

# WHITEPAPER



## EFFIZIENTE BREMSKRAFTPRÜFUNG BEI ALLRADFAHRZEUGEN

HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGEN FÜR PRÄZISE  
UND SICHERE PRÜFVERFAHREN

Optimierung von Bremsprüfungen bei Allradantrieben unter Berücksichtigung  
von spezialisierten Prüfständen und Verfahrensanforderungen.





## **Abstract**

Die Bremskraftprüfung ist eine der entscheidendsten Maßnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit, da sie die Funktionsfähigkeit eines Fahrzeugs in kritischen Situationen überprüft. Bei Allradfahrzeugen ergeben sich jedoch erhebliche Herausforderungen, die durch ihre komplexe Drehmomentverteilung und die Vielfalt an Antriebssystemen bedingt sind. Standardprüfstände können diese Anforderungen oft nicht erfüllen, was zu fehlerhaften Messergebnissen und mechanischen Schäden an Fahrzeugen führen kann.

Dieses Whitepaper beleuchtet die technischen Besonderheiten der Bremskraftprüfung bei Allradantrieben, darunter Systeme wie Visko-Kupplungen, Haldex-Systeme und starre Antriebswellen "Ausgleichsgetriebe". Es wird erläutert, warum spezialisierte Prüfstände mit Allradmodus, wie die von MAHA, essenziell sind, um präzise, messrichtige Ergebnisse zu erzielen und Schäden am Antrieb des Fahrzeugs, zu vermeiden. Darüber hinaus werden die Risiken hervorgehoben, die entstehen, wenn Prüfungen mit Pseudo-Systemen oder ungeeigneten Standardgeräten durchgeführt werden.

Abschließend bietet das Whitepaper praxisnahe Lösungen und Empfehlungen, um die Sicherheit und Funktionsfähigkeit von Allradfahrzeugen nachhaltig zu gewährleisten. Es richtet sich an Prüfsingenieure, Werkstätten und Entscheidungsträger in der Fahrzeugwartung, die eine fundierte Grundlage für die effektive und messrichtige Durchführung von Bremskraftprüfungen suchen.

## **WHITEPAPER**

### **Effiziente Bremskraftprüfung bei Allradfahrzeugen**

Herausforderungen und Lösungen für präzise und sichere Prüfverfahren

Optimierung von Bremsprüfungen bei Allradantrieben  
unter Berücksichtigung von spezialisierten Prüfständen und Verfahrensanforderungen

