfungen zu beobachten.

Nachfolgend wurden in der Tabelle 32 die Rangkorrelationen zwischen den Zuchtwerten der Pferde mit einer Genauigkeit größer gleich 0,4 für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen zum Vergleich der Merkmalsdefinitionen zusammengestellt.

Tab. 32: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten der Pferde für die Disziplinen Vielseitigkeit national und international für die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“ (TR), „gewichteter transformierter Rang“ (GTR) und Schwellenwertdefinition (a); (n=357), Signifikanz für alle Werte (<0,0001).

	Vn TR	Vi TR	Vn GTR	Vi GTR	Vn SW	Vi SW
Vn TR	1	0,49	0,93	0,39	0,85	0,49
Vi TR		1	0,40	0,86	0,47	0,80
Vn GTR			1	0,38	0,79	0,44
Vi GTR				1	0,39	0,67
Vn SW					1	0,53
Vi SW						1

Auffällig waren die jeweils hohen Rangkorrelationen zwischen den verschiedenen Merkmalsdefinitionen für ein Merkmal. Diese waren am niedrigsten mit 0,67 für den gewichteten transformierter Rang und die binäre Merkmalsdefinition bei internationalen Vielseitigkeitsprüfungen.

Eine besonders hohe Rangkorrelation wurde zwischen dem transformierten und dem gewichteten transformierten Rang für nationale Vielseitigkeitsprüfungen beobachtet. Zwischen den beiden Merkmalen lagen die Rangkorrelationen in einen Wertebereich zwischen 0,38 und 0,53 und waren damit in ihrer Größenordnung vergleichbar mit den genetischen Korrelationen zwischen nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen. Wurden die Rangkorrelationen für jede Merkmalsdefinition individuell berechnet, standen unter Verwendung des transformierten Ranges Zuchtwerte mit einer Genauigkeit größer gleich 0,4 von 435 Tieren zur Verfügung, beim gewichteten transformierten Rang waren es 1118 Tiere und bei Verwendung der binären Merkmalsdefinition (a) 580 Pferde.

Die berechneten Rangkorrelationen entsprachen für den transformierten Rang und die binäre Definition den in Tabelle 32 dargestellten Werten für die Tiere, deren Zuchtwerte für alle drei Merkmalsdefinitionen die notwendige Genauigkeit erreichten. Für den gewichteten transformierten Rang wich die errechnete Rangkorrelation mit 0,55 zwischen den Zuchtwerten für nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aller 1118 Pferde von dem obigen Wert von 0,38 ab.

Die Rangkorrelationen zwischen Zuchtwerten der Stutenstämme für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen sind in der Tabelle 33 aufgeführt. Es standen Zuchtwerte von 197 Stutenstämmen, die in den drei verschiedenen Schätzläufen für beide Zuchtwerte eine Genauigkeit von mindestens 0,4 hatten, zur Verfügung.

Dabei wurden über die drei Merkmalsdefinitionen hinweg innerhalb der Prüfungskategorien hohe bis sehr hohe genetische Korrelationen beobachtet. Zwischen den nationalen und den internationalen Vielseitigkeitsprüfungen betrug die Rangkorrelationen zwischen 0,12 und 0,39. Allerdings konnte nicht für alle Werte das höchste Signifikanzniveau erreicht werden. Für die Merkmalspaare einer Merkmalsdefinition entsprachen die Werte der Rangkorrelationen aus obiger Tabelle 32 den entsprechenden Rangkorrelationen, wenn diese nur für die einzelnen Merkmalsdefinitionen berechnet wurden, obwohl hierbei mehr Zuchtwerte berücksichtigt werden konnten.

Lediglich für die Merkmaldefinition „transformierter Rang“ stimmten diese nicht überein. Dort wurde für die Zuchtwerte von 289 Stämmen eine Rangkorrelation von 0,09 berechnet. Diese war jedoch nicht signifikant. Die Schwelle der Genauigkeit von größer gleich 0,4 erreichten bei der Definition „gewichteter transformierter Rang“ die Zuchtwerte von 922 Stutenstämmen, im Schwellenwertmodell die von 202 Stämmen.

Tab. 33: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten der Stutenstämmen für die Merkmale Vielseitigkeit national und international für die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“ (TR), „gewichteter transformierter Rang“ (GTR) und Schwellenwertdefinition (a) (n=197), Signifikanz in Klammern.

	Vn TR	Vi TR	Vn GTR	Vi GTR	Vn SW	Vi SW
Vn TR	1	0,12 (0,097)	0,95 (<0,0001)	0,27 (0,0001)	0,86 (<0,0001)	0,17 (0,015)
Vi TR		1	0,24 (0,0007)	0,87 (<0,0001)	0,14 (0,048)	0,81 (<0,0001)
Vn GTR			1	0,39 (<0,0001)	0,81 (<0,0001)	0,27 (0,0001)
Vi GTR				1	0,26 (0,0002)	0,72 (<0,0001)
Vn SW					1	0,18 (0,0047)
Vi SW						1

Betrachtet man die Rangkorrelationen zwischen den Zuchtwerten der Pferde und der Stutenstämmen, so entsprechen sich diese innerhalb eines Merkmals weitestgehend. Die Rangkorrelationen der Zuchtwerte zwischen den Merkmalen waren über alle Merkmalsdefinitionen hinweg für die Zuchtwerte der Stutenstämmen geringer als bei den Zuchtwerten der Pferde, mit Ausnahme der Rangkorrelation zwischen Vn GTR / Vi GTR.

4.3 Genetische Parameter der Hengstleistungsprüfungen

Um eine Eignung von Hengstleistungsprüfungsmerkmalen als Hilfsmerkmal bei der Selektion von Vielseitigkeitspferden bewerten zu können, wurden bivariate Rechenläufe für jedes Hengstleistungsprüfungsmerkmal mit nationalen und internationalen Vielseitigkeitsergebnissen der Merkmalsdefinitionen transformierter und gewichteter transformierter Rang durchgeführt. Dies erfolgte sowohl für die Merkmale des 30-Tage-Tests sowie für die des 70-Tage-Tests. Es wurden keine Kovarianzen und genetischen Korrelationen zwischen den einzelnen Hengstleistungsprüfungsmerkmalen geschätzt, da dies nicht der Fragestellung entsprach.

Aufgelistet in Tab. 34 wurden die Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale des 30-Tage-Tests aus den Berechnungen mit den transformierten Rangergebnissen nationaler und internationaler Vielseitigkeitsprüfungen. Die geschätzten Heritabilitäten eines Merkmals waren in fast allen Fällen aus beiden Rechenläufen identisch, ansonsten konnten nur geringe Abweichungen registriert werden. Insgesamt konnten moderate bis hohe Heritabilitäten für die Merkmale des 30-Tage-Tests geschätzt werden. Die Heritabilitäten der Interieurmerkmale Charakter, Temperament, Leistungsbereitschaft und Konstitution mit Werten um 0,3 waren am geringsten. Die größte Heritabilität hatte das Merkmal Springveranlagung im Training bewertet (T-Springveranlagung) mit 0,71.

Die in Tab. 35 zu findenden Heritabilitäten der Merkmale des 30-Tage-Test aus den Rechenläufen mit dem gewichteten transformierten Rang von nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen entsprachen größtenteils den bereits in Tabelle 33 dargestellten Ergebnissen. Es konnte kein Einfluss der Merkmalsdefinition der Turniersportergebnisse auf die Heritabilität der Hengstleistungsprüfungsmerkmale nachgewiesen werden.

Tab. 34: Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale (30-Tage-Test) aus bivariaten Rechenläufen mit Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

Merkmal	TR Vn		TR Vi	
Charakter	0,31	(0,05)	0,29	(0,05)
Temperament	0,31	(0,05)	0,28	(0,04)
Leistungsbereitschaft	0,30	(0,05)	0,29	(0,05)
Konstitution	0,32	(0,05)	0,29	(0,05)
T-Trab	0,59	(0,04)	0,58	(0,05)
T-Galopp	0,41	(0,05)	0,41	(0,06)
T-Schritt	0,48	(0,06)	0,47	(0,06)
T-Rittigkeit	0,47	(0,05)	0,44	(0,05)
T-Springveranlagung	0,71	(0,03)	0,71	(0,03)
Trab	0,56	(0,05)	0,57	(0,06)
Galopp	0,44	(0,07)	0,46	(0,08)
Schritt	0,49	(0,06)	0,52	(0,08)
Springanlage	0,64	(0,04)	0,64	(0,06)
Springmanier	0,57	(0,09)	0,56	(0,07)
Springvermögen	0,62	(0,07)	0,65	(0,07)
Rittigkeit	0,51	(0,06)	0,52	(0,07)

Tab. 35: Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale (30-Tage-Test) aus bivariaten Rechenläufen mit Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“, Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

Merkmal	GTR Vn		GTR Vi	
Charakter	0,31	(0,05)	0,29	(0,05)
Temperament	0,29	(0,05)	0,28	(0,04)
Leistungsbereitschaft	0,30	(0,05)	0,29	(0,05)
Konstitution	0,30	(0,04)	0,29	(0,05)
T-Trab	0,58	(0,04)	0,58	(0,05)
T-Galopp	0,40	(0,05)	0,41	(0,06)
T-Schritt	0,48	(0,06)	0,47	(0,06)
T-Rittigkeit	0,44	(0,05)	0,44	(0,05)
T-Springveranlagung	0,71	(0,03)	0,71	(0,03)
Trab	0,56	(0,06)	0,57	(0,06)
Galopp	0,44	(0,07)	0,46	(0,08)
Schritt	0,49	(0,07)	0,51	(0,08)
Springanlage	0,64	(0,04)	0,64	(0,06)
Springmanier	0,56	(0,09)	0,57	(0,07)
Springvermögen	0,61	(0,07)	0,65	(0,07)
Rittigkeit	0,51	(0,07)	0,52	(0,07)

Die genetischen Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (30-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen (Merkmalsdefinition „transformierter Rang“) (Tab.36) sind

entscheidend für eine Eignung als Hilfsmerkmal im Selektionsprozess. Der Wertebereich der genetischen Korrelationen zwischen Merkmalen des Veranlagungstests und nationalen Vielseitigkeitsprüfungen lag zwischen -0,31 und 0,51 bei Standardabweichungen zwischen 0,07 und 0,16. Zwischen den Merkmalen des 30-Tage-Tests und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen lagen die genetischen Korrelationen zwischen -0,16 und 0,27, wobei die Standardabweichungen hier 0,11 bis 0,17 betragen. Die höchste genetische Korrelation bestand zwischen nationalen Vielseitigkeitsprüfungen und der Rittigkeit (Training) mit 0,51, die niedrigste zwischen nationalen Vielseitigkeitsprüfungen und dem Springvermögen mit -0,31.

Alle Bewertungen des Springens wiesen negative Korrelationen zu nationalen Vielseitigkeitsprüfungen auf. Die geringste genetische Korrelation zur internationalen Vielseitigkeit konnte für das Merkmal Trab mit -0,16, die höchste für das Merkmal Galopp (Training) mit 0,27 festgestellt werden.

Die aus den bivariaten Rechenläufen mit der Merkmaldefinition „gewichteter transformierter Rang“ für die nationalen und internationalen Turniersportergebnisse in der Vielseitigkeit stammenden genetischen Korrelationen (Tab. 37) waren über alle Merkmale hinweg betrachtet näher an Null als bei der Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ (bei niedrigerer Standardabweichung). So wurde ebenfalls die höchste genetische Korrelation mit nationalen Prüfungen der Vielseitigkeit für das Merkmal Rittigkeit (Training) gefunden, diese betrug aber nur 0,13. Die negativste Korrelation zu nationalen Prüfungen hatten mit -0,07 die Merkmale Springmanier und Springvermögen. Im Wertebereich zwischen 0,14 (Galopp) und -0,10 (Charakter, Trab und Springvermögen) lagen die genetischen Korrelationen zur internationalen Vielseitigkeit.

Tab. 36: Genetische Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (30-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aus bivariaten Rechenläufen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“; Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

Merkmal	TR Vn		TR Vi	
Charakter	0,07	(0,10)	-0,06	(0,12)
Temperament	0,34	(0,15)	0,06	(0,11)
Leistungsbereitschaft	0,18	(0,14)	0,07	(0,12)
Konstitution	0,29	(0,15)	-0,08	(0,13)
T-Trab	0,42	(0,12)	0,06	(0,11)
T-Galopp	0,37	(0,14)	0,27	(0,17)
T-Schritt	0,34	(0,15)	0,02	(0,11)
T-Rittigkeit	0,51	(0,12)	0,18	(0,15)
T-Springveranlagung	-0,08	(0,08)	-0,02	(0,11)
Trab	0,33	(0,13)	-0,16	(0,17)
Galopp	0,26	(0,15)	0,15	(0,15)
Schritt	0,23	(0,14)	-0,13	(0,17)
Springanlage	-0,21	(0,13)	0,06	(0,16)
Springmanier	-0,29	(0,15)	0,13	(0,16)
Springvermögen	-0,31	(0,16)	-0,10	(0,13)
Rittigkeit	0,45	(0,12)	0,24	(0,16)

Tab. 37: Genetische Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (30-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aus bivariaten Rechenläufen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“; Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

Merkmal	GTR Vn		GTR Vi	
Charakter	0,02	(0,05)	-0,10	(0,12)
Temperament	0,08	(0,07)	-0,01	(0,10)
Leistungsbereitschaft	0,04	(0,06)	0,03	(0,11)
Konstitution	0,07	(0,07)	-0,08	(0,12)
T-Trab	0,11	(0,07)	0,03	(0,10)
T-Galopp	0,09	(0,07)	0,14	(0,12)
T-Schritt	0,06	(0,06)	0,03	(0,11)
T-Rittigkeit	0,13	(0,08)	0,12	(0,12)
T-Springveranlagung	-0,01	(0,04)	0,02	(0,09)
Trab	0,07	(0,06)	-0,10	(0,14)
Galopp	0,04	(0,05)	-0,01	(0,12)
Schritt	0,03	(0,05)	-0,04	(0,13)
Springanlage	-0,06	(0,06)	0,02	(0,13)
Springmanier	-0,07	(0,06)	0,00	(0,11)
Springvermögen	-0,07	(0,06)	-0,10	(0,11)
Rittigkeit	0,11	(0,07)	0,08	(0,12)

Für die Merkmale des 70-Tage-Tests konnten, analog zu den Ergebnissen der Berechnungen beim 30-Tage-Tests, im Wesentlichen keine großen Abweichungen der Heritabilitäten der Merkmale in Abhängigkeit der Merkmalsdefinition als auch der Prüfungseinordnung (national oder international) festgestellt werden (Tab. 38 und Tab. 39). Die höchsten Heritabilitäten wurden für die Merkmale der Grundgangarten und der Rittigkeit geschätzt, die niedrigsten für die Interieurmerkmale.

Ebenfalls vergleichbar mit den Ergebnissen der Varianzkomponentenschätzung von Vielseitigkeitsprüfungen und 30-Tage-Test-Merkmalen beschrieben die genetischen Korrelationen zwischen Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (70-Tage) für die Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ einen größeren Wertebereich -0,17 bis 0,52 für nationale und -0,38 bis 0,09 für internationale Vielseitigkeitsprüfungen (Tab. 40). Im Vergleich dazu standen Werte von -0,05 bis 0,13 für nationale und -0,22 bis 0,01 für internationale Vielseitigkeitsprüfungen, wenn das Merkmal der gewichtete transformierte Rang war (Tab. 41). Auch waren die Standardabweichungen übereinstimmend für den gewichteten transformierten Rang kleiner.

Tab.38: Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale (70-Tage-Test) aus bivariaten Rechenläufen mit Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

Merkmal	TR Vn		TR Vi	
Charakter	0,35	(0,07)	0,37	(0,06)
Temperament	0,29	(0,06)	0,30	(0,05)
Leistungsbereitschaft	0,28	(0,05)	0,29	(0,04)
Konstitution	0,30	(0,06)	0,31	(0,05)
T-Trab	0,66	(0,05)	0,67	(0,06)
T-Galopp	0,56	(0,07)	0,57	(0,06)
T-Schritt	0,48	(0,07)	0,48	(0,06)
T-Rittigkeit	0,51	(0,07)	0,52	(0,07)
T-Springveranlagung	0,64	(0,05)	0,64	(0,05)
Trab	0,67	(0,06)	0,66	(0,07)
Galopp	0,57	(0,07)	0,54	(0,07)
Schritt	0,57	(0,07)	0,53	(0,07)
Freispringen	0,52	(0,06)	0,48	(0,07)
Springmanier	0,37	(0,07)	0,43	(0,08)
Springvermögen	0,50	(0,07)	0,50	(0,07)
G-Galopp	0,39	(0,08)	0,33	(0,08)
G-Springmanier	0,48	(0,08)	0,40	(0,08)
Rittigkeit	0,61	(0,07)	0,59	(0,08)
Parcoursspringen	0,52	(0,07)	0,49	(0,07)

Tab. 39: Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale (70-Tage-Test) aus bivariaten Rechenläufen mit Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“, Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

Merkmal	GTRn		GTRi	
Charakter	0,35	(0,07)	0,36	(0,05)
Temperament	0,29	(0,06)	0,30	(0,04)
Leistungsbereitschaft	0,28	(0,05)	0,28	(0,04)
Konstitution	0,30	(0,06)	0,30	(0,04)
T-Trab	0,66	(0,05)	0,66	(0,06)
T-Galopp	0,56	(0,07)	0,57	(0,06)
T-Schritt	0,47	(0,07)	0,47	(0,06)
T-Rittigkeit	0,51	(0,07)	0,52	(0,06)
T-Springveranlagung	0,64	(0,05)	0,64	(0,05)
Trab	0,67	(0,06)	0,64	(0,07)
Galopp	0,56	(0,06)	0,53	(0,07)
Schritt	0,56	(0,06)	0,52	(0,07)
Freispringen	0,52	(0,07)	0,48	(0,07)
Springmanier	0,37	(0,07)	0,43	(0,08)
Springvermögen	0,5	(0,07)	0,5	(0,07)
G-Galopp	0,38	(0,08)	0,3	(0,06)
G-Springmanier	0,47	(0,08)	0,39	(0,07)
Rittigkeit	0,61	(0,06)	0,58	(0,08)
Parcoursspringen	0,52	(0,07)	0,48	(0,07)

Tab. 40: Genetische Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (70-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aus bivariaten Rechenläufen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“; Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

Merkmal		TRn		TRi
Charakter	0,52	(0,14)	0,02	(0,14)
Temperament	0,15	(0,12)	-0,05	(0,15)
Leistungsbereitschaft	-0,05	(0,10)	-0,07	(0,15)
Konstitution	0,23	(0,13)	-0,08	(0,14)
T-Trab	0,48	(0,11)	-0,06	(0,14)
T-Galopp	0,48	(0,11)	0,09	(0,13)
T-Schritt	0,54	(0,11)	-0,05	(0,15)
T-Rittigkeit	0,48	(0,12)	0,07	(0,14)
T-Springveranlagung	-0,17	(0,13)	0,03	(0,12)
Trab	0,43	(0,15)	-0,38	(0,24)
Galopp	0,47	(0,14)	-0,19	(0,19)
Schritt	0,50	(0,13)	-0,16	(0,20)
Freispringen	-0,05	(0,11)	-0,11	(0,15)
Springmanier	0,04	(0,11)	-0,01	(0,13)
Springvermögen	-0,09	(0,10)	-0,03	(0,10)
G-Galopp	0,11	(0,15)	-0,27	(0,23)
G-Springmanier	0,07	(0,13)	0,00	(0,15)
Rittigkeit	0,53	(0,13)	-0,19	(0,19)
Parcoursspringen	-0,13	(0,13)	0,08	(0,16)

Tab. 41: Genetische Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (70-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aus bivariaten Rechenläufen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“; Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.

Merkmal	GTRn		GTRi	
Charakter	0,04	(0,06)	-0,11	(0,14)
Temperament	0,02	(0,05)	-0,09	(0,13)
Leistungsbereitschaft	-0,02	(0,06)	-0,08	(0,12)
Konstitution	0,04	(0,06)	-0,07	(0,12)
T-Trab	0,11	(0,07)	-0,02	(0,11)
T-Galopp	0,10	(0,07)	-0,03	(0,12)
T-Schritt	0,11	(0,08)	0,01	(0,11)
T-Rittigkeit	0,09	(0,07)	-0,02	(0,12)
T-Springveranlagung	-0,05	(0,06)	-0,01	(0,10)
Trab	0,11	(0,08)	-0,22	(0,16)
Galopp	0,12	(0,08)	-0,15	(0,15)
Schritt	0,13	(0,08)	-0,05	(0,13)
Freispringen	0,00	(0,06)	-0,06	(0,12)
Springmanier	0,02	(0,05)	0,01	(0,10)
Springvermögen	-0,01	(0,05)	-0,05	(0,09)
G-Galopp	0,02	(0,06)	-0,14	(0,16)
G-Springmanier	0,02	(0,06)	-0,03	(0,13)
Rittigkeit	0,13	(0,08)	-0,13	(0,14)
Parcoursspringen	-0,04	(0,06)	0,01	(0,10)

Für die Merkmale der Grundgangarten, der Rittigkeit und des Charakters bestanden die größten genetischen Korrelationen zu nationalen Vielseitigkeitsprüfungen. Die Hengstleistungsprüfungsmerkmale waren nur schwach positiv bis moderat negativ mit internationalen Vielseitigkeitsprüfungen korreliert. Auffällig waren die entgegengesetzten Korrelationen z.B. für das Merkmal Trab mit 0,43 und -0,38 zu nationalen und internationalen Prüfungen. Lag die Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ für die Turniersportergebnisse zu Grunde, waren die resultierenden genetischen Korrelationen zu den HLP-Merkmalen nahe Null. Dabei blieb die Rangfolge der Merkmale hinsichtlich ihrer Korrelationen im Vergleich zu denen der Merkmalsdefinition "transformierter Rang" bestehen.