Version 1.1  
Datum 08. September 2026  
Autor Bernd Miller, Dr. Peter Geigle



MAHA SE & Co. KG  
Hoyen 20  
87490 Haldenwang | Germany

# KAPITEL

|          |                                                                           |          |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                         | <b>8</b> |
| 1.1      | Bedeutung der Bremskraftprüfung . . . . .                                 | 8        |
| 1.2      | Herausforderungen bei Allradfahrzeugen . . . . .                          | 8        |
| 1.3      | Komplexität der Allradsysteme. . . . .                                    | 8        |
| 1.4      | Spezialisierte Prüfmethoden . . . . .                                     | 8        |
| 1.5      | Ziel des Whitepapers . . . . .                                            | 9        |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen des Allradantriebs</b>                                      | <b>9</b> |
| 2.1      | Bedeutung des Allradantriebs . . . . .                                    | 9        |
| 2.2      | Herausforderungen bei der Bremskraftprüfung . . . . .                     | 9        |
| 2.3      | Arten von Allradantrieben. . . . .                                        | 10       |
| 2.3.1    | Abschaltbarer Allradantrieb. . . . .                                      | 10       |
| 2.3.2    | Visko-Kupplung . . . . .                                                  | 10       |
| 2.3.3    | Haldex-System (elektrohydraulischer Allradantrieb). . . . .               | 11       |
| 2.3.4    | Starre Antriebswelle (permanenter Allradantrieb) . . . . .                | 11       |
| 2.3.5    | Torque-Vectoring-Systeme . . . . .                                        | 12       |
| 2.3.6    | Elektrischer Allradantrieb (Elektro-Hydraulisch o. Hydraulisch) . . . . . | 12       |
| 2.4      | Bedeutung spezialisierter Prüfverfahren . . . . .                         | 12       |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3 Herausforderungen bei der Bremsprüfung von Allradantrieben</b>     | <b>13</b> |
| 3.1 Technische Herausforderungen . . . . .                              | 13        |
| 3.2 Anforderungen an Prüfverfahren . . . . .                            | 13        |
| 3.3 Fazit der betroffenen Systeme . . . . .                             | 14        |
| 3.4 Übersicht der Betroffenheit nach Antriebssystem . . . . .           | 15        |
| 3.5 Bedeutung spezialisierter Prüfstände . . . . .                      | 15        |
| <b>4 Verfahren zur Bremsprüfung bei Allradfahrzeugen</b>                | <b>15</b> |
| 4.1 Allgemeine Schritte . . . . .                                       | 15        |
| 4.2 Prüfverfahren mit gegensinnigem Antrieb der Räder . . . . .         | 16        |
| 4.3 Spezifische Prüfmethoden . . . . .                                  | 17        |
| 4.4 Bedeutung der Kalibrierung und Anpassung . . . . .                  | 18        |
| <b>5 Technische Umsetzung</b>                                           | <b>18</b> |
| 5.1 Anforderungen an die technische Umsetzung . . . . .                 | 18        |
| 5.2 Einsatz von Reflexstreifen, Lichtschranken und Radkreuzen . . . . . | 19        |
| 5.3 Prüfung des Getriebespiels (Getriebespiel-Modus) . . . . .          | 19        |
| 5.4 Lernmodus und Einregelung der Antriebsmotoren . . . . .             | 20        |
| 5.5 Umgang mit spezifischen Allradsystemen . . . . .                    | 20        |
| 5.6 Vorteile der technischen Umsetzung . . . . .                        | 21        |

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6 Häufige Fehler und deren Vermeidung</b>                               | <b>21</b> |
| 6.1 Bedeutung der Fehlervermeidung . . . . .                               | 21        |
| 6.2 Häufige Fehlerquellen und Lösungen . . . . .                           | 21        |
| 6.2.1 Falsche Montage der Lichtschranken oder Radkreuze . . . . .          | 21        |
| 6.2.2 Vernachlässigung der Kettenspannung und deren Auswirkungen . . . . . | 22        |
| 6.2.3 Fehlende Synchronisierung der Räder bei starrem Antrieb . . . . .    | 22        |
| 6.3 Zusammenfassung . . . . .                                              | 22        |
| <b>7 Empfehlungen und Best Practices</b>                                   | <b>23</b> |
| 7.1 Standardisierte Prüfmodi basierend auf dem Antriebstyp . . . . .       | 23        |
| 7.2 Schulung des Prüfpersonals . . . . .                                   | 24        |
| 7.3 Einsatz von Dämpfungssoftware bei spezifischen Fahrzeugtypen . . . . . | 25        |
| <b>8 Fazit</b>                                                             | <b>25</b> |

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 BEDEUTUNG DER BREMSKRAFTPRÜFUNG

Die Bremskraftprüfung ist ein unverzichtbarer Bestandteil der Fahrzeugwartung und entscheidend für die Sicherheit im Straßenverkehr. Funktionierende Bremsen gewährleisten die Fähigkeit eines Fahrzeugs, in kritischen Situationen zuverlässig und kontrolliert zum Stillstand zu kommen. Regelmäßige Prüfungen der Bremswirkung helfen, Defekte frühzeitig zu erkennen und Unfälle zu verhindern [1].

## 1.2 HERAUSFORDERUNGEN BEI ALLRADFAHRZEUGEN

Moderne Allradfahrzeuge stellen bei der Bremskraftprüfung besondere Anforderungen, die weit über die konventioneller Antriebsarten hinausgehen. Diese Fahrzeuge verteilen das Drehmoment gleichmäßig oder bedarfsgerecht auf alle Räder, wodurch jedes Rad nur einen Teil des gesamten Bremsmoments erhält. Diese adaptive Kraftverteilung erschwert die präzise und unabhängige Messung der Bremskraft an jedem Rad erheblich. Standardprüfstände können diese Anforderungen oft nicht erfüllen und führen zu fehlerhaften Ergebnissen oder sogar Schäden an Fahrzeugkomponenten wie Differenzialen, Antriebswellen und Kupplungssystemen [2].

## 1.3 KOMPLEXITÄT DER ALLRADSYSTEME

Die Vielfalt der Allradsysteme verstärkt diese Herausforderungen.

- **Visko-Kupplungen:** Unkontrollierte Drehmomente zwischen den Achsen können Messergebnisse verfälschen.
- **Haldex-Systeme:** Reagieren automatisch auf Schlupf und erfordern spezielle Prüfmethode, um unerwünschte Systemreaktionen zu verhindern.
- **Starre Antriebe mit Ausgleichsgetriebe:** Benötigen eine exakte Synchronisierung der Raddrehzahlen, um mechanische Spannungen und Schäden an Fahrzeugkomponenten zu vermeiden [3, 4].

## 1.4 SPEZIALISIERTE PRÜFMETHODEN

Nur speziell entwickelte Prüfstände wie die Allrad-Bremsprüfstände von MAHA, ermöglichen eine messrichtige und zuverlässige Bremskraftprüfung. Diese Geräte bieten spezielle Prüfmodi, die auf die Komplexität moderner Allradfahrzeuge abgestimmt sind. Der Einsatz ungeeigneter Prüfstände führt hingegen unweigerlich zu ungenauen oder gar falschen Ergebnissen und erhöhtem Risiko für mechanische Schäden am Fahrzeug [3, 4].

## 1.5 ZIEL DES WHITEPAPERS

Dieses Whitepaper beleuchtet die technischen Besonderheiten und Herausforderungen bei der Bremskraftprüfung von Allradfahrzeugen. Es zeigt praxisnahe Lösungen auf, wie diese Prüfungen effektiv und sicher durchgeführt werden können, um sowohl die Integrität der Fahrzeuge als auch die Sicherheit im Straßenverkehr zu gewährleisten.

# 2 GRUNDLAGEN DES ALLRADANTRIEBS

## 2.1 BEDEUTUNG DES ALLRADANTRIEBS

Der Allradantrieb (AWD) verteilt die Motorleistung auf alle vier Räder eines Fahrzeugs, was die Traktion und Stabilität insbesondere auf rutschigen oder unebenen Fahrbahnen verbessert. Diese Technologie hat sich sowohl für den alltäglichen Straßenverkehr als auch für anspruchsvolle Offroad-Bedingungen bewährt. Es gibt verschiedene Arten von Allradsystemen, die entweder permanent oder zuschaltbar sind und unterschiedliche Mechanismen zur Drehmomentverteilung nutzen [1].

## 2.2 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER BREMSKRAFTPRÜFUNG

Fahrzeuge mit Allradantrieb bringen spezifische Herausforderungen bei der Bremskraftprüfung mit sich. Auf herkömmlichen Rollenprüfständen kann es zu Verspannungen im Antriebsstrang kommen, da die starre Verbindung zwischen Vorder- und Hinterachse Drehzahlunterschiede nicht ausgleicht. Dies kann ungenaue Messergebnisse oder sogar mechanische Schäden an Fahrzeugkomponenten verursachen. Moderne Prüfstände mit Allradmodus treiben die Rollen gegenläufig an, um Verspannungen zu vermeiden und präzise Ergebnisse zu erzielen [2]. Zusätzlich beeinflusst der Allradantrieb die Funktion von Bremsregelsystemen wie ABS und ESP, was spezielle Prüfmethoden erfordert, um Stabilität und Sicherheit des Fahrzeugs sicherzustellen [3].