4.4 Vollblutanteil in Pedigree und Inzuchtkoeffizienten

4.4.1 Vollblutanteil als Einflussfaktor

Als potentieller Einflussfaktor auf den Erfolg in Vielseitigkeitsprüfungen wird der Anteil englischen Vollbluts im Pedigree (Vollblutanteil) diskutiert. In den Abbildungen 23 und 24 wurde daher vergleichend dargestellt der durchschnittliche Vollblutanteil der Zuchtwertklassen für die Merkmale Vielseitigkeit national und international sowie die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“ und „gewichteter transformierter Rang“.

Dabei war grundsätzlich ein Anstieg des durchschnittlichen Vollblutanteils mit höherer Zuchtwertklasse zu beobachten mit der Einschränkung, dass sich dieser Trend nicht bis in die höchste, aber auch am schlechtesten besetzte Zuchtwertklasse fortsetzte. Die Steigung war jeweils für die internationale Vielseitigkeit größer als für die nationale, wobei die Steigung des Vollblutanteils größer war, wenn der gewichtete transformierte Rang verwendet wurde. Dort wurde auch insgesamt der höchste mittlere Vollblutanteil von 0,54 für die Zuchtwertklasse 120 bis 140 beim Merkmal internationale Vielseitigkeit beobachtet.

Es konnte für die Zuchtwerte der nationalen Vielseitigkeit sowohl für den transformierten als auch den gewichteten transformierten Rang keine signifikante Korrelation zum Vollblutanteil berechnet werden. Zwischen den Zuchtwerten der internationalen Vielseitigkeit bestand eine hochsignifikante Korrelation von jeweils 0,14 („transformierter Rang“ und „gewichteter transformierter Rang“) zum Vollblutanteil.

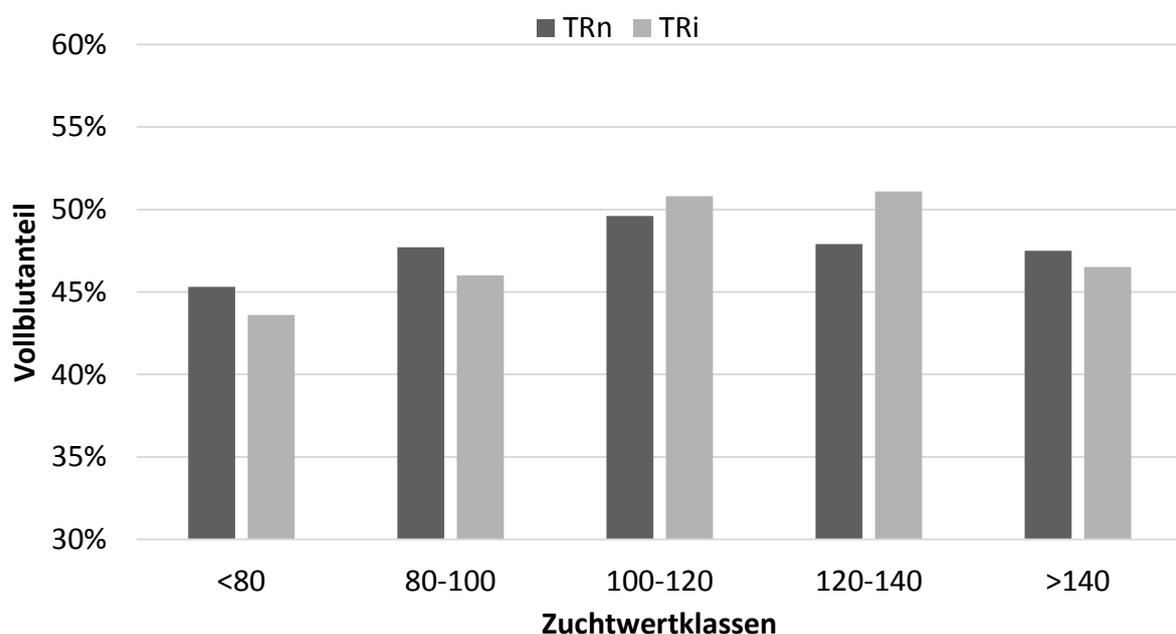


Abb. 23: Vollblutanteil in Prozent für Zuchtwerte in Klassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ (n=1523).

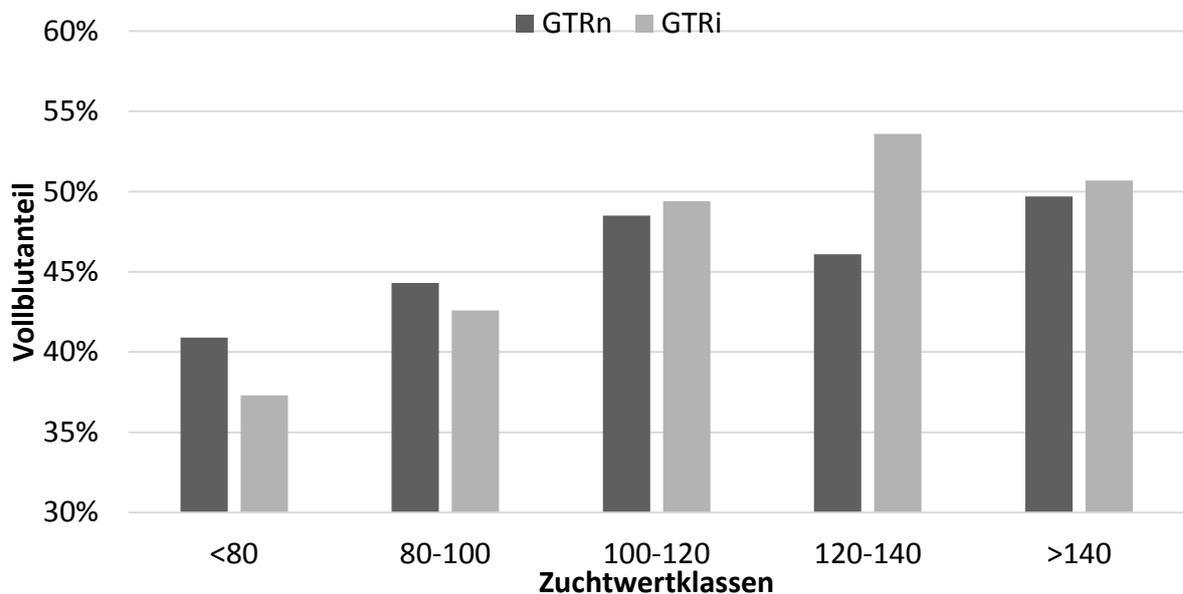


Abb. 24: Mittlerer Vollblutanteil in Prozent für Zuchtwerte in Klassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ (n=2274).

Waren die drei Disziplinen Dressur, Springen und „Vielseitigkeit insgesamt“ Grundlage der Auswertung hinsichtlich des Vollblutanteils, konnte kein Anstieg des durchschnittlichen Vollblutanteil über die Zuchtwertklassen festgestellt werden. Beispielhaft wurden Zuchtwerte aus dem Schwellenwertmodell B (Merkmalsdefinition (a)) aus dem Beobachtungsjahr 2010 verwendet (Abb. 25).

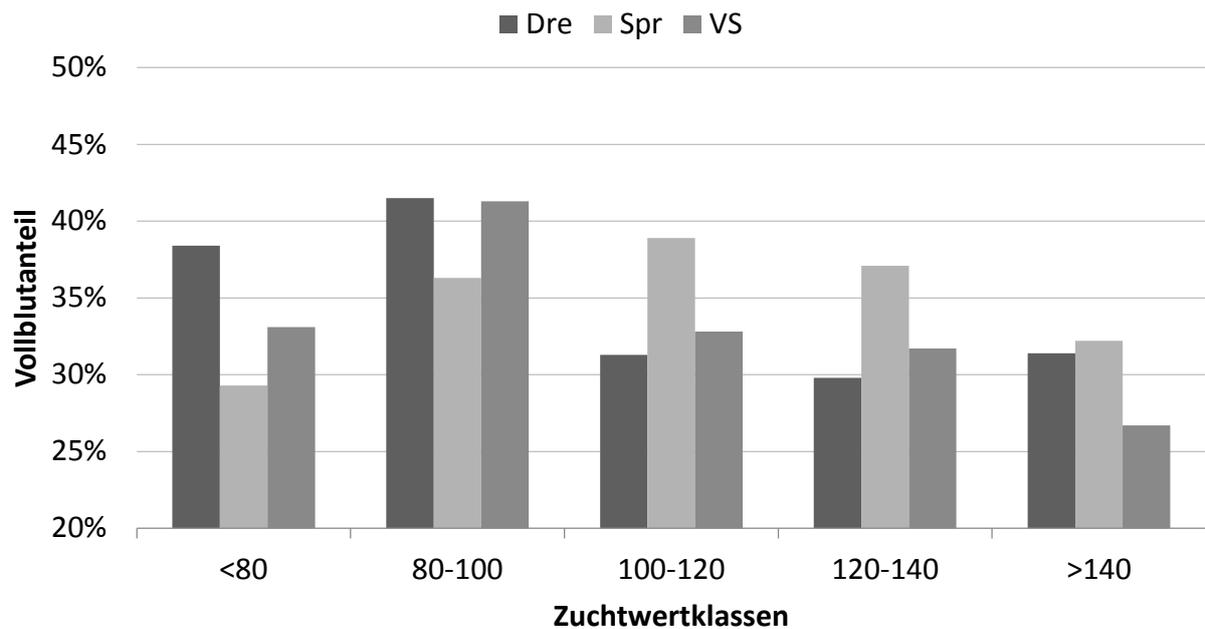


Abb. 25: Mittlerer Vollblutanteil in Prozent für Zuchtwerte in Klassen der Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für das Beobachtungsjahr 2010, Schwellenwertmodell B, Merkmalsdefinition (a)(n=2085).

Der durchschnittliche Vollblutanteil über die Zuchtwertklassen für das Merkmal Springen bildete annähernd eine quadratische Funktion mit einem Maximum von 0,39 in der Zuchtwertklasse 100 bis 120 ab. Für die Disziplinen Dressur und „Vielseitigkeit insgesamt“ konnte jeweils nach einem Anstieg zum Maximum in der Klasse 80 bis 100 ein Abfall des mittleren Vollblutanteils über die weiteren Klassen beobachtet werden. Somit widersprachen die diesbezüglichen Beobachtungen des Merkmals „Vielseitigkeit insgesamt“ denen der Merkmale „Vielseitigkeit national“ und „Vielseitigkeit international“. Es konnten für die Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit insgesamt hochsignifikante ($<0,0001$) Korrelationen zum Vollblutanteil festgestellt werden. Diese waren zwischen den Zuchtwerten für Dressur und den Vollblutanteil mit $-0,20$ negativ und zwischen den Zuchtwerten geschätzt für die Disziplin Vielseitigkeit leicht negativ mit $-0,12$. Mit $0,11$ war die Korrelation zwischen dem Vollblutanteil und den Zuchtwerten für Springen positiv.

4.4.2 Inzuchtkoeffizient als Einflussfaktor

Wurde der mittlere Inzuchtkoeffizient der Zuchtwertklassen aufgetragen für die Merkmale „Vielseitigkeit national“ und „Vielseitigkeit international“, konnte für die Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ ein Anstieg des durchschnittlichen Inzuchtkoeffizienten bei höheren Zuchtwerten für das Merkmal „Vielseitigkeit national“ beobachtet werden. Stiegen die Zuchtwerte des Merkmals „Vielseitigkeit international“, sank der mittlere Inzuchtkoeffizient (Abb. 26). Für den gewichteten transformierten Rang konnte eine diesem Trend entsprechende Beobachtung gemacht werden (Abb. 27).

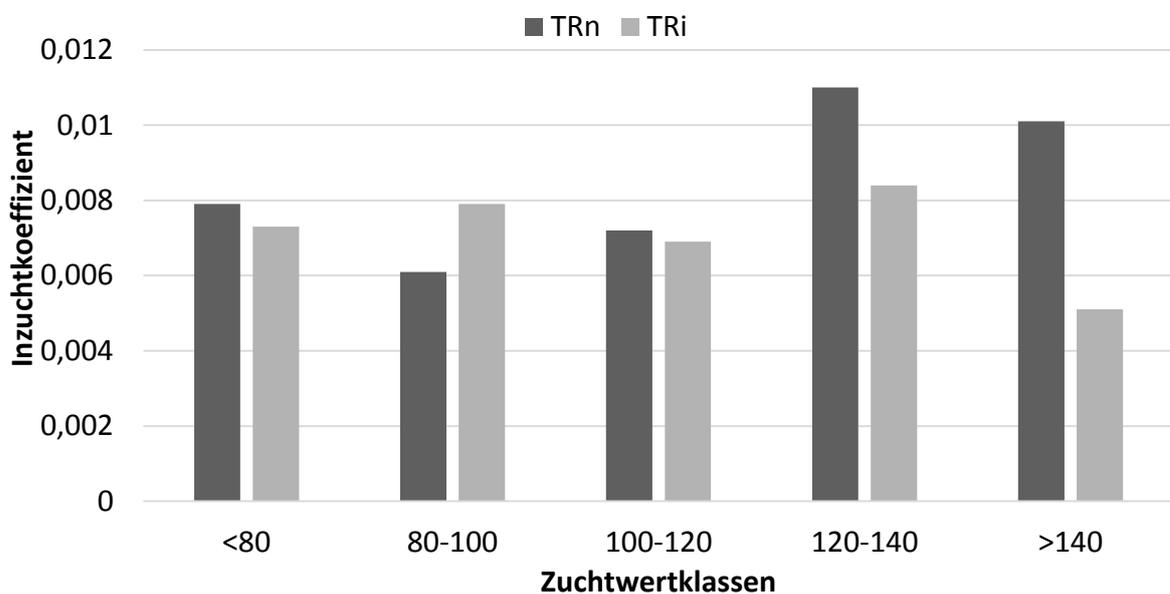


Abb. 26: Durchschnittliche Inzuchtkoeffizienten der Tiere innerhalb Zuchtwertklassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ (n=1523).

Es konnten signifikante Korrelationen zwischen dem Inzuchtkoeffizienten und den Zuchtwerten für nationale Vielseitigkeit für beide Merkmalsdefinitionen von jeweils 0,08 geschätzt werden. Zwischen den Zuchtwerten der internationalen Vielseitigkeit und dem Inzuchtkoeffizienten bestand kein signifikanter Zusammenhang.

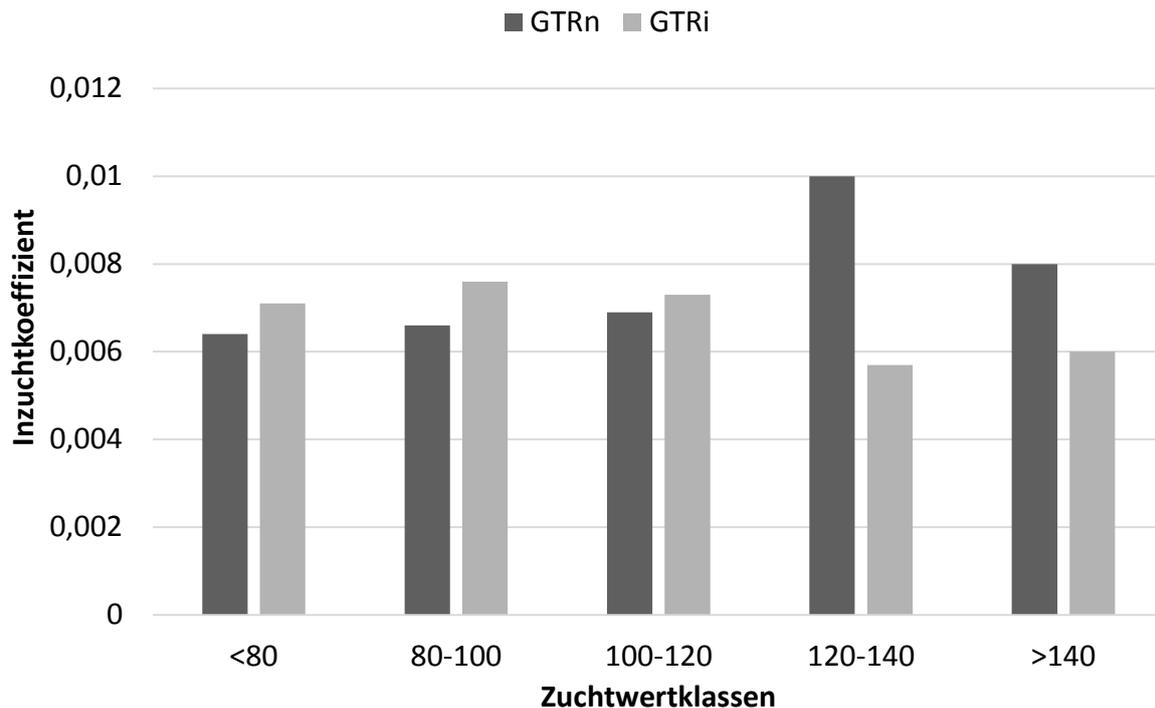


Abb. 27: Durchschnittliche Inzuchtkoeffizienten der Tiere innerhalb Zuchtwertklassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ (n=2274).

Während Dressurpferde mit einem höheren Zuchtwert auch tendenziell einen höheren Inzuchtkoeffizienten aufwiesen, schwankte der durchschnittliche Inzuchtkoeffizient über die Zuchtwertklassen ohne, dass sich eine Tendenz ableiten ließ, für die Merkmale Springen und „Vielseitigkeit insgesamt“ (Abb. 28). Die hier berücksichtigten Zuchtwerte stammten aus einem 3-Merkmals-Schwellenwertmodell (B). Der höchste mittlere Inzuchtkoeffizient pro Zuchtwertklasse wurde dabei mit 0,012 für das Merkmal Springen in der Zuchtwertklasse größer als 140 registriert. Die Inzuchtkoeffizienten waren insgesamt auf einem niedrigen Niveau. Der Durchschnitt aller Tiere, deren Zuchtwerte eine Genauigkeit größer gleich 0,4 erreichten, lag bei 0,0084, das Maximum bei 0,129. Dabei waren die Zuchtwerte der Dressur leicht positiv (0,09) mit dem Inzuchtkoeffizienten korreliert, während die Zuchtwerte für Springen mit -0,05 eine leicht negative Korrelation zum Inzuchtkoeffizienten aufwiesen. Für die Zuchtwerte der Vielseitigkeit konnte keine signifikante Korrelation mit dem Inzuchtkoeffizienten berechnet werden.

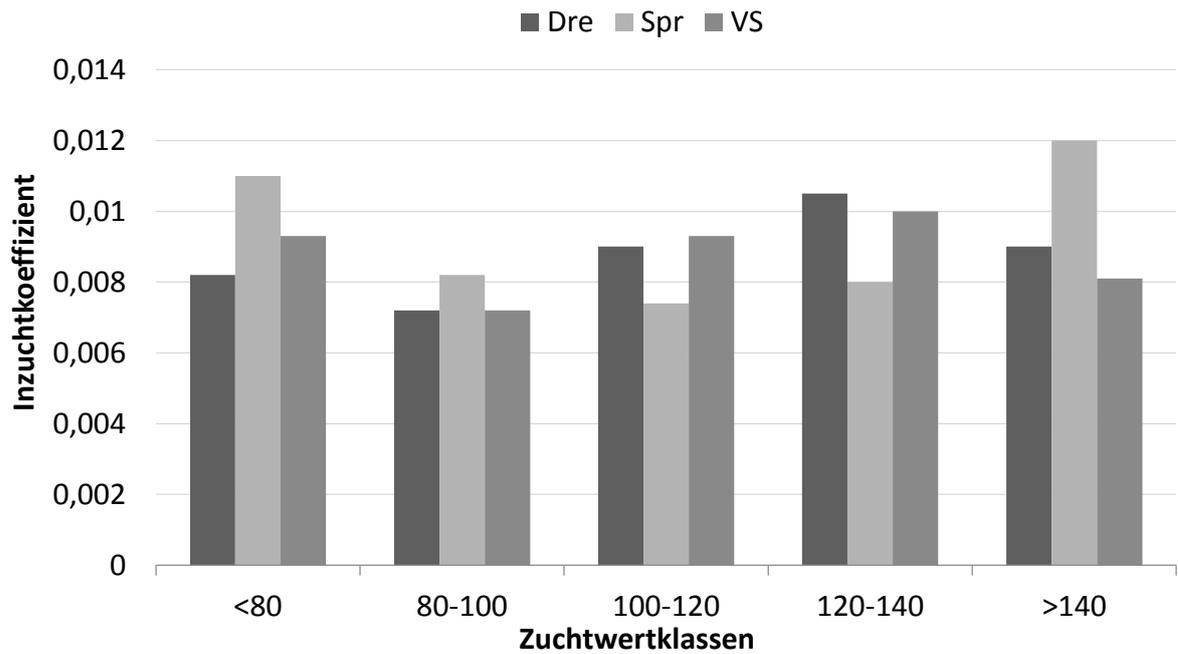


Abb. 28: Durchschnittliche Inzuchtkoeffizienten der Tiere innerhalb Zuchtwertklassen der Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für das Beobachtungsjahr 2010, Schwellenwertmodell B, Merkmalsdefinition (a) (n=2085).

4.5 Vorschläge zur Entwicklung einer Zuchtwertschätzung für Vielseitigkeit

Entsprechend der Zielsetzung, den Pferdezüchtern ein Selektionskriterium zur Zucht von Vielseitigkeitspferden zur Verfügung zu stellen, wird aufgrund der berechneten genetischen Korrelationen zwischen den Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit eine Etablierung eines Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit vorgeschlagen. Dies impliziert die Annahme, dass als Zuchtziel für das Merkmal Vielseitigkeit das Erreichen der schwersten Klasse respektive internationale Prüfungen auf Drei- und Vier-Sterne-Niveau angesehen wird. Ein Zuchtziel, welches den Erfolg in nationalen Vielseitigkeitsprüfungen abbilden würde, könnte hinsichtlich der sehr hohen genetischen Korrelationen zwischen der Dressur und den nationalen Vielseitigkeitsprüfungen auch über indirekte Selektion erreicht werden. Bezüglich der Zusammensetzung eines Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit sollen hier drei Vorschläge gemacht werden.

4.5.1 Vorschlag 1:

Der erste Vorschlag orientiert sich an der Herangehensweise zur Bildung der Gesamtzuchtwerte Dressur und Springen aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten (Tab. 7, Kap. 2.6). So würde auch hier eine Untergliederung in die vier Merkmalskomplexe Turniersportprüfungen, Aufbau- und Basisprüfungen, Veranlagungstest und Zuchtstutenprüfung sowie Hengstleistungsprüfung mit einer Gewichtung von je 25% angenommen (Tab. 42). Der Merkmalskomplex Turniersportprüfungen würde zu je 50% die Einzelzuchtwerte der nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen umfassen. Da dieser Untersuchung keine Zuchtstutenprüfungsergebnisse zu Grunde lagen, können diese hier nicht berücksichtigt werden, entsprechend würde für den Merkmalskomplex nur der Veranlagungstest (30-Tage-Test) berücksichtigt. Auf Grund der (leicht) positiven genetischen Korrelationen sowohl zu nationalen als auch zu internationalen Vielseitigkeitsprüfungen könnten die Merkmale Galopp, Galopp (im Training bewertet), Rittigkeit und Rittigkeit (Training) zu gleichen Teilen herangezogen werden. Für den Merkmalskomplex Hengstleistungsprüfung sollten die Trainingsbewertungen der Merkmale Galopp und Rittigkeit einfließen.

Tab. 42: Vorschlag 1: Zusammensetzung des Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten der Turniersportprüfungen (TSP), der Aufbau- und Basisprüfungen (ABP), des Veranlagungstests (VA) sowie der Hengstleistungsprüfung (HLP), Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit (T=Training).

Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit			
25%	25%	25%	25%
Teilzuchtwert	Teilzuchtwert	Teilzuchtwert	Teilzuchtwert
TSP Vielseitigkeit	ABP Vielseitigkeit	VA	HLP
50% nationale VS- prüfungen		25% Galopp (T) 25% Rittigkeit (T)	50% Galopp (T) 50% Rittigkeit (T)
50% international VS- prüfungen		25% Galopp 25% Rittigkeit	

4.5.2 Vorschlag 2:

Für Vorschlag 2 wird die Bildung eines Gesamtzuchtwertes Vielseitigkeit aus Einzelzuchtwerten auf Grundlage des Vorschlages 1 mit veränderten Gewichtungsfaktoren der Merkmalskomplexe umgesetzt. So würde hier der Teilzuchtwert Turniersport 50 Prozent des Gesamtzuchtwerts ausmachen, bei zusätzlich stärkerer Gewichtung des Einzelzuchtwerts Vielseitigkeit international. Die Teilzuchtwerte des Veranlagungstest und der Hengstleistungsprüfung würden jeweils weniger stark gewichtet (Tab. 43). Durch die angepassten Gewichtungsfaktoren soll der Schwerpunkt noch stärker auf den Turniersport und dort insbesondere die internationalen Prüfungen gelegt werden, um das Zuchtziel Erfolg in internationalen Vielseitigkeitsprüfungen besser abzubilden.

Tab. 43: Vorschlag 2: Zusammensetzung des Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten der Turniersportprüfungen (TSP), der Aufbau- und Basisprüfungen (ABP), des Veranlagungstests (VA) sowie der Hengstleistungsprüfung (HLP), Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit (T=Training).

Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit			
50%	25%	12,5%	12,5%
Teilzuchtwert	Teilzuchtwert	Teilzuchtwert	Teilzuchtwert
TSP Vielseitigkeit	ABP Vielseitigkeit	VA	HLP
40% nationale VS- prüfungen		25% Galopp (T) 25% Rittigkeit (T)	50% Galopp (T) 50% Rittigkeit (T)
60% international VS- prüfungen		25% Galopp 25% Rittigkeit	

4.5.3 Vorschlag 3:

Eine weitere Alternative stellt die Bildung eines Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit lediglich aus den Einzelzuchtwerten von nationalen und internationalen Turniersportprüfungen der Vielseitigkeit sowie der Aufbau- und Basisprüfungen für Vielseitigkeit (also Geländepferdeprüfungen) ohne Berücksichtigung der Leistungsprüfungen dar. Das größte Gewicht sollte dabei auf dem Einzelzuchtwert „internationale Vielseitigkeit“ liegen, die nationalen Vielseitigkeitsprüfungen und die Geländepferdeprüfungen sollten einen weniger starken Einfluss auf den Gesamtzuchtwert haben (Tab. 44).

Im Anhang sind anonymisierte Top-20-Listen sowohl der Einzelzuchtwerte als auch des Gesamtzuchtwerts nach Vorschlag 3 zu finden. Es konnten keine Gesamtzuchtwerte für die Vorschläge 1 und 2 berechnet werden, da für die HLP-Merkmale keine ausreichend große Anzahl von Zuchtwerten mit einer Genauigkeit größer gleich 0,4 zur Verfügung stand.

Tab. 44: Vorschlag 3: Zusammensetzung des Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten der Turniersportprüfungen (TSP), der Aufbau- und Basisprüfungen (ABP).

Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit

50%	30%	20%
Teilzuchtwert	Teilzuchtwert TSP	Teilzuchtwert
TSP international VS-Prüfungen	nationale VS-Prüfungen	ABP Vielseitigkeit

5. Diskussion

In dieser Arbeit wurden erstmalig Rangergebnisse der Disziplin Vielseitigkeit für die deutsche Reitpferdepopulation vergleichend zu den Reitsportdisziplinen Dressur und Springen analysiert.

Ziel war neben der Schätzung von (Ko-)Varianzkomponenten und Zuchtwerten die Konzeption eines Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit. Zudem lag ein Schwerpunkt der Arbeit in der Prüfung alternativer Merkmalsdefinitionen und Modellierungen. Es sollten Ansatzpunkte für ein auf die Vielseitigkeit abgestimmtes Zuchtprogramm gefunden und Selektionskriterien definiert werden, um den Züchtern und Zuchtverbänden ein geeignetes Mittel zur zielgerichteten Zucht von Vielseitigkeitspferden an die Hand zu geben.

5.1 Schätzung von genetischen Parametern

5.1.1 Heritabilitäten für Turniersporterfolge in der Vielseitigkeit

Es wurden Varianzkomponenten für die Merkmale Vielseitigkeit insgesamt, Vielseitigkeit national (V_n) und Vielseitigkeit international (V_i) unter Verwendung verschiedener Merkmalsdefinitionen und Modelle geschätzt. Dabei wurden folgende Heritabilitäten geschätzt: für die Vielseitigkeit insgesamt Werte von 0,06 bis 0,08, für nationale Vielseitigkeitsprüfungen von 0,04 bis 0,08 und für internationale Vielseitigkeitsprüfungen von 0,04 bis 0,14. Für Rangergebnisse in der Vielseitigkeit gaben Ricard und Chanu (2001) eine Heritabilität von 0,07 an, Paustian (2010) schätzte eine Heritabilität von 0,05 bis 0,06.

Durch die für die Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ (GTR) durchgeführte Gewichtung der Prüfungsklassen konnten mit 0,07 (V_n) und 0,08 - 0,09 (V_i) höhere Heritabilitäten realisiert werden als unter Verwendung der Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ (TR) (0,04 - 0,05 für V_n und 0,05 - 0,06 für V_i). Zudem wurden mit einer Ausnahme über alle Rechenläufe hinweg stets leicht höhere Heritabilitäten (um 0,01 bis 0,02) für die internationalen Vielseitigkeitsprüfungen im Vergleich zu nationalen Prüfungen ermittelt.

Diese waren in allen Fällen auf eine höhere additiv-genetische Varianz zurückzuführen, wenngleich auch die Restvarianzen bei internationalen Vielseitigkeitsprüfungen größer waren. Die beobachteten Abweichungen der Heritabilitäten für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen bei Berücksichtigung des Stutenstamms im Modell sind auf den Varianzanteil des Stutenstammes zurückzuführen, der zusätzlich ausgewiesen wird. Auch Ricard und Chanu (2001) schätzten höhere Heritabilitäten für größere Schwierigkeitsgrade. In Übereinstimmung damit beschrieben Steward *et al.* (2012) die höchste Heritabilität für die schwerste Prüfungsstufe in der Vielseitigkeit.

Neben einer stärker standardisierten Prüfungsumwelt und einheitlicheren Bewertungen durch wenige, gut geschulte Richter bei Prüfungen auf einem höheren Niveau kann angenommen werden, dass in schweren Prüfungen stärker das tatsächliche Leistungspotential geprüft wird als in leichteren Prüfungen. Steward *et al.* (2012) vermuteten, dass für Erfolge in niedrigeren Klassen ein gutes Interieur und Athletik ausreichen, während in höheren Klassen spezifische Merkmale wie die Grundgangarten oder das Springvermögen wachsenden Einfluss haben.

Die von Jaitner und Reinhardt (2012) im Auftrag der FN geschätzten Heritabilitäten betragen für die Dressurprüfungen 0,08 und für die Springprüfungen 0,04, während Hassenstein (1999) Heritabilitäten für die Dressur von 0,10 und für das Springen von 0,05 und Lührs-Behnke *et al.* (2006) Heritabilitäten von 0,06 und 0,03 schätzten. Im Vergleich dazu lagen die hier in bivariaten Rechenläufen mit Merkmalen der Vielseitigkeit für die Disziplin Dressur geschätzten Heritabilitäten von 0,10 nahe bei den Vergleichswerten. Die Heritabilitäten für das Springen (0,08-0,09) hingegen waren durchweg höher als die von Hassenstein (1998), Lührs-Behnke *et al.* (2006) und Jaitner und Reinhardt (2012) veröffentlichten Werte. Zieht man jedoch ein Drei-Merkmal-Modell heran, das auch den Effekt des Stutenstammes berücksichtigt, resultierten sowohl für die Dressur als auch für das Springen den Literaturwerten entsprechende Heritabilitäten.

Ricard *et al.* (2000) führten die niedrigen Heritabilitäten, die für Turniersportergebnisse geschätzt werden, auf eine Vorselektion der Turnierpferde und eine stärkere Beeinflussung des Ergebnisses durch das Training zurück.

Nachteilig sahen sie zudem, dass Turniersportergebnisse insbesondere aus den schweren Klassen erst recht spät zur Verfügung stehen. Lührs-Behnke *et al.* (2006) beschrieben den Einfluss der Vorselektion in Abhängigkeit von der Merkmalsdefinition.

Eine stärkere Vorselektion sei bei der Verwendung der Gewinnsumme oder bei alleiniger Berücksichtigung der platzierten Pferde bei der Varianzkomponentenschätzung im Vergleich zum transformierten Rang gegeben, da der transformierte Rang die gesamte Leistungsbreite besser abbildet. Ricard und Legarra (2010) bemängeln hingegen eine Unterschätzung der Varianz durch die Nutzung von Rangergebnissen. Zusätzlich zu diesen Problemen merkte Koenen (2002) die oft subjektive Definition und Bewertung von Merkmalen im Reitsport an.

In der vorliegenden Arbeit wurden Heritabilitäten für Geländepferdeprüfungen von 0,07 bis 0,08 (TR) bzw. 0,13 (GTR) in bivariaten Rechenläufen mit nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen geschätzt. Die im Vergleich zu Turniersportprüfungen höheren Heritabilitäten für Basis- und Aufbauprüfungen, die hierbei beobachtet wurden, können darauf zurückgeführt werden, dass die Eignung eines Pferdes für die jeweilige Disziplin und nicht die Leistung einer Pferd-Reiter-Kombination entsprechend den Aufgabenstellungen einer Prüfungsklasse bewertet wird (Lührs-Behnke *et al.*, 2006).

Des Weiteren wurden bivariate Rechenläufe mit Rangergebnissen von Dressurpferde-, Springpferde- und Geländepferdeprüfungen durchgeführt. Die hier geschätzten Heritabilitäten zeigten höhere Werte für Dressurpferdeprüfungen von 0,14 (TR) bzw. 0,13 (GTR) im Vergleich zu 0,07 (TR) und 0,06-0,07 (GTR) für Springpferde. Für Geländepferdeprüfungen betragen die Schätzwerte 0,07 bis 0,09 (TR) bzw. 0,13 (GTR). Übereinstimmend schätzten Brockmann und Bruns (1998) ($h^2 = 0,35$ bzw. $h^2 = 0,14$), Lührs-Behnke *et al.* (2006) ($h^2 = 0,12$ bzw. $h^2 = 0,11$), und Jaitner und Reinhardt (2012) ($h^2 = 0,17$ bzw. $h^2 = 0,13$), unter Verwendung der Merkmale „Wertnote“ jeweils höhere Heritabilitäten für Dressurpferde- als für Springpferdeprüfungen.

Ursächlich könnte eine stärkere Beeinflussung des Rangergebnisses beispielsweise durch Abwürfe in Springprüfungen sein, wobei diese Abwürfe nicht direkt mit der Qualität und Eignung für Springprüfungen des Pferdes in Verbindung zu bringen sind.

Insgesamt konnten hier mit den Literaturangaben vergleichbare Werte für die Heritabilitäten der Turniersportmerkmale geschätzt werden. Als Gründe für die geringen Abweichungen der Schätzwerte, die teilweise beobachtet wurden, können Unterschiede in Datenmaterial, Modell und Merkmalsdefinition angenommen werden.

5.1.2 Genetische Korrelationen zwischen Merkmalen des Turniersports

Es wurden nur moderate genetische Korrelationen zwischen nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen von 0,45 (TR) bzw. 0,37 (GTR) ermittelt. Eine genetische Korrelation von 0,36 zwischen der leichtesten und schwersten Prüfungsklasse in der Teilprüfung Gelände schätzten Steward *et al.* (2012). Paustian (2010) fand die mit 0,50 größte genetische Korrelation zwischen den Prüfungsklassen L und M von Vielseitigkeitsprüfungen. Ricard und Chanu (2001) hingegen beschrieben genetische Korrelationen zwischen niedrigen und hohen Schwierigkeitsgraden nahe 1, stellten aber fest, dass die gewählte Merkmalsdefinition „logarithmierte jährliche Gewinnsumme“ nicht gut zur Beurteilung dieser Fragestellung geeignet ist, da in der jährlichen Gewinnsumme Preisgelder verschiedener Prüfungen und auch Prüfungsklassen kumuliert werden.

Die hier berechneten genetischen Korrelationen unterschreiten den nach Definition von Robertson (1959) kritischen Wert von 0,8 und verweisen damit auf mögliche Genotyp-Umwelt-Interaktionen. Nach Falconer und Mackay (1996) sind Leistungen, die in unterschiedlichen Umwelten gemessen werden und deren genetische Korrelation niedrig ist, als zwei verschiedene Merkmale anzusehen. Dies entspricht der Empfehlung aus der Praxis nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen als zwei verschiedene Merkmale zu betrachten. Auch die Rangkorrelationen zwischen den Zuchtwerten für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen von 0,44 (TR) bzw. 0,51 (GTR) unterstreichen diese These.

Schon die als Pre-Test durchgeführten Analysen mit der Prozedur „Proc Mixed“ (SAS Institute Inc., 2012) zeigten einen hoch signifikanten Unterschied zwischen der nationalen und der internationalen Prüfungskategorie in der Vielseitigkeit. Insgesamt lässt dies den Schluss zu, dass nicht nur einzelne Faktoren stärkeren Einfluss auf das Rangergebnis in internationalen Vielseitigkeitsprüfungen haben sondern auch, dass sich die benötigten Eigenschaften für den Erfolg in internationalen Vielseitigkeiten teilweise von denen in nationalen Vielseitigkeitsprüfungen unterscheiden.

Die genetischen Korrelationen der nationalen und internationalen Vielseitigkeit zu den Geländepferdeprüfungen betragen 0,54 und 0,39 (TR) bzw. 0,22 und 0,09 (GTR). Sie sind im Vergleich zu den genetischen Korrelationen zwischen Dressurpferdeprüfungen und der Turniersportdisziplin Dressur (0,96 bzw. 0,82) sowie zwischen Springpferdeprüfungen und der Turniersportdisziplin Springen (0,89 bzw. 0,71) beschrieben von Lührs-Behnke *et al.* (2006) und Brockmann und Bruns, (1998) relativ gering. Beide stellten dabei die höheren genetischen Korrelationen zwischen Dressurpferdeprüfungen und der Dressur fest. Brockmann (1998) führte die niedrigere genetische Korrelation zwischen den Springpferdeprüfungen und dem Springen auf einen größeren Unterschied im Prüfungssystem zurück. So werden sowohl in Dressurpferdeprüfungen als auch in Dressuren Wertnoten vergeben, während bei Springpferdeprüfungen mit Wertnoten gerichtet, aber im Springen der übliche Modus Fehlerpunkte und Zeit ist. Noch deutlich größer ist die Diskrepanz zwischen Geländepferdeprüfungen, in denen ebenfalls mit Wertnoten bewertet wird, und einer nationalen oder internationalen Vielseitigkeit, in der die Geländeprüfung nur eine Teilprüfung ist und das Ergebnis aus Strafpunkten besteht. Die Anforderungen, die in internationalen Vielseitigkeitsprüfungen an die Pferde gestellt werden, weichen noch stärker von denen der Geländepferdeprüfungen ab, womit auch die Differenz zwischen den genetischen Korrelationen von V_n bzw. V_i zu den Geländepferdeprüfungen begründet werden kann.

Die hohe genetische Korrelation von 0,78 zwischen den Rangergebnissen in der Dressur und in nationalen Vielseitigkeitsprüfungen (TR) lässt auf eine große Bedeutung der Teildisziplin Dressur am Gesamtergebnis für Vielseitigkeitserfolge im nationalen Wettbewerb schließen.

Im Vergleich dazu liegt die genetische Korrelation zwischen der Dressur und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen mit 0,41 auf moderatem Niveau. Hingegen ist die genetische Korrelation zwischen internationalen Vielseitigkeitsprüfungen und dem Springen mit 0,35 größer als bei nationalen Prüfungen mit 0,19. Nicht zuletzt ist dies auf den Prüfungsmodus zurückzuführen, nach dem das Ergebnis der Teilprüfung Dressur durch Strafpunkte in den Teilprüfungen Gelände und Springen nur verschlechtert, nicht aber verbessert werden kann.

Offensichtlich hat das Ergebnis der Teilprüfung Springen in internationalen Prüfungen aber einen größeren Einfluss auf das Gesamtergebnis als in nationalen Prüfungen, so dass die Springanlage dort von größerer Bedeutung ist.

Für die Vielseitigkeit insgesamt konnten im linearen Modell 2 bzw. im Schwellenwertmodell B genetische Korrelationen zur Dressur von 0,80 bzw. 0,57 und zum Springen von 0,19 bzw. -0,05 geschätzt werden, wobei im Schwellenwertmodell B nur ein Teildatensatz ausgewertet wurde. Auch Ricard und Chanu (2001) beobachteten eine höhere genetische Korrelation zwischen Dressur und Vielseitigkeit (0,58) als zwischen Springen und Vielseitigkeit (0,45). Sie äußerten die Vermutung, dass hohe genetische Korrelationen zu Dressur und Springen eventuell nur den Fakt wiedergeben, dass ein Pferd, um gut in der Vielseitigkeit zu sein, auch gut in Dressur und Springen abschneiden muss. Der Umkehrschluss, dass z.B. ein erfolgreiches Dressurpferd auch ein gutes Vielseitigkeitspferd ist, ließe sich daraus aber nicht ableiten. Anhand schwedischer Daten schätzte Ray (2012) genetische Korrelationen zwischen den Merkmalen Springen und Vielseitigkeit von 0,44, konnte aber keine Korrelation (-0,01) zwischen Dressur und Vielseitigkeit finden und führte eine geringe Verknüpfung im Datenmaterial zwischen den beiden Disziplinen als möglichen Grund an.

Leider standen hier keine Teilprüfungsergebnisse für die Auswertung zur Verfügung, sodass die Einflüsse der Teilprüfungen auf das Gesamtergebnis der Vielseitigkeit nicht mit entsprechenden Ergebnissen belegt werden konnten. Anhand englischer Turniersportergebnisse schätzten Whitaker *et al.* (2004) für die leichteste Prüfungsklasse eine Korrelation von 0,91 zwischen der Dressurbewertung und Platzierung in der Gesamtprüfung.

Deuel und Russek-Cohen (1995) konnten hingegen anhand der Ergebnisse der Weltmeisterschaften 1988, 1990 und 1992 die größte Beeinflussung des Endergebnisses durch die Geländeteilprüfung feststellen, allerdings wurde der Prüfungsmodus 2004 reformiert, sodass sich daraus kein Rückschluss auf die Bedeutung der Teilprüfungen für das Gesamtergebnis heutiger Vielseitigkeitsprüfungen ziehen lässt. Nach Beobachtung von Steward *et al.* (2012) eigneten sich die Leistungen in der Geländeteilprüfung niedrigerer Prüfungsklassen nicht gut zur Vorhersage der Leistungen in höheren Prüfungsklassen.

Die dargelegten Ergebnisse hinsichtlich der Heritabilitäten und genetischen Korrelationen zeigen, dass sich die gezielte Zucht von Spitzenpferden für den insbesondere international ausgerichteten Vielseitigkeitssport mit den zurzeit vorhandenen Möglichkeiten nur schwierig realisieren lässt, wenn nur korrelierte Selektionserfolge über indirekte Zuchtstrategien auf Dressur und Springen genutzt werden. Auch Ricard und Chanu (2001) empfehlen auf Grundlage der von ihnen berechneten genetischen Parameter die Entwicklung einer spezifischen Zuchtstrategie mit entsprechenden Selektionskriterien für die Vielseitigkeit.

5.2 Der Effekt des Reiters als Varianzkomponente

Dass der Reiter zum einen durch das Training und die Ausbildung des Pferdes, zum anderen über die Vorstellung in der Prüfung als solches, großen Einfluss auf den Erfolg eines Pferdes im Turniersport hat, ist unumstritten. So manches Pferd profitiert von seinem Reiter, andere Reiter hingegen sind nicht in der Lage, das Potential ihres Pferdes auszuschöpfen. Wie groß dieser Effekt des Reiters auf die Rangergebnisse, speziell in der Vielseitigkeit ist, wurde hier untersucht.

Der Anteil der Reitervarianz an der Gesamtvarianz beträgt für nationale Vielseitigkeitsprüfungen abhängig von der Merkmalsdefinition zwischen 0,09 und 0,14. Für internationale Vielseitigkeitsprüfungen konnte ein Anteil der Reitervarianz zwischen 0,14 und 0,24 geschätzt werden und somit ein größerer Einfluss des Reiters auf den Erfolg in einer Prüfung bewiesen werden.

Eine weitere Erklärung für die Differenz zwischen nationalen und internationalen Prüfungen könnte in der hier gewählten Modellierung des Reitereffekts liegen, wonach der Reiter erst ab mindestens 50 Beobachtungen mit fünf verschiedenen Pferden als eigene Effektstufe berücksichtigt wird. Es ist davon auszugehen, dass diese Bedingung eher von professionellen Reitern, die in der Breite erfolgreicher reiten und entsprechend vermehrt in schwereren Prüfungen starten, erfüllt wird. Daraus folgt, dass dort anteilig mehr Beobachtungen für Reiter mit eigener Effektstufe als in leichteren Klassen registriert werden und somit einen größeren Varianzanteil erklären. Im Vergleich dazu schätzten Steward *et al.* (2012) für den Reitereffekt in Teildisziplinen der Vielseitigkeit Werte zwischen 0,08 und 0,29 und konnten in der Teildisziplin Dressur den größten Anteil der Reitervarianz an der Gesamtvarianz feststellen. Paustian (2010) berechnete einen Anteil der Reitervarianz von 0,15 und Kearsly (2008) ermittelte einen ansteigenden Anteil der Reitervarianz sowohl in der Geländeteilprüfung als auch in der gesamten Vielseitigkeitsprüfung vom leichtesten Level (0,04 bzw. 0,09) zum schwersten Level (0,15 bzw. 0,17). Auch Brockmann und Bruns (2000) stellten die große Bedeutung des Reitereffekts heraus.

Der größte Einfluss der Reitervarianz im Vergleich der Disziplinen im Modell 2 bzw. im Schwellenwertmodell B konnte hier für die Dressur (0,18 bzw. 0,25) beobachtet werden, gefolgt von der Vielseitigkeit (0,16 bzw. 0,17). Auf den Erfolg in Springprüfungen hat der Reiter mit 6% bzw. 9% einen deutlich geringeren Einfluss. Dies könnte an dem objektiveren Prüfungssystem der mehrheitlich nach Fehlern und Zeit gerichteten Springprüfungen festzumachen sein. Das Rangergebnis ist dort weniger von der subjektiven Einschätzung eines Richters abhängig, der in der Praxis durchaus auch den Reiter als Person in die Bewertung einfließen lässt. Auch Lührs-Behnke *et al.* (2006) beschrieben die Möglichkeit der Verzerrung durch die Erwartungshaltung eines Richters an eine ihm bekannte Pferd-Reiter-Kombination insbesondere in Dressurprüfungen.

In allen durchgeführten Varianzkomponentenschätzungen aber machte der zufällige Effekt des Reiters einen größeren Anteil an der Gesamtvarianz des jeweiligen Merkmals aus als der zufällige Effekt des Pferdes. Maßgeblich für den Erfolg ist also nicht zuletzt die Einwirkung des Reiters auf das Pferd, umso mehr bei steigendem Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung.

5.3 Vergleich verschiedener Merkmalsdefinitionen von Rangergebnissen

Die Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ für den Erfolg in Turniersportprüfungen geht auf Hassenstein *et al.* (1999) zurück. Durch die Verwendung des transformierten Ranges kann gegenüber der Merkmalsdefinition „logarithmierte Gewinnsumme“ die Konkurrenz innerhalb einer Prüfung besser berücksichtigt werden und alle gestarteten Pferde können in die Analyse einfließen. Während aber durch die Ausschüttung der Gewinnsumme in Abhängigkeit der Prüfungsklasse eine direkte Berücksichtigung des Schwierigkeitsgrads erfolgte, wird bei dem Merkmal „transformierter Rang“ der Schwierigkeitsgrad nur indirekt über das genetische Niveau einer Prüfung berücksichtigt (Hassenstein *et al.*, 1999). Probleme konnten hinsichtlich der Vernetzung der Ergebnisse und einer Vergleichbarkeit in der Praxis gezeigt werden, insbesondere wenn Leistungen aus verschiedenen Prüfungsklassen stammen. Eine gleichzeitige Berücksichtigung von Prüfung und Prüfungsklasse sei aber nicht möglich, da diese Effekte nicht unabhängig voneinander seien. So empfehlen Hassenstein *et al.* (1999), die Ergebnisse aus verschiedenen Prüfungsklassen in Form von gesonderten Merkmalen in ein Mehr-Merkmal-Modell einfließen zu lassen.

In der vom Vit für die FN durchgeführten Zuchtwertschätzung wird der transformierte Rang als Merkmal verwendet und der Schwierigkeitsgrad über die Vergleichsgruppe, also die ebenfalls in der jeweiligen Prüfung gestarteten Pferde, abgebildet (Jaitner und Reinhardt, 2012). Auch Hassenstein *et al.* (1999) und Lührs-Behnke *et al.* (2006) verwendeten für ihre genetische Analysen den Effekt der Prüfung, schränkten aber die verwendeten Daten stark ein. Hassenstein *et al.* (1999) wählten ca. 200'000 Beobachtungen aus drei Jahren aus, sodass pro Pferd durchschnittlich 3,6 Beobachtungen im Springen und 4,2 in der Dressur analysiert wurden. Ebenfalls eine starke Reduzierung des Datensatzes auf ca. 500.000 Beobachtungen aus 6 Jahren führten Lührs-Benke *et al.* (2006) durch. Sie verwendeten jedoch nur Prüfungen mit großen Starterzahlen, so standen durchschnittlich 4 bis 5 Starts pro Pferd zur Auswertung zur Verfügung. Davon abweichend wurde hier in allen Modellen zur Auswertung von Turniersportergebnissen der Effekt der Veranstaltung verwendet und, mit Ausnahme des Merkmals „gewichteter transformierter Rang“ und im Schwellenwertmodell C, der Effekt der Prüfungsklasse.

So wurde über die Kombination der fixen Effekte der Veranstaltung und der Prüfungsklasse die Vergleichsgruppe definiert. Dies ist weniger exakt als die Prüfung selbst als Effekt zu berücksichtigen. Zu bedenken ist jedoch, dass die hier analysierten 6,4 Millionen Beobachtungen aus 7 Jahren ca. 24000 Turnierveranstaltungen abbilden. Da es pro Turnier im Mittel 10 Prüfungen gab, hätte ein Effekt Prüfung bis zu 240000 Effektstufen haben können. Dies war mit den gegebenen Rechnerkapazitäten nicht realisierbar. Jedoch wurden mit durchschnittlich 29,2 Beobachtungen pro Pferd mehr wiederholte Leistungen und eine insgesamt deutlich größere Tierzahl berücksichtigt. Es kann davon ausgegangen werden, dass dadurch eine höhere Genauigkeit der Zuchtwertschätzung erreicht werden kann.

Auf Veranstaltungen und Turnieren, auf denen Vielseitigkeitsprüfungen durchgeführt werden, gibt es zudem in der Regel nur eine Prüfung je Prüfungsklasse. Daher kann für Vielseitigkeitsprüfungen eine ausreichende Abbildung der Konkurrenz durch die Effekte Veranstaltung und Prüfungsklasse angenommen werden. Im direkten Vergleich des linearen Basismodells 1, mit und ohne Prüfungsklasse als Effekt modelliert, wurden fast identische Varianzkomponenten geschätzt. Es konnte für die Merkmale Vielseitigkeit national und international keine Überlegenheit des Modells mit der Prüfungsklasse als Effekt gegenüber dem Modell ohne Prüfungsklasse unter Verwendung des Bayes-Faktors festgestellt werden. Dennoch wurde der Effekt Prüfungsklasse weiterhin im Modell berücksichtigt.

Als Alternative zur besseren Berücksichtigung des Schwierigkeitsgrads einer Prüfung wurde hier die Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ etabliert. Hierbei wurde, modifiziert nach Höh (2013), die Prüfungsklasse über einen Gewichtungsfaktor direkt mit dem Rangergebnis verknüpft, womit die Einordnung der Leistung eines Pferdes zusätzlich zur Vergleichsgruppe erleichtert wird. Aufgrund des Problems, dass sich Rangierungen über Klassengrenzen hinweg nicht vergleichen lassen, erhielt der erste Platz der niedrigeren Prüfungsklasse durch die gewichtete Transformation einen geringeren Wert als der 100. Platz der nächsthöheren Klasse.

Der Vorteil des gewichteten transformierten Ranges gegenüber dem transformierten Rang liegt darin, dass der Schwierigkeitsgrad der Prüfung, der über die Prüfungsklasse im Modell hier nicht ausreichend dargestellt wird, über die Merkmalsdefinition einfließt. Es besteht zwar weiterhin das Problem, dass ein erster Platz bei Rangergebnissen nicht weiter verbessert werden kann, aber aus der Gewichtung resultiert, dass der erste Platz in Klasse S der Beste ist und entsprechend für die ersten Plätze in den Klassen A, L und M noch Leistungssteigerungen möglich sind. Ebenfalls hervorzuheben ist die größere Varianz innerhalb eines Merkmals, die durch die gewichtete Transformation im Vergleich zum transformierten Rang entsteht.

Im Vergleich konnten tendenziell höhere Heritabilitäten, niedrigere genetische Korrelationen und geringere Standardabweichungen der posterior means der Korrelationen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, sowie Geländepferde-, Dressurpferde- und Springpferdeprüfungen bei Verwendung des „gewichteten transformierten Ranges“ beobachtet werden. Für die Standardabweichungen der posterior means der Heritabilitäten konnte keine Veränderung festgestellt werden. Die Rangkorrelationen zwischen den Zuchtwerten nationaler und internationaler Vielseitigkeitsprüfungen für die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“ und „gewichteter transformierter Rang“ waren innerhalb der Disziplinen sehr hoch (0,94 bzw. 0,91), zeigen aber dennoch einen Einfluss der Merkmalsdefinition auf die geschätzten Zuchtwerte.

Ebenfalls getestet wurde eine Vereinfachung der Merkmalsdefinition auf eine binäre Verteilung. Es wurde neben der Fragestellung, ob ein Pferd in einer Prüfung platziert war (Merkmalsdefinition (a)), auch das Erreichen des Zuchtziels im Sinne des Erreichens der schwersten Klasse durch ein Pferd im Prüfzeitraum (Merkmalsdefinition (b)) untersucht. Binäre Merkmalsdefinitionen werden in der Tierzucht hauptsächlich für die Untersuchung von Gesundheitsparametern angewandt (Stock *et al.*, 2007). Hier lag ein Vorteil der Verwendung eines binären Merkmals in einem Schwellenwertmodell im Vergleich zu einem linearen Modell in einer deutlichen Reduktion der Rechenzeit. Auf Grund des Bezugs der Merkmalsdefinition (b) auf den gesamten Prüfzeitraum konnten einige Effekte wie der des Reiters nicht im Schwellenwertmodell C verwendet werden.

Da aber insbesondere der Reiter, wie oben beschrieben, einen großen Anteil der Gesamtvarianz erklärt, führt die Nichtberücksichtigung des Reitereffekts zu einer großen Überschätzung der additiv-genetischen Varianz und daraus resultierend der Heritabilitäten. Eine Überschätzung der genetischen Parameter zwischen 10% und 20%, wenn der Reiter im Modell unberücksichtigt blieb, stellte Meinardus (1988) fest. Außerdem ist davon auszugehen, dass die auf den gesamten Beobachtungsraum bezogene Leistungsfähigkeit eine größere erbliche Komponente hat, als die Rangierung innerhalb jeder einzelnen Prüfung. Somit kann festgestellt werden, dass eine binäre Merkmalsdefinition, die das Erreichen der schwersten Prüfungsklasse ohne Berücksichtigung des Reiters abbildet, in Hinblick auf eine Zuchtwertschätzung ungeeignet erscheint.

Wurde die binäre Merkmalsdefinition (a) platziert/nicht platziert gewählt, konnten die Schwellenwertmodelle A und B mit den gleichen Effekten wie die linearen Modelle 1 und 2 verwendet werden. Stock *et al.* (2007) sahen bei der Verwendung von binären Merkmalsdefinitionen einen Vorteil des hier angewandten Gibbs-Sampling im Vergleich zum REML-Verfahren. Die Ergebnisse der Varianzkomponentenschätzung für das binäre Merkmal (a) waren vergleichbar mit denen der Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ und „gewichteter transformierter Rang“.

Die Differenz zwischen den Heritabilitäten von nationalen und internationalen Prüfungen von bis zu 0,04 war aufgrund der festgelegten Restvarianz von 1 und der größeren additiv-genetischen Varianz der internationalen Prüfungen im Vergleich zu den linearen Merkmalsdefinitionen etwas ausgeprägter. Insbesondere bei den Reitervarianzen und Stammheritabilitäten sowie den genetischen Korrelationen bestanden kaum Abweichungen zu den für den transformierten Rang geschätzten Werten. Betrachtet man die Rangkorrelationen der Zuchtwerte der Pferde zwischen den drei Merkmalsdefinitionen, waren diese zwischen dem transformierten Rang und der binären Kodierung größer als zwischen gewichtetem transformierten Rang und dem 0/1-Merkmal. Auch bei den Rangkorrelationen der Zuchtwerte der Stutenstämme bestätigten sich diese Beobachtung.

Ricard und Legarra (2010) beschreiben Rangergebnisse als relative Leistungen eines Pferdes im Verhältnis zu den Leistungen der anderen Pferde. Offenbar bringt das Rangergebnis in transformierter Form im Vergleich mit dem Turniersportergebnis platziert oder nicht platziert diesbezüglich keinen nennenswerten Informationszugewinn. Zu prüfen wäre, ob dieser Sachverhalt bei besserer Berücksichtigung der Konkurrenz durch den Effekt der einzelnen Prüfung reproduzierbar ist.

Alternativ zum Programm DMU (Madsen und Jensen, 2002) wurde im Rahmen dieser Arbeit die Software TM (Legarra *et al.*, 2011) zur Varianzkomponentenschätzung verwendet. Neben der Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ und der binären Kodierung (a) wurde eine siebenstufige Merkmalskodierung getestet. Die geschätzten Heritabilitäten und genetischen Korrelationen waren vergleichbar mit denen anderer Merkmalsdefinitionen, die einzelnen Varianzkomponenten wichen aber hinsichtlich ihrer Höhe sehr stark ab, zudem wiesen sie hohe Standardabweichungen auf. Ricard und Legarra (2010) prüften anhand simulierter Daten die Validität des Programms TM für Rangergebnissen im Pferdesport. Für die hier durchgeführten Berechnungen konnte kein Vorzug einer siebenstufigen Merkmalsdefinition gegenüber einer linearen oder binären Merkmalskodierung verzeichnet werden.

Insgesamt erscheint die Verwendung des gewichteten transformierten Ranges hier gegenüber dem transformierten Rang und der binären Merkmalskodierung insbesondere, im Hinblick auf die Abbildung der verschiedenen Schwierigkeitsgrade, vorteilhaft.

5.4 Stutenstammheritabilitäten für Merkmale der Vielseitigkeit

In der Pferdezucht wird großer Wert auf Stutenstämme und Familien gelegt und diese häufig über Generationen gepflegt (Christmann, 2010). Lengerken und Schwark (2002) bezeichneten die Kenntnis des Züchters über die züchterische Leistungsfähigkeit seiner Stute und deren Familie für eine leistungsorientierte Zucht als unerlässlich.

In der Trakehner und Holsteiner Zucht sowie im Stutbuch des englischen Vollbluts hat die besondere Wertschätzung und Herausstellung der Stutenstämme eine lange Tradition. Für den Hannoveraner Verband wurde durch Treu (2007) und Doering (2008) eine Stutenstammssystematik erarbeitet, um die Zugehörigkeit insbesondere von Zuchtstuten zu Stutenstämmen zu verdeutlichen und deren Bedeutung hervorzuheben. Wissenschaftlich belegt wurde der Einfluss maternaler bzw. mitochondrialer Vererbung von Schachtner *et al.* (1992) für die deutsche Traberpopulation bei Rennmerkmalen. Um die Bedeutung des Stutenstamms bei der phänotypischen Merkmalsvariation zu bestimmen, wurde daher der Stutenstamm als zufälliger Effekt in das lineare Tiermodell zur Schätzung von Zuchtwerten integriert.

In dieser Arbeit konnten für die Vielseitigkeit höhere Stammheritabilitäten als für Dressur und Springen geschätzt werden. Zudem wurden in Abhängigkeit verschiedener Merkmalsdefinitionen jeweils höhere Stammheritabilitäten für internationale Vielseitigkeitsprüfungen (0,05 – 0,11) im Vergleich mit nationalen Vielseitigkeitsprüfungen (0,03 – 0,09) geschätzt. Endres (2010) fand vergleichbare Heritabilitäten bei Hannoveraner Stutenstämme für HLP-Ergebnisse im Wertebereich von 0,00 bis 0,1 und für Sporterfolge nahe 0. Zudem stellte sie in Signifikanzanalysen einen Einfluss von Stutenstämmen auf einzelne Leistungsmerkmale fest.

In der Literatur finden sich Linienheritabilitäten bei Schweinen für Merkmale wie Wurfgröße zwischen 0,00 und 0,08 (Southwood und Kennedy, 1990) und in Untersuchungen zu Milchleistungsmerkmalen beim Milchrind zwischen 0,00 und 0,07 (Onken, 1995) und somit im tierartübergreifenden Vergleich analoge Varianzanteile. In diesem Zusammenhang ist die mtDNA-Vererbung zu erwähnen, die fast ausschließlich maternal erfolgt.

Mitochondrien sind verantwortlich für die Zellatmung, sie stellen Energie in Form von ATP (Adenosintriphosphat) zur Verfügung (Löffler, 2002). Engelhardt (2000) beschrieb eine hohe Mitochondriendichte in den Muskelzellen des Pferdes. Dies lässt einen kausalen Zusammenhang in Bezug auf die Leistungsvererbung innerhalb weiblicher Ahnenfolgen vermuten. Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit kann angenommen werden, dass der größere Einfluss der maternalen Vererbung bei der Vielseitigkeit und speziell den internationalen Prüfungen, also Disziplinen, in denen Ausdauer und Geschwindigkeit und somit auch die Energieversorgung der Muskelzellen von größerer Bedeutung sind, auf die unterschiedliche mitochondriale Vererbung einzelner Stutenstämme zurückzuführen ist. Unter diesem Gesichtspunkt erscheint eine Pflege sich positiv vererbender Stutenstämme in der Praxis durchaus sinnvoll.

Eine genauere Evaluierung dieses Zusammenhanges sollte weitere Forschungsarbeit gewidmet werden um beispielsweise die Frage zu klären, ob auf Vollblutstuten basierende Stutenstämme eine bessere Grundlage im Hinblick auf die Vielseitigkeit bilden.

Es sollte dabei in Erwägung gezogen werden, die Zuordnung einzelner Tiere zu den jeweiligen Stutenstämmen, aufgrund von eventuell unvollständigen Pedigreeinformationen, durch molekular-genetische Methoden unter Verwendung der mtDNA zu untermauern, wie es auch Schachtner *et al.* (1992) vorschlagen. Klunker *et al.* (2002) und Nibler *et al.* (1990) verweisen auf die Option eine falsche Linienzuordnung mittels mtDNA-Sequenzierung zu beheben. So prüften Hill *et al.* (2002) die Stutenstammzuordnung für das englische Vollblut anhand von mtDNA-Sequenzen und versuchten die weibliche Gründerpopulation anhand dieser Daten zu rekonstruieren. Und auch Bowling *et al.* (2000) belegten die Eignung dieser Methode mütterliche Verwandtschaftsverhältnisse aufzuklären. Eine dadurch verbesserte Abbildung der Verwandtschaft könnte zu einer Verbesserung der Schätzung von Varianzkomponenten insbesondere im Hinblick auf die Genauigkeit führen. Zur Einordnung der Leistungsfähigkeit von Stutenstämmen könnten zudem mtDNA- Haplotyp- Effekte geschätzt werden auf deren Grundlage genomische Zuchtwerte für Stutenstämme möglich wären.

5.5 Vollblutanteil im Pedigree und Inzuchtkoeffizienten

5.5.1 Einfluss des Vollblutanteils im Pedigree auf den Erfolg in Vielseitigkeitsprüfungen

Aufgrund von benötigten Eigenschaften wie Ausdauer, Härte und Galoppiervermögen empfahl Meinardus (1988) für die Vielseitigkeit Nachkommen von Vollblütern, da Vollblütern diese genannten Eigenschaften zugeschrieben werden. Die geringere Gewichtung der Geländeteilprüfung der Vielseitigkeit durch die Reformen des Prüfungsmodus führte aber zu einer Veränderung des benötigten Pferdetyps für den Erfolg in der Vielseitigkeit (Steward *et al.*, 2012). Kearsly (2008) beschrieb einen beginnenden Wandel des favorisierten Pferdetyps in der Vielseitigkeit von einem vollblutgeprägten zu einem mehr warmblutgeprägten Typen aufgrund der gekürzten Prüfungsform. Es konnte hier für in der Vielseitigkeit gestartete Pferde ein etwas höherer durchschnittlicher Vollblutanteil (30%) im Vergleich zur Gesamtheit der Pferde mit Turniersportergebnissen (27%) berechnet werden. Sitzenstock (2008) beobachtete für die Hannoveraner Population einen Anstieg des durchschnittlichen Vollblutanteils von 20 Prozent auf 25 Prozent im Untersuchungszeitraum.

Der Einfluss des Vollblutanteils auf den Erfolg in Vielseitigkeitsprüfungen wurde in dieser Arbeit untersucht. Dazu wurden im Vorfeld mit der SAS-Prozedur „Proc Mixed“ verschiedene Optionen der Modellierung des Vollblutanteils getestet. Als fixer Effekt in Klassen, aber auch als lineare und quadratische Regression getestet innerhalb der Kategorie, war der Vollblutanteil für das Merkmal „transformierter Rang“ der Vielseitigkeit hoch signifikant. Der höchste AIC-Wert konnte für den quadratischen Vollblutanteil berechnet werden, was darauf hindeutet, dass es einen optimalen Vollblutanteil für den Erfolg in Vielseitigkeitsprüfungen gibt. Zwischen Zuchtwerten für die internationale Vielseitigkeit und dem Vollblutanteil wurde eine hoch signifikant von 0 verschiedene phänotypische Korrelation von 0,14 berechnet, die für die Zuchtwerte nationaler Vielseitigkeitsprüfungen geringer ausfiel und nicht signifikant war. Dies könnte auf die steigende Streckenlänge und Prüfungsdauer der Geländeteilprüfung bei internationalen Vielseitigkeitsprüfungen zurückzuführen sein, in denen beispielsweise die Ausdauer eine größere Rolle spielt.

Cikrytova *et al.* (1991) konnten für Warmblüter höhere Herzfrequenzwerte im Vergleich zu Vollblütern messen, während Rose *et al.* (1990) feststellten, dass Vollblüter eine signifikant bessere aerobe Kapazität als Warmblüter haben.

Des Weiteren steigt die geforderte Geschwindigkeit mit der Prüfungsklasse, sodass die auf Rennleistung, und damit einhergehende Geschwindigkeit im Galopp selektierten Vollblüter und deren Nachkommen, hier ebenfalls begünstigt sind. Mit diesen Aspekten könnte unter anderem der Vorteil eines höheren Vollblutanteils begründet sein.

Ursächlich für die geringere Höhe der Korrelation kann angenommen werden, dass das Optimum des Vollblutanteils bei ca. 70 Prozent liegt, während zur Berechnung der phänotypischen Korrelation ein linearer Zusammenhang unterstellt wird. Die zu Grunde liegenden Datensätze stammen allesamt aus dem Zeitraum nach der Veränderung des Prüfungsmodus der Vielseitigkeit. Es kann daher angenommen werden, dass hier die aktuelle Situation in der Vielseitigkeit abgebildet wurde, in der ein vollblutgeprägtes Pferd weiterhin vorzuziehen ist.

Ebenfalls hochsignifikante ($< 0,0001$) phänotypische Korrelationen zwischen dem Vollblutanteil und den Zuchtwerten für Dressur (-0,20), Vielseitigkeit (-0,12) und Springen (0,11) konnten beobachtet werden. Wenn die Vielseitigkeit insgesamt betrachtet wird, haben die nationalen Prüfungen einen deutlich größeren Anteil als die internationalen Prüfungen. Zudem kommt für diese im Drei-Merkmals-Modell gemeinsam mit den Disziplinen Dressur und Springen geschätzten Zuchtwerte die hohe genetische Korrelation zur Dressur stärker zum Tragen. Diese Konstellation und der eher negative Einfluss von Vollblütern auf die Grundgangarten, da diese ausschließlich nach Rennleistung selektiert werden, kann die hier beobachtete leicht negative Korrelation zwischen Vielseitigkeit und Vollblutanteil in nationalen Prüfungen verursachen. Sitzenstock (2008) stellte abweichend für die Hannoveraner Populationen einen positiven Einfluss eines ansteigenden Vollblutanteils auf den integrierten Zuchtwert Dressur fest, während er für den integrierten Zuchtwert Springen eine negative Tendenz bei größer werdendem Vollblutanteil ausmachte.

Es kann angenommen werden, dass dieser spezielle Fall auf dem großflächigen Einsatzes des Hengstes Lauries Crusador XX zurückzuführen ist, vom dem bis zu 61% der geborenen Fohlen eines Jahrgangs mit Vollblutvater abstammten, und der als Dressurvererber zu bezeichnen ist. Der Effekt des Vollblutanteils ist also in diesem Fall wahrscheinlich von der Vererbungsleistung eines vielfach eingesetzten Vollbluthengstes überdeckt worden.

5.5.2 Einfluss des Inzuchtkoeffizienten auf Turniersportergebnisse

Während Inzucht allgemein mit negativen Auswirkungen auf Gesundheit und Fruchtbarkeit (Falconer und Mackay, 1999) in Verbindung gesetzt wird, konnte für Pferde dieser Zusammenhang aufgrund widersprüchlicher Ergebnisse noch nicht zweifelsfrei hergestellt werden (Roos, 2014). Hinsichtlich eines Einflusses von erhöhter Inzucht auf Leistungsmerkmale bei Pferden beobachtete Klemetsdal (1998) eine herabgesetzte Rennleistung von norwegischen Trabern durch Inzucht.

Hier sollte ein möglicher Effekt der Inzucht auf die Leistungsfähigkeit von Pferden in Turniersportprüfungen untersucht werden. In der vorgeschalteten Überprüfung mittels der Prozedur „Proc Mixed“ konnte kein signifikanter Einfluss des Inzuchtkoeffizienten auf das Merkmal Vielseitigkeit (transformierter Rang) gefunden werden. Für die nationale Vielseitigkeit und die Dressur wurden für höhere Zuchtwertklassen auch höhere durchschnittliche Inzuchtkoeffizienten beobachtet, und es konnte eine sehr niedrige, positive Korrelation zwischen den Zuchtwerten und dem Inzuchtkoeffizienten von 0,08 bzw. 0,09 festgestellt werden. Für internationale Vielseitigkeitsprüfungen und die Vielseitigkeit insgesamt konnte keine signifikante Beziehung zwischen Zuchtwerten und Inzuchtkoeffizienten ausgemacht werden. Insgesamt ist also festzustellen, dass der Inzuchtkoeffizient auf die Erfolge in den hier untersuchten Reitsportdisziplinen in Form von Rangergebnissen keinen oder einen nur leicht positiven Einfluss hat und damit kein Anhaltspunkt für eine Leistungsdepression aufgrund erhöhter Inzucht besteht.

Allerdings war in der hier untersuchten Datenbasis der durchschnittliche Inzuchtkoeffizient mit 0,01 insgesamt sehr niedrig, sodass sich die negativen Effekte der Inzucht bezogen auf die Gesamtpopulation wahrscheinlich noch nicht auswirken. Mit 0,005 war der durchschnittliche Inzuchtkoeffizient der in internationalen Vielseitigkeitsprüfungen gestarteten Pferde noch geringer.

Dies kann mit einer geringeren Pedigreetiefe der ausländischen Pferde, die hier einen größeren Anteil ausmachen, begründet sein. Aber auch die größere Bedeutung von veredelnden Rassen wie Trakehnern, Vollblütern und Anglo-Arabern in der Vielseitigkeit, die eine geringere Verwandtschaft zu den Warmblutpopulationen aufweisen, ist hier anzuführen. Zwar wird in den meisten Zuchtprogrammen deutscher Reitpferdezuchtverbände die Reinzucht als Zuchtmethode angegeben, faktisch ist jedoch in den letzten Jahren die Zuchtpolitik vieler Verbände deutlich liberaler geworden, sodass vermehrt Zuchttiere anderer Populationen eingesetzt werden (Koenen, 2002). Lediglich vom Trakehner Verband werden mit Ausnahme von englischen Vollblütern, arabischen Vollblütern, Anglo-Arabern und Shagya-Arabern ausschließlich Tiere der eigenen Population zur Zucht zugelassen. Der Holsteiner Verband ist vermehrt dazu übergegangen, seine Zucht für fremde Hengste im Rahmen von Zuchtversuchen zu öffnen. Roos (2014) beobachtete für die Holsteiner Population einen durchschnittlichen Inzuchtkoeffizienten von 0,03 bei einer effektiven Populationsgröße von $N_e = 55$ und konnte eine signifikant höhere Totgeburtenrate bei Fohlen mit höherem Inzuchtkoeffizienten feststellen.

Gleichzeitig mit der Öffnung der Zuchtprogramme erfolgte aber eine immer stärkere Konzentration auf einige wenige Hengstlinien. Eine dadurch bedingte Zunahme der Inzucht in der deutschen Reitpferdepopulation kann daher für die Zukunft erwartet werden. Ein geeignetes Mittel der erwarteten Inzuchtzunahme zu begegnen könnte die von Meuwissen (1997) vorgeschlagene „Optimum genetic contribution theory“ sein, mit der der Zuchtfortschritt bei definierter maximaler Verwandtschaft der Folgegeneration durch Anpaarungsplanung maximiert werden kann.

Allerdings sahen Niemann *et al.* (2009) eine Umsetzung dieser Theorie in die praktische Pferdezucht als problematisch an, da hier neben vielen verschiedenen Merkmalen die subjektive Einschätzung des Züchters eine große Rolle spielt. Dennoch könne die „Optimum genetic contribution theory“ als Entscheidungshilfe bei der Anpaarungsplanung eingesetzt werden.

5.6 Beziehungen von Merkmalen der Vielseitigkeit zu Hengstleistungsprüfungsmerkmalen

Die Schätzung von Heritabilitäten und genetischen Korrelationen für die Merkmale der Hengstleistungsprüfung und des Veranlagungstests erfolgte in bivariaten Rechenläufen mit Turniersportmerkmalen der Vielseitigkeit. Durch die Konstellation der Leistungsprüfungsergebnisse aus den Jahren 2001 bis 2004 und den Turniersportergebnissen aus den Jahren 2005 bis 2013 ist eine Verknüpfung durch Eigen- und Nachkommenleistungen der geprüften Hengste gegeben. Übereinstimmend mit Brockmann und Bruns (2000) wurde ein kombinierter Effekt von Prüfstation, Prüfungsjahr und Prüfungsdurchgang gewählt, hier wurde zusätzlich noch das Alter in Monaten zum Zeitpunkt der Prüfung als Kovariable berücksichtigt. Lührs-Behnke *et al.* (2006) verwendeten abweichend lediglich den fixen Effekt der Prüfung in ihrem HLP-Modell. Dass hier nur geringe Tierzahlen zur Auswertung der Leistungsprüfungsmerkmale zur Verfügung standen, führte zu höheren Standardabweichungen insbesondere bei den genetischen Korrelationen. Dennoch lassen sich aus den Ergebnissen Tendenzen ableiten und mit Hilfe der Literatur einordnen.

Es wurden moderate bis hohe Heritabilitäten für die Merkmale des 30-Tage-Tests und der 70-tägigen Hengstleistungsprüfung geschätzt. Dabei waren die der Interieurmerkmale mit Werten um 0,3 in beiden Prüfungsformen am niedrigsten. Dies stellten auch Brockmann und Bruns (2000) übereinstimmend fest. Ein Grund dafür dürfte, neben der unklaren Definition der Merkmale und der Abgrenzung untereinander, die subjektive Erfassung der Merkmale und die geringere Varianz in der Benotung dieser Merkmale sein (Graf, 2012).

Die höchsten Heritabilitäten wurden im 70-Tage-Test für die Merkmale der Grundgangarten und der Rittigkeit geschätzt. Hassenstein *et al.* (1999) betonten, dass höhere Schätzwerte für Heritabilitäten von Merkmalen, bei denen aufgrund einer einmaligen Beobachtung keine permanente Umweltvarianz vorläge, zu erwarten seien.

Hohe Heritabilitäten der HLP-Merkmale und hohe genetische Korrelationen der Merkmalskomplexe zu Turniersportergebnissen fanden auch Brockmann und Bruns (2000). Insgesamt bestanden die größten genetischen Korrelationen zwischen nationalen Vielseitigkeitsprüfungen und den Merkmalen der Grundgangarten und der Rittigkeit, was auch hier die Nähe zur Dressur beweist.

Lührs-Behnke *et al.* (2006) schätzten für die Grundgangarten und Rittigkeit genetische Korrelationen zur Dressur von 0,73 bis 0,88 und auch bei Jaitner und Reinhardt (2012) sind moderate bis hohe genetische Korrelationen zwischen dem Turniersport Dressur und den Leistungsprüfungsmerkmalen der Grundgangarten und der Rittigkeit zu finden.

Die internationalen Vielseitigkeitsprüfungen waren nur schwach positiv bis moderat negativ mit den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen korreliert. Die höchsten Korrelationen zur internationalen Vielseitigkeit wurden für die im 30-Tage-Test bewerteten Merkmale Galopp (Training) (0,27) und Rittigkeit (0,24) bei Verwendung der Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ festgestellt. Das Merkmal „Trab“ war jeweils am stärksten negativ mit internationalen Vielseitigkeitsprüfungen assoziiert. Auch Ray (2012) beobachtete leicht negative genetische Korrelationen zwischen der Vielseitigkeit und dem Trab, bewertet im „Riding Horse Quality Test“, dessen Merkmale vergleichbar mit denen von Leistungsprüfungen für Stuten und Hengste sind. Zudem berechnete sie moderate Korrelationen der Vielseitigkeit zu Merkmalen des Springens.

Von besonderem Interesse hinsichtlich einer Prognose zur Eignung für die Vielseitigkeit erschienen die in der Geländeteilprüfung des 70-Tage-Tests erfassten Merkmale „Gelände-Galopp“ und „Gelände-Springmanier“. Auch Paustian (2010) schlug vor, diese Merkmale auf ihre Eignung als Hilfsmerkmal für einen Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit zu testen. Allerdings konnten keine genetischen Beziehungen zwischen der „Gelände-Springmanier“ und nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen festgestellt werden.

Abhängig von der Merkmalsdefinition wurden leicht bis moderat negative genetische Korrelationen des „Gelände-Galopps“ zu internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, unter Vorbehalt der Standardabweichungen, berechnet. Somit entspricht die Bewertung des Galopps im Gelände während der HLP anscheinend nicht den Anforderungen an den Galopp in internationalen Vielseitigkeitsprüfungen. Daher ist eine Einbeziehung der in der Geländeprüfung der HLP beurteilten Merkmale „Gelände-Galopp“ und „Gelände-Springmanier“ in den Selektionsprozess für Vielseitigkeitspferde als nicht sinnvoll anzusehen.

In Hinblick auf die Zucht von internationalen Vielseitigkeitspferden lassen sich aus den aktuell in den Hengstleistungsprüfungen erfassten Merkmalen keine Schlüsse ziehen. Da die Geländeprüfung ab 2016 nicht mehr Bestandteil der Hengstleistungsprüfung sein wird, entfällt die Möglichkeit der Erfassung angepasster oder alternativer Merkmale im Hinblick auf eine Selektion von Vatertieren für ein Zuchtziel Vielseitigkeit.

5.7 Entwicklung einer Zuchtwertschätzung für Vielseitigkeit

Als großes Problem bei der Umsetzung eines Zuchtprogrammes auf Grundlage einer Zuchtwertschätzung für Merkmale im Reitsport formulierte Koenen (2002) das größere Vertrauen der Züchter auf phänotypische Beobachtungen als in Zuchtwerte.

Aus den erst zu einem relativ späten Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Beobachtungen aus dem Turniersport, insbesondere aus den schweren Prüfungen (Stock, 2015), resultiert ein Konflikt zwischen der Genauigkeit der Zuchtwerte und der Erwartungshaltung der Züchter an eben diese Zuchtwerte. Sollen Zuchtwerte als Selektionskriterium in einem Zuchtprogramm genutzt werden, müssen diese auch hinsichtlich des Generationsintervalls (Falconer und Mackay, 1999) zu einem möglichst frühen Zeitpunkt mit hinreichend großer Genauigkeit zur Verfügung stehen. Hier konnte eine maximale Genauigkeit für den Zuchtwert für internationale Vielseitigkeit von 0,89 erreicht werden. Die Verwendung von Hilfsmerkmalen mit möglichst großer genetischer Korrelation zum Zuchtzielmerkmal, die früher als die Turniersportergebnisse erfasst werden können, erscheint diesbezüglich notwendig. Laut Philipsson *et al.* (1990) erhält man die am sichersten geschätzten Zuchtwerte unter Verwendung aller zur Verfügung stehenden Informationen.

Auch Dubois *et al.* (2008) betonten, dass eine umfangreiche Erfassung von Leistungen, unabhängig davon, ob im Turniersport oder in Leistungsprüfungen, Bedingung einer effizienten Selektion sei. Eine verbesserte Nutzung von internationalen Leistungsinformationen sieht Stock (2015) als Chance, eine gesteigerte Akzeptanz und Verwendung der Zuchtwertschätzung durch die Züchter von Reitpferden zu erreichen.

Erwartet wird dabei aus Züchtersicht, dass sich die Zuchtwerte nach erster Veröffentlichung nicht mehr stark verändern und den bereits angesprochenen phänotypischen Beobachtungen entsprechen. Es gibt Beispiele von Hengsten, deren Nachkommen in den schwersten Klassen des Turniersports hervorstechen, aber deren Zuchtwerte auf Grund der Gewichtung von Hilfsmerkmalen und Turniersport im Gesamtzuchtwert nicht zu den besten Vatertieren in der Zuchtwertschätzung gehören. Dies wird von den Züchtern als Beweis für das Nicht-Funktionieren der Zuchtwertschätzung verstanden. Diese Probleme sollten bei der Konzeption eines Gesamtzuchtwertes für die Vielseitigkeit berücksichtigt werden. Als Zuchtziel werden hier Pferde für den internationalen Spitzensport angenommen, entsprechend sollte auch die Zuchtwertschätzung danach ausgerichtet werden und eine potentielle Verzerrung durch hohe genetische Korrelationen zwischen nationalen Vielseitigkeitsprüfungen und der Dressur bei der Gewichtung der Einzelzuchtwerte berücksichtigt werden.

Die Zuchtwertschätzung aller Einzelzuchtwerte sollte gemeinsam in einem Modell bzw. Programm zur optimalen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Informationen, besonders durch Berücksichtigung der genetischen Beziehungen zwischen den Merkmalen, durchgeführt werden, wie auch Jaitner und Reinhardt (2012) es empfehlen.

Wichtige Hilfsmerkmale für die Zuchtwertschätzung der Disziplinen Dressur und Springen sind die Merkmale der Hengstleistungsprüfung, der Veranlagungstests und der Stutenleistungsprüfung. Insgesamt machen sie 50 Prozent des jeweiligen Gesamtzuchtwertes aus (Jaitner und Reinhardt, 2012). Ohne Berücksichtigung dieser Merkmale würde die Genauigkeit der Gesamtzuchtwerte von 0,70, ab der diese veröffentlicht werden, erst erreicht werden, wenn ausreichend Eigen- und Nachkommenleistungen aus dem Turniersport verfügbar sind.

Die hier berechneten genetischen Korrelationen der Merkmale des 30-Tage-Tests (Veranlagungstest) und des 70-Tage-Tests (Hengstleistungsprüfung) zu Turniersportergebnissen der internationalen Vielseitigkeit waren niedrig. Da die nationalen Vielseitigkeitsprüfungen insbesondere mit Merkmalen wie Grundgangarten und Rittigkeit positiv assoziiert waren, die auch mit der Dressur hoch korreliert sind, ist bei starker Gewichtung dieser Merkmale eine Verzerrung des Gesamtzuchtwertes Vielseitigkeit zugunsten einer Dressureignung zu befürchten.

Alternativ zu den Merkmalen der Hengstleistungsprüfung wären in weiterführenden Arbeiten die Eignung von Merkmalen der Stutenleistungsprüfungen und die Ergebnisse der 2016 eingeführten HLP-Sportprüfungen als Hilfsmerkmale zu testen. Insbesondere die in der Sportprüfung für vielseitig veranlagte Hengste erfassten Merkmale, deren Teilprüfung Gelände den Anforderungen einer Geländepferdeprüfung der Klasse A bzw. L entsprechen soll, könnte positiv mit Erfolgen in Vielseitigkeitsprüfungen korreliert sein.

Es ist allerdings zu erwarten, dass lediglich für einen geringen Anteil der Hengste diese Prüfungsoption gewählt wird. Daher ist eine wesentliche Steigerung der Genauigkeit der Zuchtwertschätzung Vielseitigkeit durch Einbeziehung dieser Merkmale nicht absehbar.

Eine weitere Option zur Vorhersage einer Eignung als Vielseitigkeitspferd stellt die Nurmi-Prüfung dar. Diese Leistungsprüfung für junge Reitpferde zielt speziell auf die Vielseitigkeit ab und wurde bisher für Trakehner und im Rahmen des Buschprogramms in Baden-Württemberg durchgeführt. In der Nurmi-Prüfung wird neben den Grundgangarten auch beispielsweise die Renngaloppzeit auf einer definierten Strecke gemessen. Ob die Ergebnisse dieser Prüfung als Hilfsmerkmale für einen Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit geeignet sind, sollte weiterhin geprüft werden.

Es wurden Vorschläge zur Konzeption eines Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit gemacht. Diese sollen nachfolgend diskutiert werden. Für den Vorschlag 1 wurde die Zusammensetzung und Gewichtung der Einzelzuchtwerte an den von Jaitner und Reinhardt (2012) beschriebenen Aufbau der Zuchtwertschätzung für Dressur und Springen adaptiert. Es wurden Merkmale der Hengstleistungsprüfungen und Veranlagungstests ausgewählt, die sowohl mit nationalen als auch mit internationalen Vielseitigkeitsprüfungen positiv korreliert waren.

Dennoch erscheint die Gewichtung dieser Hilfsmerkmale insbesondere angesichts der nur geringen genetischen Korrelationen zum Zuchtzielmerkmal internationale Vielseitigkeit als zu hoch. Auch die im Vergleich zu Dressur- und Dressurpferdeprüfungen bzw. Spring- und Springpferdeprüfungen deutlich geringeren genetischen Korrelationen zwischen Geländepferdeprüfungen und sowohl nationalen als auch internationalen Vielseitigkeitsprüfungen reduzieren deren Eignung als Hilfsmerkmal.

Entsprechend wurde Vorschlag 2 hinsichtlich der Gewichtung der Einzelzuchtwerte mit einem größeren Anteil für die Zuchtwerte des Turniersports angepasst. Eine Einbindung von Hengstleistungsprüfungsmerkmalen und Ergebnissen von Jungpferdeprüfungen erscheint aber im Hinblick auf deren frühere Verfügbarkeit im Vergleich zu Turniersportergebnissen als angezeigt. Da aufgrund weniger Daten für die Hengstleistungsprüfung und Veranlagungstests nur wenige Zuchtwerte geschätzt werden konnten, war keine belastbare Vergleichsrechnung zwischen den Vorschlägen 1 und 2 möglich. Es kann deshalb keine Beurteilung der Eignung der Vorschläge abgegeben werden.

Vorschlag 3, der sich nur aus den Zuchtwerten der nationalen und internationalen Vielseitigkeit sowie der Geländepferdeprüfungen zusammensetzt und keine Leistungsprüfungsmerkmale berücksichtigt, offenbart die beschriebenen Probleme hinsichtlich Genauigkeit und Generationsintervall. Ohne die Berücksichtigung von HLP-Merkmalen kann erst später für die Zuchtwerte eine hinreichende Genauigkeit erreicht werden. Insbesondere auch, weil die Vielseitigkeit insgesamt nur ca. 1,5 Prozent des gesamten Turniersports ausmacht und entsprechend weniger Informationen zur Verfügung stehen. Eine Verbreiterung des Datenmaterials durch Erfolge deutscher Pferde im Ausland könnte zu einer höheren Genauigkeit der Zuchtwerte beitragen (Stock, 2015). Hier bildet Vorschlag 3 eine belastbare Möglichkeit, auf Grundlage der berechneten Einzelzuchtwerte einen Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit zu bilden und zu diesen ins Verhältnis zu setzen.

Toplisten, die jeweils die besten 20 Pferde der Einzelzuchtwerte für nationale und internationale Vielseitigkeiten und des Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit nach Vorschlag 3 darstellen, befinden sich im Anhang. Die angegebenen Informationen sollen zur Einordnung der anonymisierten Pferde dienen.

Auf Grund der Datenstruktur und der Zuchtwertschätzung im Zuge der Varianzkomponentenschätzung in Zwei-Merkmal-Modellen konnte hier vornehmlich für Sportpferde mit wiederholten Beobachtungen die selbst gesetzte Grenze der Genauigkeit der Zuchtwerte von größer gleich 0,4 überschritten werden. Unter Verwendung der Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ waren die internationalen Spitzenvielseitigkeitspferde besser repräsentiert, während beim transformierten Rang viele Tiere auf mittlerem Level hohe Zuchtwerte verzeichnen konnten.

Daher scheint der gewichtete transformierte Rang als Merkmal die sportliche Realität besser abzubilden. Vergleichsweise hohe Relativzuchtwerte sind darauf zurückzuführen, dass hier das Mittel aller Zuchtwerte über der Grenze der Genauigkeit von 0,4 gebildet wurde. Während beispielsweise vom Vit eine definierte Basis von Hengsten mit Eigenleistung oder ausreichender Nachkommenleistung zur Berechnung des mittleren Zuchtwerts verwendet wird (Jaitner und Reinhardt, 2012).

Weiterführend wäre über die Möglichkeiten eines Einsatzes der genomischen Zuchtwertschätzung in der Pferdezucht allgemein und im Speziellen für die Vielseitigkeit zu diskutieren. Wichtigste Voraussetzung für die Etablierung einer genomischen Zuchtwertschätzung ist eine hinreichend große Anzahl an Tieren mit sicher geschätzten Zuchtwerten. Hayes *et al.* (2009) zeigten, dass mit zunehmender effektiver Populationsgröße N_e auch die benötigte Anzahl der Tiere in der Referenzstichprobe steigt. Zudem konnte ein exponentieller Anstieg der Anzahl benötigter Tiere in der Referenzstichprobe bei steigender Genauigkeit der genomischen Zuchtwertschätzung festgestellt werden (Goddard und Hayes, 2009; Frevert, 2011). Insgesamt dürfte dies für kleine deutsche Reitpferdepopulationen schwer zu realisieren sein.

Noch größere Schwierigkeiten wären für die Implementierung der Vielseitigkeit in die genomische Zuchtwertschätzung im Vergleich zu den Disziplinen Dressur und Springen zu erwarten, weil dort weniger Tiere mit Beobachtungen und sicher geschätzten Zuchtwerten vorliegen. Eine Chance bietet hier jedoch die zunehmende Internationalisierung der Sportpferdezucht und dem damit verbundenen europa- und weltweiten Einsatz herausragender Elterntiere. So wäre eine auch länderübergreifende Zusammenarbeit mehrerer Zuchtverbände, wie in der Rinderzucht, möglich, wie es auch der Ausschuss für Genetisch-Statistische Methoden der DGfZ (2011) vorschlägt, um eine gemeinsame hinreichend große Referenzpopulation zu erreichen. Sonesson und Meuwissen (2009) verweisen allerdings darauf, dass die Tiere in der Referenzstichprobe möglichst nahe mit den Selektionskandidaten verwandt sein müssen, da sonst aufgrund der geringeren Verwandtschaft eine geringere Genauigkeit der genomischen Zuchtwertschätzung zu erwarten ist.

Die genetische Verbindung zwischen fünf europäischen Warmblutzuchtverbänden wurde von Thorén Hellsten *et al.* (2008) untersucht. Sie stellten eine ausreichende genetische Verbindung zwischen den untersuchten Verbänden fest, um genetische Korrelationen zwischen gleichen Merkmalen, beobachtet in den verschiedenen Verbänden, berechnen zu können. Zudem konnten Sie eine Steigerung der genetischen Verknüpfung im Verlauf der Zeit beobachten, gegenwärtig sei diese schon besser als die zwischen Milchrinderpopulationen. Ruhlmann *et al.* (2009) beschrieben hohe genetische Korrelationen zwischen Merkmalen des Springens verschiedener europäischer Zuchtverbände.

Die INTERSTALLION-Gruppe verfolgt bereits das Ziel einer internationalen Zuchtwertschätzung und diskutiert Möglichkeiten und Umsetzbarkeit (Koenen, 2002), sodass diese ebenfalls eine Grundlage für eine internationale genomische Zuchtwertschätzung für Reitsportdisziplinen sein könnte. Die für eine Umsetzung in die Praxis notwendige Typisierung der Tiere könnte sich aufgrund der Strukturen in der Pferdezucht schwierig gestalten, zumal nicht alle Sportpferde auch Zuchttiere sind und deren Besitzer erst vom Nutzen einer solchen Typisierung überzeugt werden müssten. Eventuell ließe sich aber die zur Abstammungsüberprüfung von Fohlen gezogene Haarprobe hierzu verwenden, die Typisierungskosten müssten dann von den Zuchtverbänden getragen werden.

Ein weiteres Problem könnte die bereits angesprochene mangelnde Akzeptanz der Zuchtwertschätzung durch die breite Züchterschaft darstellen (Koenen, 2002), die vermutlich noch stärker bei einer genomischen Zuchtwertschätzung zum Tragen käme.

Bei einem flächendeckenden Einsatz der genomischen Zuchtwertschätzung könnte langfristig ein Inzuchtproblem durch die Fokussierung auf wenige Elterntiere und damit verbunden ein Verlust an genetischer Varianz einhergehen. Da mit steigender Verbindung zwischen den Reitpferdepopulationen die Möglichkeit einer Einkreuzung nicht verwandter Tiere schwindet, sollte diesem Aspekt dann mehr Beachtung geschenkt werden.

Abschließend zusammengefasst stellen für eine Zuchtwertschätzung Vielseitigkeit das Erreichen einer ausreichend hohen Genauigkeit der Zuchtwerte zum frühestmöglichen Zeitpunkt bei gleichzeitig realistischer Abbildung der Eignung für den internationalen Vielseitigkeitssport die größten Herausforderungen dar.

Dennoch erscheint eine solche Zuchtwertschätzung „Vielseitigkeit“ als geeignetes Selektionsinstrument zur Zucht von Vielseitigkeitspferden zur nachhaltigen Generierung von Zuchtfortschritt und damit dauerhaften Etablierung der deutschen Pferdezucht an der Spitze der weltweiten Zucht von Vielseitigkeitspferden unumgänglich. Eine Einbindung der genomischen Zuchtwertschätzung in ein Zuchtprogramm für Vielseitigkeitspferde hingegen ist eher als mögliche Ergänzung in der Zukunft anzusehen.

6. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie ist es, für die deutsche Reitpferdepopulation genetische (Ko-) Varianzkomponenten und Zuchtwerte für Erfolge in nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen auf Basis von Turniersportergebnissen zu schätzen. Die ermittelten genetischen Parameter für die Vielseitigkeit wurden in Beziehung zu denen der Disziplinen Dressur und Springen gesetzt. Im Zuge dessen wurden verschiedene Merkmalsdefinitionen, Modellierungen und Programme hinsichtlich ihrer Anwendung zur Zuchtwertschätzung für Merkmale der Vielseitigkeit evaluiert.

Es konnte aufgrund der geschätzten genetischen Korrelationen (0,31 – 0,51) gezeigt werden, dass nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen als eigenständige Merkmale zu betrachten sind. Dabei wurden für internationale Vielseitigkeitsprüfungen (0,04 bis 0,14) höhere Heritabilitäten als für nationale Vielseitigkeitsprüfungen (0,04 bis 0,08) geschätzt. Eine hohe positive genetische Korrelation (0,79) wurde zwischen der Disziplin Dressur und nationalen Vielseitigkeitsprüfungen festgestellt. Hingegen war diese zwischen Geländepferdeprüfungen und nationalen bzw. internationalen Vielseitigkeitsprüfungen vergleichsweise niedrig. Im Rahmen der Evaluierung der Merkmalsdefinitionen konnte eine zusätzlich zur Transformation des Ranges durchgeführte Gewichtung der Prüfungsklasse positiv bewertet werden. Eine binäre Merkmalskodierung lieferte vergleichbare Ergebnisse.

Weiterhin konnte in einer Varianzanalyse ein hoch signifikanter Effekt des Vollblutanteils im Pedigree auf den Erfolg in Vielseitigkeitsprüfungen festgestellt werden. Es wurden zudem positive Korrelationen zwischen einem höheren Vollblutanteil und den Zuchtwerten für internationale Vielseitigkeitsprüfungen aufgezeigt. Ein Einfluss der maternalen Vererbung ließ sich durch Stammheritabilitäten für Merkmale der Vielseitigkeit von 0,03 bis 0,11 belegen. Auch hier konnten jeweils höhere Stammheritabilitäten für internationale Vielseitigkeitsprüfungen geschätzt werden. Eine Beziehung zwischen mtDNA- Vererbung und Leistungen in Disziplinen, bei denen Ausdauer und Geschwindigkeit entscheidende Parameter sind, wird in diesem Zusammenhang diskutiert.

Des Weiteren wurden Hengstleistungsprüfungsmerkmale auf ihre Eignung als „early predictor“ im Selektionsprozess in Hinblick auf die Zucht von internationalen Vielseitigkeitspferden getestet. Es konnten dabei keine hohen genetischen Korrelationen zwischen Hengstleistungsprüfungsmerkmalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen festgestellt werden. Insgesamt betrachtet fehlen daher im Rahmen der deutschen Hengstleistungsprüfung eng korrelierte Hilfsmerkmale zur frühen Selektion von international erfolgreichen Vielseitigkeitspferden. Folglich stellte bei der Konzipierung eines Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit das Erreichen einer ausreichend hohen Genauigkeit der Zuchtwerte, bei realistischer Abbildung der Eignung für den internationalen Vielseitigkeitssport, die größte Herausforderung dar.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind ein wichtiger Schritt zur Entwicklung und Etablierung von erfolgreichen Selektionsstrategien und nachhaltigen Zuchtstrukturen innerhalb der Zucht von Vielseitigkeitspferden in Deutschland.

7. Summary

The aim of this study was to estimate genetic (co-)variance components of and breeding values for results within national and international Eventing competitions. Estimations were based on equestrian sport results of the German riding horse population. Genetic parameters for eventing were set into relationship to the ones of the disciplines dressage and jumping. In addition, various trait definitions, models, and software programs were evaluated for their suitability to estimate breeding values for eventing. Based on the estimated genetic correlations (0.31 to 0.51) national and international eventing competitions are autonomous characters. Heritability estimates were higher for international eventing competitions (0.04 to 0.14) compared to national events (0.04 to 0.08).

The estimated genetic correlation between dressage and national eventing competitions was high (0.79). In contrast, genetic correlation was quite low between young horses eventing competitions and national or international eventing competitions respectively. In addition to the transformation of the rank weighting of the competition level is recommended to clarify the definition of the trait. Binary coding of the trait led to comparable results.

Furthermore, a highly significant effect of thoroughbred proportion in the pedigree for the success in eventing was found in an analysis of variance. Additionally positive correlations between thoroughbred proportion and breeding values for international eventing competitions were found.

Estimated heritabilities for mare lines of 0.03 to 0.11 indicate a substantial influence of maternal inheritance on traits of eventing, while higher mare line heritabilities were found for international eventing competitions. A correlation between mtDNA inheritance and achievements in disciplines decisively driven by endurance and speed performance capabilities is discussed in this regard.

As a last point stallion performance test results were evaluated for their suitability as "early predictors" in the selection process for international eventing horses. Genetic correlations between stallion performance test traits and international eventing competition were low. Therefore the main challenges related to designing a novel total Eventing index breeding value were sufficiently high breeding value accuracies while maintaining realistic prediction of Eventing capabilities of selection candidates.

The results of this study are an important step towards the development and establishment of selection strategies and sustainable breeding structures for eventing horses in Germany.

8. Anhang

Tab. 45: Teilzuchtwerte mit den jeweiligen Genauigkeiten und der resultierende Gesamtzuchtwert „Vielseitigkeit“ (GZW) sowie vorliegende Informationen zu den 20 Pferden mit den höchsten Gesamtzuchtwerten, Gewichtung der Teilzuchtwerte entsprechend Vorschlag 3. Merkmalsdefinition „transformierter Rang“.

	Pferd	ZW_gi	rgi	ZW_gn	rgn	ZW_gg	rgg	GZW	Information
1	Pferd 1	156,1	0,568	166,3	0,568	124,1	0,654	152,7	Erfolge bis 2*
2	Pferd 2	205,8	0,559	111,9	0,524	78,8	0,582	152,2	Erfolge bis 2*
3	Pferd 3	149,9	0,422	135,9	0,467	162,8	0,613	148,3	Erfolge bis 2*
4	Pferd 4	164,0	0,496	151,5	0,475	99,2	0,416	147,3	Erfolge bis 2*, M-Springen
5	Pferd 5	147,9	0,458	156,4	0,649	114,5	0,678	143,8	Dressur S
6	Pferd 6	148,6	0,547	118,3	0,651	166,1	0,661	143,0	Vater von Pferd 18
7	Pferd 7	134,1	0,736	157,3	0,850	141,9	0,879	142,6	Vater von Pferd 19
8	Pferd 8	156,7	0,495	132,8	0,471	117,0	0,416	141,6	Erfolge bis 2*
9	Pferd 9	150,6	0,481	149,3	0,598	107,4	0,629	141,5	Vater von Pferd 4
10	Pferd 10	158,5	0,538	143,3	0,514	94,1	0,709	141,1	Erfolge bis 3*
11	Pferd 11	141,6	0,409	124,8	0,437	161,8	0,631	140,6	Erfolge bis 1*, Bucha. 1.
12	Pferd 12	140,2	0,409	134,6	0,519	147,5	0,661	140,0	Erfolge bis 2*
13	Pferd 13	136,2	0,501	145,1	0,496	138,6	0,617	139,4	Erfolge bis 2*
14	Pferd 14	133,0	0,405	142,7	0,491	148,8	0,559	139,0	Erfolge bis 1*, M Dressur, M-Springen
15	Pferd 15	146,2	0,485	109,8	0,410	158,0	0,579	137,6	Erfolge bis 4*
16	Pferd 16	131,6	0,430	138,4	0,420	150,9	0,633	137,5	Erfolge bis 3*, M Dressur, M-Springen
17	Pferd 17	115,0	0,513	144,1	0,548	183,7	0,685	137,4	Erfolge bis 1*, Bucha. 5.
18	Pferd 18	152,1	0,431	112,2	0,555	138,4	0,700	137,4	Vater von Pferd 11
19	Pferd 19	133,1	0,402	154,2	0,509	122,9	0,519	137,4	Mutter von Pferd 1, VA
20	Pferd 20	134,6	0,669	135,3	0,784	144,7	0,798	136,8	Vater von Pferd 7 und 9

Tab. 46: Teilzuchtwerte mit den jeweiligen Genauigkeiten und der resultierende Gesamtzuchtwert „Vielseitigkeit“ (GZW) sowie vorliegende Informationen zu den 20 Pferden mit den höchsten Gesamtzuchtwerten, Gewichtung der Teilzuchtwerte entsprechend Vorschlag 3. Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“.

	Pferd	ZW_gi	rgi	ZW_gn	rgn	ZW_gg	rgg	GZW	Information
1	Pferd 23	216,9	0,564	114,7	0,482	122,0	0,645	167,3	Erfolge bis 4*, Olympiasieger
2	Pferd 15	171,9	0,539	141,1	0,502	164,2	0,616	161,1	Erfolge bis 4*
3	Pferd 1	156,5	0,633	163,6	0,640	131,2	0,668	153,6	Erfolge bis 2*
4	Pferd 49	149,4	0,470	137,7	0,624	163,8	0,674	148,8	Erfolge bis 1*, Bucha. platz.
5	Pferd 31	167,1	0,678	146,3	0,824	103,6	0,835	148,2	Vollblüter, Vater von Pferd 5
6	Pferd 50	155,4	0,604	149,8	0,574	125,7	0,574	147,8	Erfolge bis 4*
7	Pferd 51	134,7	0,574	149,3	0,586	155,6	0,630	143,3	Erfolge bis 3*, gleicher Vater wie Pferd 52
8	Pferd 52	120,9	0,416	121,4	0,630	227,6	0,656	142,4	Vater von Pferd 54, Springen M2*
9	Pferd 3	140,1	0,526	134,1	0,557	159,9	0,644	142,3	Erfolge bis 2*
10	Pferd 53	147,6	0,569	136,0	0,573	137,4	0,694	142,1	Erfolge bis 3*
11	Pferd 6	140,9	0,597	110,1	0,739	189,2	0,672	141,3	Vater von Pferd 18
12	Pferd 16	135,7	0,525	142,0	0,531	152,4	0,650	140,9	Erfolge bis 3*, M Dressur, M-Springen
13	Pferd 5	151,3	0,506	144,4	0,726	106,1	0,629	140,2	Dressur S
14	Pferd 54	135,9	0,467	122,8	0,506	176,5	0,627	140,1	Erfolge 1*, Bucha. platz.
15	Pferd 55	146,3	0,670	119,1	0,645	152,9	0,721	139,5	Erfolge bis 4*
16	Pferd 56	137,3	0,555	146,9	0,606	133,2	0,488	139,4	Erfolge bis 1*, Bucha. platz.
17	Pferd 2	179,8	0,665	109,5	0,644	82,5	0,603	139,3	Erfolge bis 2*
18	Pferd 12	133,0	0,471	135,3	0,597	154,7	0,691	138,0	Erfolge bis 2*
19	Pferd 11	133,6	0,475	123,6	0,525	170,8	0,667	138,0	Erfolge bis 1*, Bucha. 1.
20	Pferd 37	158,4	0,539	143,2	0,523	70,7	0,577	136,3	Erfolge bis 3*

Tab. 47: Zuchtwerte für nationale und internationale Vielseitigkeit der besten 20 Pferde rangiert nach dem Zuchtwert für internationale Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“.

	Pferd	ZW_gi	rgi	ZW_gn	rgn	Information
1	Pferd 2	205,8	0,559	111,9	0,524	Erfolge bis 2*
2	Pferd 36	179,9	0,587	115,0	0,557	Erfolge bis 1*, Vollbruder von Pferd 2
3	Pferd 31	165,8	0,618	172,7	0,726	Vater von Pferd 5 und 40
4	Pferd 38	164,6	0,521	102,4	0,459	Erfolge bis 2*
5	Pferd 39	164,0	0,496	151,5	0,475	Erfolge bis 2*
6	Pferd 40	158,5	0,538	143,3	0,514	Erfolge bis 3*
7	Pferd 41	157,1	0,536	149,6	0,844	Hengst mit den meisten NK im Datensatz
8	Pferd 1	156,1	0,568	166,3	0,568	Erfolge bis 2*
9	Pferd 42	156,4	0,507	146,9	0,459	Erfolge bis 1*
10	Pferd 43	156,1	0,417	139,6	0,409	Erfolge bis 2*
11	Pferd 44	156,7	0,495	132,8	0,471	Erfolge bis 2*
12	Pferd 45	154,1	0,481	75,5	0,440	Erfolge bis 2*
13	Pferd 46	154,4	0,511	121,8	0,516	Erfolge bis 1*
14	Pferd 33	153,8	0,450	86,9	0,492	Vater von Pferd 21
15	Pferd 18	152,1	0,431	112,2	0,555	Vater von Pferd 11
16	Pferd 9	150,6	0,481	149,3	0,598	Vater von Pferd 4
17	Pferd 3	149,9	0,422	135,9	0,467	Erfolge bis 2*
18	Pferd 47	149,7	0,486	100,7	0,542	Vollbruder zu Pferd 2 und 36
19	Pferd 6	148,6	0,547	118,3	0,651	Vater von Pferd 18
20	Pferd 48	148,7	0,469	96,0	0,436	Erfolge bis 1*

Tab. 48: Zuchtwerte für nationale und internationale Vielseitigkeit mit einer Genauigkeit größer/gleich 0,4 der 20 Pferde mit den höchsten Zuchtwerten für internationale Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“.

	Pferd	ZW_gi	rgi	ZW_gn	rgn	Information
1	Pferd 21	223,8	0,511	150,3	0,418	Olympiasieger
2	Pferd 22	219,5	0,473	118,7	0,435	Erfolge bis 4*
3	Pferd 23	216,9	0,564	114,7	0,482	Erfolge bis 4*, Olympiasieger
4	Pferd 24	192,4	0,508	147,5	0,437	Erfolge bis 4*
5	Pferd 25	192,2	0,506	120,8	0,517	Erfolge bis 3*
6	Pferd 26	185,7	0,520	121	0,476	Erfolge bis 3*
7	Pferd 2	179,8	0,665	109,5	0,644	Erfolge bis 2*
8	Pferd 27	173	0,574	106,3	0,484	Erfolge bis 3*
9	Pferd 15	171,9	0,539	141,1	0,502	Erfolge bis 4*
10	Pferd 28	170,8	0,598	121	0,500	Erfolge bis 4*
11	Pferd 29	169,5	0,540	198,4	0,530	Erfolge bis 3*
12	Pferd 30	169,2	0,589	135,8	0,548	Erfolge bis 3*
13	Pferd 31	167,1	0,678	146,3	0,824	Vater von Pferd 5
14	Pferd 32	166,3	0,583	130,6	0,541	Erfolge bis 3*
15	Pferd 33	165,8	0,475	95,5	0,595	Vater von Pferd 21
16	Pferd 34	162,6	0,626	179,8	0,602	Erfolge bis 4*
17	Pferd 35	161,5	0,485	105,7	0,508	Mutter von Pferd 23
18	Pferd 36	160,9	0,669	105	0,638	Erfolge bis 1*, Vollbruder von Pferd 2
19	Pferd 37	158,4	0,539	143,2	0,523	Erfolge bis 3*
20	Pferd 38	158,2	0,619	110,5	0,590	Erfolge bis 2*

9. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anforderungen der Geländeprüfung abhängig vom Prüfungsniveau bei nationalen Prüfungen (FN, 2013).	10
Tab. 2: Anforderungen der Geländeprüfung abhängig vom Prüfungsniveau bei internationalen Prüfungen (FEI,2015a).....	11
Tab. 3: Anteil der Vielseitigkeits-/Geländeprüfungen bzw. Geländepferde-/Jagdpferdeprüfungen an den Prüfungen und Starts insgesamt für die Jahre 2008 bis 2014 (FN, 2010a, 2012 und 2014).....	12
Tab. 4: Übersicht über Literaturwerte zur Heritabilität von Vielseitigkeitsprüfungen.	14
Tab. 5: Übersicht zu Heritabilitäten in der Literatur von Leistungsprüfungsmerkmalen von Hengsten, Stuten und jungen Pferden.....	22
Tab. 6: Heritabilitäten (Diagonale) und genetischen Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) der Merkmale, die in der integrierten Zuchtwertschätzung für Dressur und Springen verwendet werden (Vit, 2012), TSP = Turniersportprüfungen, ABP = Aufbau- und Basisprüfungen, ZSP = Zuchtstutenprüfung, VA = Veranlagungstest (30-Tage-Test), HLP = Hengstleistungsprüfung (70-Tage-Test), (Jaitner und Reinhardt, 2012).	25
Tab. 7: Zusammensetzung der Gesamtzuchtwerte Dressur und Springen aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten der Turniersportprüfungen (TSP), der Aufbau- und Basisprüfungen (ABP), der Zuchtstutenprüfung (ZSP) und des Veranlagungstests (VA) sowie der Hengstleistungsprüfung (HLP) (Jaitner und Reinhardt, 2012).	26
Tab. 8: Übersicht über Literaturwerte von Stammheritabilitäten bei Leistungsmerkmalen verschiedener Tierarten.....	31
Tab. 9: Darstellung der Bearbeitungsschritte von den Rohdaten bis zum verwendeten Datensatz.....	34
Tab. 10: Verteilung der Beobachtungen auf die Disziplinen.	36
Tab. 11: Verteilung der Tiere mit Leistungen in den Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit inklusive der jeweiligen Jungpferdeprüfungen.	37
Tab. 12: Verteilung der Beobachtungen und Pferde auf die nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen.....	38
Tab. 13: Verteilung der Beobachtungen der Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit auf die Kategorien platziert und nicht platziert.	39
Tab. 14: Anzahl (n), Mittelwert (\bar{x}), Standardabweichung (Std.), Minimum und Maximum für die Merkmale der 30-tägigen Hengstleistungsprüfung.....	44

Tab. 15: Anzahl (n), Mittelwert (\bar{x}), Standardabweichung (Std.), Minimum und Maximum für die Merkmale der 70-tägigen Hengstleistungsprüfung.....	45
Tab. 16: Gewichtungsfaktoren der Prüfungsklassen beim Merkmal „gewichteter transformierter Rang“.....	53
Tab. 17: Übersicht der beschriebenen und verwendeten Modelle.....	62
Tab. 18: Posterior means der Heritabilitäten (Diagonale) und genetischen Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen sowie Geländepferdeprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichung in Klammern.....	69
Tab. 19: Varianzkomponenten sowie Heritabilitäten und genetische Korrelationen von nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen geschätzt in bivariaten Rechenläufen mit und ohne Berücksichtigung der Prüfungsklasse als Effekt im Basismodell 1, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichungen in Klammern.....	70
Tab. 20: Heritabilitäten (Diagonale) und genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen sowie Geländepferdeprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“, Standardabweichung in Klammern.....	71
Tab. 21: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten mit einer Genauigkeit $\geq 0,4$ für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen der Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ (TR) und „gewichteter transformierter Rang“ (GTR) (n=501), Signifikanzniveau aller Werte $<0,0001$	72
Tab. 22: Heritabilitäten (Diagonale) und genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) aus bivariaten Rechenläufen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen sowie Dressur und Springen, Turniersportergebnisse 2010 bis 2013, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“.....	73
Tab. 23: Heritabilitäten (Diagonale) und genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) aus bivariaten Rechenläufen für Dressurpferde-, Springpferde- und Geländepferdeprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“.....	74
Tab. 24: Heritabilitäten (Diagonale) und genetische Korrelationen (oberhalb der Diagonalen) aus bivariaten Rechenläufen für Dressurpferde-, Springpferde- und Geländepferdeprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“.....	75
Tab. 25: Varianzkomponenten, Heritabilitäten und genetische Korrelationen von nationalen und internationalen Vielseitigkeitsprüfungen geschätzt in bivariaten Rechenläufen mit der binären Merkmalskodierung (a) unter Verwendung der Schwellenwertmodelle A und B, Standardabweichungen in Klammern.....	76

Tab. 26: Vergleich der Varianzkomponenten, Heritabilitäten und genetischen Korrelationen für die Merkmale Vielseitigkeit national und international, geschätzt mit der Software TM für die lineare Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, eine binäre Kodierung und eine Kodierung mit 7 Schwellen, Standardabweichungen in Klammern....	79
Tab. 27: Heritabilitäten und Stammheritabilitäten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für das Beobachtungsjahr 2010, Schwellenwertmodell B, Merkmalsdefinition (a), Standardabweichungen in Klammern.....	84
Tab. 28: Varianzkomponenten, Heritabilitäten und Stammheritabilitäten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für den gesamten Beobachtungszeitraum, lineares Modell 2, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichungen in Klammern.	85
Tab. 29: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für das Beobachtungsjahr 2010, Schwellenwertmodell B, Merkmalsdefinition (a) (n=2085), Signifikanzniveau aller Werte <0,0001.....	86
Tab. 30: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für den gesamten Beobachtungszeitraum, lineares Modell 2, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, (n=59991), Signifikanzniveau aller Werte <0,0001.....	86
Tab. 31: Vergleich der Varianzkomponenten (Posterior means) für die Merkmale Vielseitigkeit national und international für die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“, „gewichteter transformierter Rang“ und Schwellenwertdefinition (a); Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.....	88
Tab. 32: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten der Pferde für die Disziplinen Vielseitigkeit national und international für die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“ (TR), „gewichteter transformierter Rang“ (GTR) und Schwellenwertdefinition (a); (n=357), Signifikanz für alle Werte (<0,0001).	89
Tab. 33: Rangkorrelationen (Spearman) zwischen den Zuchtwerten der Stutenstämme für die Merkmale Vielseitigkeit national und international für die Merkmalsdefinitionen „transformierter Rang“ (TR), „gewichteter transformierter Rang“ (GTR) und Schwellenwertdefinition (a) (n=197), Signifikanz in Klammern.....	91
Tab. 34: Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale (30-Tage-Test) aus bivariaten Rechenläufen mit Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.....	93

Tab. 35: Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale (30-Tage-Test) aus bivariaten Rechenläufen mit Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“, Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.	94
Tab. 36: Genetische Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (30-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aus bivariaten Rechenläufen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“; Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.	96
Tab. 37: Genetische Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (30-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aus bivariaten Rechenläufen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“; Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.	97
Tab.38: Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale (70-Tage-Test) aus bivariaten Rechenläufen mit Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“, Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.	99
Tab. 39: Heritabilitäten der Hengstleistungsprüfungsmerkmale (70-Tage-Test) aus bivariaten Rechenläufen mit Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“, Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.	100
Tab. 40: Genetische Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (70-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aus bivariaten Rechenläufen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“; Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.	101
Tab. 41: Genetische Korrelationen zwischen den Hengstleistungsprüfungsmerkmalen (70-Tage-Test) und Turniersportergebnissen aus nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen aus bivariaten Rechenläufen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“; Standardabweichungen der Posterior Schätzwerte in Klammern.	102
Tab. 42: Vorschlag 1: Zusammensetzung des Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten der Turniersportprüfungen (TSP), der Aufbau- und Basisprüfungen (ABP), des Veranlagungstests (VA) sowie der Hengstleistungsprüfung (HLP), Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit (T=Training).....	111

Tab. 43: Vorschlag 2: Zusammensetzung des Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten der Turniersportprüfungen (TSP), der Aufbau- und Basisprüfungen (ABP), des Veranlagungstests (VA) sowie der Hengstleistungsprüfung (HLP), Gesamtzuchtwert Vielseitigkeit (T=Training).	112
Tab. 44: Vorschlag 3: Zusammensetzung des Gesamtzuchtwerts Vielseitigkeit aus den jeweiligen Einzelzuchtwerten der Turniersportprüfungen (TSP), der Aufbau- und Basisprüfungen (ABP).	113
Tab. 45: Teilzuchtwerte mit den jeweiligen Genauigkeiten und der resultierende Gesamtzuchtwert „Vielseitigkeit“ (GZW) sowie vorliegende Informationen zu den 20 Pferden mit den höchsten Gesamtzuchtwerten, Gewichtung der Teilzuchtwerte entsprechend Vorschlag 3. Merkmalsdefinition „transformierter Rang“	146
Tab. 46: Teilzuchtwerte mit den jeweiligen Genauigkeiten und der resultierende Gesamtzuchtwert „Vielseitigkeit“ (GZW) sowie vorliegende Informationen zu den 20 Pferden mit den höchsten Gesamtzuchtwerten, Gewichtung der Teilzuchtwerte entsprechend Vorschlag 3. Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“	147
Tab. 47: Zuchtwerte für nationale und internationale Vielseitigkeit der besten 20 Pferde rangiert nach dem Zuchtwert für internationale Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“	148
Tab. 48: Zuchtwerte für nationale und internationale Vielseitigkeit mit einer Genauigkeit größer/gleich 0,4 der 20 Pferde mit den höchsten Zuchtwerten für internationale Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“	149

10. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Selektionsstufen in der deutschen Reitpferdezucht (ZWS = Zuchtwertschätzung, HLP = Hengstleistungsprüfung, VA = Veranlagungstest, ZSP = Zuchtstutenprüfung, SBA = Stutbuchaufnahme) (Sitzenstock, 2008).	17
Abb. 2: Prozentuale Verteilung der Tiere mit Beobachtungen Gesamt und für die Vielseitigkeit auf die Geschlechter.	36
Abb. 3: Prozentuale Verteilung der Turniersportergebnisse auf die Prüfungsklassen für die Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit.	39
Abb. 4: Verteilung der Beobachtungen in Prozent auf die Prüfungsklassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen.....	40
Abb. 5: Verteilung der Beobachtungen in Prozent für die Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit auf den Beobachtungszeitraum.....	41
Abb. 6: Verteilung der Tiere mit Turniersportergebnissen für alle Disziplinen bzw. für die Vielseitigkeit hinsichtlich ihrer Zuchtverbandszugehörigkeit.	42
Abb. 7: Verteilung der Pferde mit Turniersportergebnissen in der Vielseitigkeit auf definierte Inzuchtkoeffizientenklassen (Klasse 1: $F = 0, 0,004$ Intervall, Klasse 12: $F > 0,04$).....	48
Abb. 8: Verteilung der Tiere mit Beobachtungen in nationalen oder internationalen Vielseitigkeitsprüfungen hinsichtlich ihres Vollblutanteils.	49
Abb. 9: Prozentuale Verteilung der Stutenstämme in Klassen für den gesamten Datensatz sowie nur für die Vielseitigkeit.	50
Abb. 10: Verhältnis zwischen Rangergebnis (Platz) und dem transformierten Rang.....	52
Abb. 11: Verhältnis zwischen dem Rangergebnis (Platzierung) und dem gewichteten transformierten Rang für die Prüfungsklassen.	54
Abb. 12: LSQ-Mittelwerte für die Effektstufen des Effekts Geschlecht, Merkmal Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition transformierter Rang.	65
Abb. 13: LSQ-Mittelwerte für die Effektstufen des Effekts Prüfungsklasse, Merkmal Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition transformierter Rang.	65
Abb. 14: LSQ-Mittelwerte für die Effektstufen des Effekts Kategorie, Merkmal Vielseitigkeit, Merkmalsdefinition transformierter Rang.	66
Abb. 15: LSQ-Mittelwerte der Vollblutklassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Intervall der Vollblutklassen 0,1, AIC-Wert: 218734,6.....	67
Abb. 16: LSQ-Mittelwerte des linearen Vollblutanteils für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, AIC-Wert 218681,5.....	67

Abb. 17: LSQ-Mittelwerte des quadratischen Vollblutanteils für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, AIC-Wert 218580,9.....	68
Abb. 18: Additiv genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Vielseitigkeit national und Vielseitigkeit international, Schwellenwertmodell A.....	77
Abb. 19: Additiv-genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Vielseitigkeit national und Vielseitigkeit international, Schwellenwertmodell B.....	78
Abb. 20: Additiv genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit, Schwellenwertmodell C.....	81
Abb. 21: Additiv-genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit, Schwellenwertmodell C mit Stutenstamm als zufälligem Effekt.....	82
Abb. 22: Additiv-genetische Varianzen und Heritabilitäten über die Iterationsrunden für die Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit, Schwellenwertmodell B.....	83
Abb. 23: Vollblutanteil in Prozent für Zuchtwerte in Klassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ (n=1523).	105
Abb. 24: Mittlerer Vollblutanteil in Prozent für Zuchtwerte in Klassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ (n=2274).....	105
Abb. 25: Mittlerer Vollblutanteil in Prozent für Zuchtwerte in Klassen der Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für das Beobachtungsjahr 2010, Schwellenwertmodell B, Merkmalsdefinition (a)(n=2085).....	106
Abb. 26: Durchschnittliche Inzuchtkoeffizienten der Tiere innerhalb Zuchtwertklassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „transformierter Rang“ (n=1523).....	107
Abb. 27: Durchschnittliche Inzuchtkoeffizienten der Tiere innerhalb Zuchtwertklassen für nationale und internationale Vielseitigkeitsprüfungen, Merkmalsdefinition „gewichteter transformierter Rang“ (n=2274).	108
Abb. 28: Durchschnittliche Inzuchtkoeffizienten der Tiere innerhalb Zuchtwertklassen der Merkmale Dressur, Springen und Vielseitigkeit für das Beobachtungsjahr 2010, Schwellenwertmodell B, Merkmalsdefinition (a) (n=2085).....	109

11. Literaturverzeichnis

- Albuquerque, L. G., Keown, J. F. und Van Vleck, L. D. (1998): Variances of Direct Genetic Effects, Maternal Genetic Effects, and Cytoplasmic Inheritance Effects for Milk Yield, Fat Yield, and Fat Percentage. *Journal of Dairy Science* 81: 544-549.
- Anthe, J., Warder, D., Brügemann, K., König v. Borstel, U. und König, S. (2015): Genetische Analysen für Schauerfolge von Holsteinkühen und deren Beziehung zu Zuchtzielmerkmalen. Tagungsbeitrag Vortragstagung der DGfZ und GfT in Berlin.
- Ausschuss für Genetisch-Statistische Methoden der DGfZ: Swalve, H.H., Simianer, H., Bennewitz, J., Dempfle, L., Götz, K.U.; Reinhardt, F. und Thaller, G. (2011): Stellungnahme des Ausschusses für Genetisch-Statistische Methoden der DGfZ zur Fragestellung „Genomische Zuchtwertschätzung und Selektion“. *Züchtungskunde*, 83.
- Bowling, A.T., Del Valle, A. und Bowling, M. (2000): A pedigree-based study of mitochondrial D-loop DNA sequence variation among Arabian horses. *Animal Genetics*, 31: 1-7.
- Brockmann, A. (1998): Entwicklung einer Eigenleistungsprüfung im Feld für Hengste unter Berücksichtigung der Turniersportprüfung. Diss. Göttingen, Wiss. Publ. 20, Deutsche Reiterliche Vereinigung, Warendorf.
- Brockmann, A. und Bruns, E. (2000): Schätzung genetischer Parameter für Merkmale aus Leistungsprüfungen für Pferde. *Züchtungskunde* 72: 4-16.
- Butler, von I. und Pirchner, F. (1988): Beziehungen zwischen Dressur-, Spring- und Geländeleistung bei Vielseitigkeitsprüfungen. V. Internationales Symposium zur Pferdezucht 1988, Leipzig, Band 1: 51-63.
- Chico, M.D. (1994): Genetic analysis of thoroughbred racing performance in Spain. *Annual Zootech.* 43: 393-397.
- Christmann, L. (2010): Stutenstämme mit System. In: *Der Hannoveraner 6/2010*. Hrsg. Hannoveraner Verband e.V., Verden.

- Cikrytova, E., Kostelecka, B., Kovar, J., Horák, S., Hanák, J. (1991): Standardized exercise test on a track to evaluate exercise capacity in different breeds of horses. *Equine Exercise Physiology*, 3: 37–40.
- Da Gama, M. P. M., De Araújo Neto, F. R., De Oliveira, H. N., Fernandes, A. R., Vercesi Filho, A. E., El Faro, L. and Paz, C. C. P. (2014): Genetic parameters for rank of Dairy Gir cattle in agricultural shows using Thurstonian procedures. *Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Vancouver, Canada.*
- Deuel, N.R. und Russek-Cohen, E. (1995): Scoring analysis of three World Championship three-day events. *Journal of Equine Veterinary Science* 15 (11): 479–486.
- Doering, A. (2008): Identifizierung von Stammstuten und deren Familien verschiedener Zuchtgebiete in der hannoverschen Warmblutzucht. Masterarbeit, Georg-August Universität Göttingen.
- Dubois, C. and Ricard, A. (2007): Efficiency of past selection of the French Sport Horse: Selle Français breed and suggestions for the future. *Livestock Science* 112: 161-171.
- Dubois, C., Manfredi, E. und Ricard, A. (2008): Optimization of breeding schemes for sport horses. *Livestock Science* 118: 99-112.
- Durco, B.J, Koenen, E.P.C., Tartwijk, v. J.M.F.M., Bovenhuis, H. (2007): Genetic relations of movement and free-jumping traits with dressage and show-jumping performance in competition of Dutch Warmblood horses. *Livestock Science* 107: 227-234.
- Endres, L. (2010): Anwendung quantitativ genetischer Modelle zum Nachweis zytoplasmatischer Effekte in der Vererbung von Hannoveraner Stutenstämmen. Masterarbeit, Georg-August Universität Göttingen.
- Engelhardt, v. W. (2000): Arbeitsphysiologie unter der besonderen Berücksichtigung des Pferdeleistungssports. In: *Physiologie der Haustiere* Hrsg. Engelhardt, v.W. und Breves, G. 1. Auflage. Enke Verlag, Stuttgart.
- Falconer, D.S., und Mackay, T.F.C. (1999): *Introduction to quantitative genetics*. 4. Edition Longman, Essex, Großbritannien.
- FEI (2015a): *FEI Eventing Rules 2015*. Fédération Equestre Internationale, Lausanne, Schweiz.

- FEI (2015b): The FEI Classics. <http://www.fei.org/fei/events/fei-classics>. Fédération Equestre Internationale, Lausanne, Schweiz.
- FEI (2015c): Eventing - FEI World Eventing Athlete Rankings. https://data.fei.org/Ranking/Search.aspx?rankingCode=C_WR. Fédération Equestre Internationale, Lausanne, Schweiz.
- FEI (2016): About Eventing. <https://www.fei.org/fei/disc/eventing/about>. Fédération Equestre Internationale, Lausanne, Schweiz.
- FN (2010a): Jahresbericht 2010. Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (FN), Warendorf.
- FN (2010b): Ab 2011: Die neue Hengstleistungsprüfung Vergleichbar, objektiv, aussagekräftig. Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (FN), Warendorf.
- FN (2011): FN aktuell Dezember 2011, Zucht- Hengstleistungsprüfung. 16-18.
- FN (2012): Jahresbericht 2012. Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (FN), Warendorf.
- FN (2013): LPO Leistungsprüfungsordnung 2013 – Regelwerk für den deutschen Turniersport. Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (FN), Warendorf.
- FN (2014): Jahresbericht 2014. Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (FN), Warendorf.
- FN (2015a): Vielseitigkeit. Vielseitige Athleten. <http://www.pferd-aktuell.de/vielseitigkeit>. Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (FN), Warendorf.
- FN (2015b): Hengstleistungsprüfungen für Hengste der Deutschen Reitpferdezuchten – ab 2016 – HLP-Konzept 2016 – Beschluss Beirat Zucht (Dezember 2014, Mai 2015). Deutsche Reiterliche Vereinigung e.V. (FN), Warendorf.
- Frevert, H. (2011): Zuchtplanerische Untersuchungen zur genomischen Selektion bei Vaterlinien eines Schweinezuchtprogramms. Masterarbeit, Georg-August Universität Göttingen.
- Gianola, D. and Simianer, H. (2006) A thurstonian model for qualitative genetic analysis of Ranks: A Bayesian Approach. *Genetics* 174: 1613-1624.
- Goddard, M.E. und Hayes, B.J. (2009): Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes. *Nat. Rev. Genet.* 10: 381-391.

- Graf, P. (2012): Akzeptanz und Eignung von Temperamenttests zur Integration in Pferdezuchtprogramme unter Berücksichtigung genetischer Parameter. Dissertation Georg-August Universität Göttingen.
- Haring, H. (2005): Entwicklung, Stand und Perspektiven der Deutschen Pferdezucht. Züchtungskunde, 77 (6): 490 – 495.
- Hassenstein, C., Röhe, R. und Kalm, E. (1999): Genetisch statistische Analyse von neuentwickelten Merkmalen aus Turniersportprüfungen für Reitpferde. 1. Mitteilung: Merkmalsentwicklung und Heritabilitätsschätzung. Züchtungskunde, 71: 106-117.
- Hayes, B.J., Visscher, P.M. und Goddard, M.E. (2009): Increased accuracy of selection by using the realized relationship matrix. Genet. Res. 91: 47–60.
- Henderson, C. R. (1973): Sire evaluation and genetic trends. Proceeding Animal Breeding and Genetic Symposium in honor Dr. J. L. Lush. ASAS and ADSA, Champaign, Illinois, 10-41.
- Hill, E.W., Bradley, D.G., Al-Barody, M., Ertugrul, O., Splan, R.K., Zakharov, I. und Cunningham, E.P. (2002): History and integrity of thoroughbred dam lines revealed in equine mtDNA variation. Animal Genetics, 33: 287–294.
- Holsteiner Verband (2014): Zuchtwert Hengste. http://holsteiner-verband.de/front_content.php?idart=7584.
- Holsteiner Verband (2015a) Stuten: Die Basis der Holsteiner Zucht. http://holsteiner-verband.de/front_content.php?idcat=40
- Holsteiner Verband (2015b): Der Holsteiner – eine 800-jährige Geschichte. http://holsteiner-verband.de/front_content.php?idcat=185
- Höh, K. (2013): Beziehung zwischen Osteochondrosis dissecans (OCD)- Befunden beim Jungpferd und späteren Ergebnissen im Turniersport. Masterarbeit, Universität Göttingen.
- Hutchinson C.A., Newbold J.E., Potter S.S. & Hall E.M. (1974): Maternal inheritance of mammalian mitochondrial DNA. Nature 251: 536–538.

- Jaitner, J. und Reinhardt, F. (2012): Integrierte Zuchtwertschätzung Pferde. Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. www.vit.de.
- Kass, R.E. und Raftery, A.E. (1995): Bayes Factors. *Journal of the American Statistical Association* 90 (430): 791.
- Kavar, T., Habe, F., Brem, G. und Dovč, P. (1999): Mitochondrial D-loop sequence variation among the 16 maternal lines of the Lipizzan horse breed. *Animal Genetics*, 30: 423-430.
- Kearsly, C. (2008): Genetic Evaluation of Sport Horses in Britain. PhD Thesis, Edinburgh.
- Klemetsdal, G. (1998): The effect of inbreeding on racing performance in Norwegian cold-blooded trotters. *Genet Sel Evol* 30(4): 351.
- Klunker, M., Schüler, L., Bergfeld, U. und Müller, U. (2002): Zur Bedeutung der Familienzucht bei Milchrindern. *Arch. Tierz. Dummerstorf* 45, Sonderheft: 27-32.
- Koenen, E.P.C. (2002): Prüfungsverfahren und Zuchtwertschätzung für Sportpferde im internationalen Vergleich. *Archiv für Tierzucht* 45: 38-44.
- Koenen, E.P.C., Aldridge, L.I. und Philipsson, J. (2004): An overview of breeding objectives for warmblood horses. *Livestock Science* 88: 77–84.
- Legarra, A., Varona, L. und López de Maturana, E. (2011): TM Threshold Model. <http://snp.toulouse.inra.fr/~alegarra>.
- Lengerken, von G. und Schwark, H.-J. (2002): Exterieur und Leistungen in der Pferdezucht - Alleskönner oder Spezialisten. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 45, Sonderheft: 68-79.
- LfL (2015): BLUP-Tiermodell: Kombinierte Zuchtwertschätzung Süddeutsches Kaltblut. <http://www.lfl.bayern.de/itz/pferd/031546/index.php>.
- Loeffler, K. (2002): Anatomie und Physiologie der Hautiere. 10. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Lührs-Behnke, H., Röhe, R. und Kalm, E. (2006): Genetische Analysen von Reitsportprüfungen und deren Beziehungen zu Merkmalen der Hengstleistungs- und Zuchtstutenprüfung. *Züchtungskunde* 78 (2): 119-128.
- Madsen, P., und J. Jensen. (2002) A User's Guide to DMU.

- Meuwissen, T.H.E. (1997): Maximising the response of selection with a predefined rate of inbreeding. *J. Animal Sci.* 75: 934-940.
- Madsen, P., Su, G., Labouriau, R. und Christensen, O.F. (2010): Proc. 9'th WCGALP, Proceedings CD – paper 732.
- Meinardus, H. (1988): Züchterische Nutzung der Turniersportprüfung für Reitpferde – Genetische Parameter und Zuchtwertschätzung nach einem Blup-Tiermodell. Dissertation Georg-August Universität Göttingen. FN-Verlag, Warendorf.
- Nibler, T., Reinhardt, F., und Pirchner, F. (1990): Einfluss zytoplasmatischer Vererbung auf Milchleistung und Fruchtbarkeit bei Milchvieh. *Züchtungskunde* 62: 179 -188.
- Niemann, B., König, S. und Bruns, E. (2009): Maximaler Zuchtfortschritt bei begrenztem Inzuchtzuwachs im Programm Hannoveraner Springpferdezucht. *Züchtungskunde*, 81 (1): 51–56.
- Onken F. (1995): Populationsgenetische Untersuchungen zur zytoplasmatischen Vererbung beim Milchrind. Dissertation Georg-August Universität Göttingen.
- Ødegård, J., Meuwissen, T.H.E., Heringstad, B., und Madsen, P. (2010): A simple algorithm to estimate genetic variance in an animal threshold model using Bayesian inference. *Genetics Selection Evolution*, 42:29.
- Paustian, M. (2010): Genetic Evaluation of Eventing Competition Performance in German Riding Horse. Masterarbeit, Georg-August Universität Göttingen.
- Philipsson, J., Árnason, Th., und Bergsten, K. (1990): Alternative strategies for performance of the Swedish Warmblood horse. *Livestock Production Science* 24: 273-285.
- Ray, B. A. (2012): Genetic Analysis of Eventing Data in the Swedish Warmblood Population. Master's Thesis, SLU, Uppsala.
- Ricard, A., Bruns, E. und Cunningham, E.P. (2000): Genetics of performance Traits. In: *The Genetics of the horse* (ed. Bowling, A.T. und Ruvinsky, A.), 411-438. CAB International, Wallingford, Großbritannien.
- Ricard, A. und Chanu, I. (2001): Genetic parameters of eventing horse competition in France. *Genetics Selection Evolution* 33: 175-199.

- Ricard, A. und Legarra, A. (2010): Validation of models for analysis of ranks in horse breeding evaluation. *Genetics Selection Evolution*.42:3.
- Robertson, A. (1959): The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics*, 15: 469–485.
- Roos, L.P. (2014): Reproduction and health in Holstein Warmblood mares- Impact of population structure and data recording. Dissertation, Christian-Albrecht Universität Kiel.
- Rose, R.J., Hendrickson, D.K., Knight, P.K. (1990): Clinical exercise testing in the normal thoroughbred racehorse. *Aust. Vet. J.* 67: 345–348.
- Ruhlmann, C., Janssens, S., Philipsson, J., Thorén Hellsten, E., Croll, H., Quinn, K., Manfredi, E. und Ricard, A. (2009): Genetic correlations between horse show jumping competition traits in five European countries. *Livestock Science* 122(2-3): 234-240.
- Sargolzaei, M., Iwaisaki, H. und Colleau, J. J. (2005): A fast algorithm for computing inbreeding coefficients in large populations. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 122: 325-331.
- Sargolzaei, M., Iwaisaki, H. und Colleau, J. J. (2006): CFC: a tool for monitoring genetic diversity. <http://prodinra.inra.fr/record/3770>.
- SAS Institute Inc. (2012): SAS Software 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schachtner, A., Distl, O., Katona, Ö. und Kräusslich, H. (1992): Genetisch-statistische Analyse der Rennleistung in Stutenlinien der Deutschen Traberzucht. *Züchtungskunde* 64 (2): 81-91.
- Schöpke, K. (2010): Entwicklung einer Zuchtwertschätzung für das Deutsche Sportpferd. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Schüler, L., Swalve, H. und Götz, K.-U. (2001): Grundlagen der Quantitativen Genetik. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Sitzenstock, F. (2008): Einkreuzung von Englischem Vollblut in die Hannoversche Warmblutpopulation. Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.
- SMUL (2010): Gemeinsame Richtlinie/Ausführungsbestimmungen für die Durchführung der Zuchtwertschätzung beim Deutschen Sportpferd im Freistaat Sachsen, im

- Freistaat Thüringen, im Land Sachsen-Anhalt und im Land Brandenburg.
www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/RL_ZWS_DSP-RS.pdf.
- Sonesson, A.K. und Meuwissen, T.H.E. (2009): Testing strategies for genomic selection in aquaculture breeding programs. *Genet. Sel. Evol.* 41: 37.
- Southwood, O.I. und Kennedy, B.W. (1990): Estimation of direct and maternal genetic variance for litter size in Canadian Yorkshire and Landrace swine using an animal model. *Journal of Animal Science* 68: 1841-1847.
- Stewart, I.D., White, M.S., Gilmour, A.R., Thompson, R., Woolliams, J.A. und Brotherstone, S. (2012): Estimating variance components and predicting breeding values for eventing disciplines and grades in sport horses. *Animal* 6 (9): 1377-1388.
- Stock, K.F. und Distl, O. (2007): Genetic correlations between performance traits and radiographic findings in the limbs of German Warmblood riding horses. *J. Anim. Sci.* 85: 31-41.
- Stock, K.F., Hoeschele, I. und Distl, O. (2007): Estimation of genetic parameters and prediction of breeding values for multivariate threshold and continuous data in a simulated horse population using Gibbs sampling and residual maximum likelihood. *J. Anim. Breed. Genet.* 124: 308–319.
- Stock, K.F. (2015): Zuchtwertschätzung für Reit-/Sportpferde im Ländervergleich. Tagungsbeitrag Göttinger Pferdetage 2015 Zucht, Haltung und Ernährung von Sportpferden, Göttingen.
- Thorén Hellsten, E., Jorjani, H. und Philipsson, J. (2008): Connectedness among five European sport horse populations. *Livestock Science* 118, 147–156.
- Tietze, M. (2013): Persönliche Mitteilung.
- Thoroughbred Heritage (2015): Family Numbers explained. <http://www.tbheritage.com/HistoricDams/FamilyNumbers.html>
- Trakehner Verband (2003): Der Familienschlüssel - TOSEA. <http://www.trakehner-verband.de/pferde/stuten/staemme/familienschluessel.pdf>
- Trakehner Verband (2013): Zuchtwert Exterieur. http://www.trakehner-verband.de/pferde/zuchtprogramm/hvp/hvp_zuchtwertschaetzung_exterieur.pdf.

- Travernier, A. (1990): Estimation of breeding value of jumping horses from their ranks. *Livestock production Science* 26: 277-290.
- Treu, W. (2007): Identifizierung von Stammstuten und deren Familien in der hannoverschen Warmblutzucht. Masterarbeit, Georg-August Universität Göttingen.
- Velsen-Zerweck, v. A. (1998): Integrierte Zuchtwertschätzung für Zuchtpferde. Dissertation, Georg-August Universität Göttingen.
- Viklund, Å., Braam, Å., Näsholm, A., Strandberg, E., Philipsson, J. (2010): Genetic variation in competition traits at different ages and time periods and correlations with traits at field tests of 4-year-old Swedish Warmblood horses. *Animal* 4 (5): 682–691.
- Wallin, L., Strandberg, E. und Philipsson, J. (2003): Genetic correlations between field test results of Swedish Warmblood Riding Horses as 4-year-olds and lifetime performance results in dressage and show jumping. *Livestock Production Science* 82: 61–71.
- WBFSH (2015): The Rolex/WBFSH rankings. <http://www.wbfsch.org/GB/Rankings/WBFSH%20rankings.aspx>.
- Wensch-Dorendorf, M. (2006): Persönliche Mitteilung.
- Whitaker, T.C., Hill, J. und Shearman, J.P. (2004): Scoring analysis of completing pre-novice event horses at six selected events. *Equine and Comparative Exercise Physiology* 1 (3): 185–192.
- Wright, S. (1922): Coefficients of inbreeding and relationships. *The American Naturalist* 56: 330-338.
- Xu X. und Arnason U. (1994): The complete mitochondrial DNA sequence of the horse, *Equus caballus*: extensive heteroplasmy of the control region. *Gene* 148: 357–362.
- ZVO (2014): Zuchtverbandsordnung deutsches Reitpferd. (Beschluss Mai 2014; Stand Mai 2014). <http://www.pferd-aktuell.de/pferdezucht/zucht-verbands-ordnung/zucht-verbands-ordnung-zvo>.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben wurde durchgeführt mit Unterstützung der Deutschen Reiterlichen Vereinigung (FN) und einiger FN-Mitgliedszuchtverbände. Ich bedanke mich diesbezüglich insbesondere bei Frau Dr. Dohms-Warnecke.

Mein Dank gilt den Gutachtern Frau Dr. Stock und Herrn Prof. König sowie der Prüfungskommission.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. König zudem für die Ermöglichung der Promotion und der Tagungsteilnahmen, sowie Frau Dr. Brügemann und Herrn Tietze für die Hilfestellung und Unterstützung.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen Kollegen in der Arbeitsgruppe Tierzucht der Universität Kassel für die gute Aufnahme, die Unterstützung und die gute Gemeinschaft.



ISBN 978-3-7376-0128-3



9 783737 601283 >