## 2.3 ARTEN VON ALLRADANTRIEBEN

### 2.3.1 ABSCHALTBARER ALLRADANTRIEB

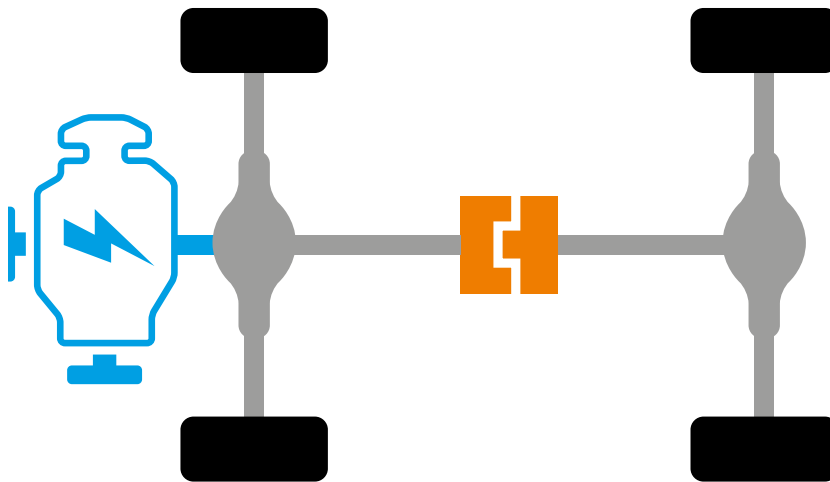


Abbildung 1: Abschaltbarer Antrieb

- **Funktionsweise:** Der Allradmodus kann manuell oder automatisch aktiviert und deaktiviert werden. Im deaktivierten Zustand verhält sich das Fahrzeug wie ein Zweiradantrieb.
- **Vorteil:** Spart Kraftstoff und bietet Flexibilität je nach Straßenbedingungen.
- **Nachteil:** Reaktionsverzögerungen bei der Aktivierung können auftreten

### 2.3.2 VISKO-KUPPLUNG

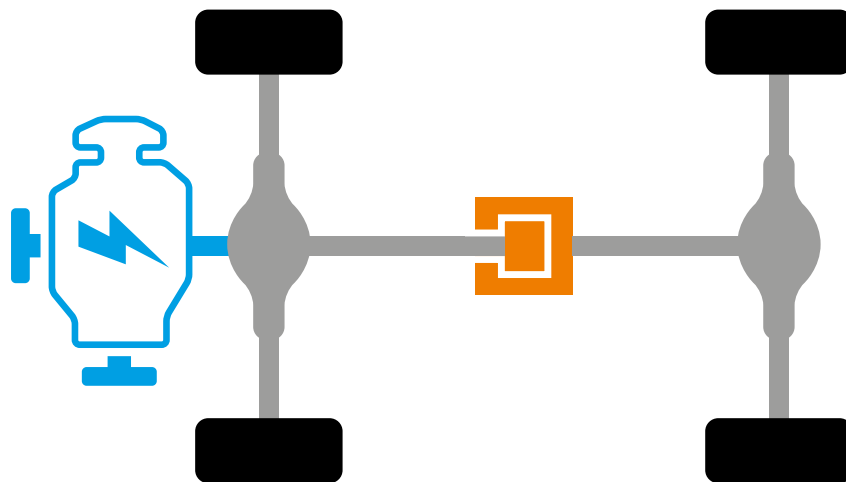


Abbildung 2: Visko-Kupplung

- **Funktionsweise:** Eine Flüssigkeit im Inneren der Kupplung reagiert auf Drehzahldifferenzen zwischen Vorder- und Hinterachse und überträgt Drehmoment automatisch.
- **Vorteil:** Automatische Anpassung ohne zusätzliche Elektronik.
- **Nachteil:** Verzögerte Reaktion (abhängig von der Viskosität der Flüssigkeit) bei plötzlichen Traktionsänderungen.

### 2.3.3 HALDEX-SYSTEM (ELEKTROHYDRAULISCHER ALLRADANTRIEB)

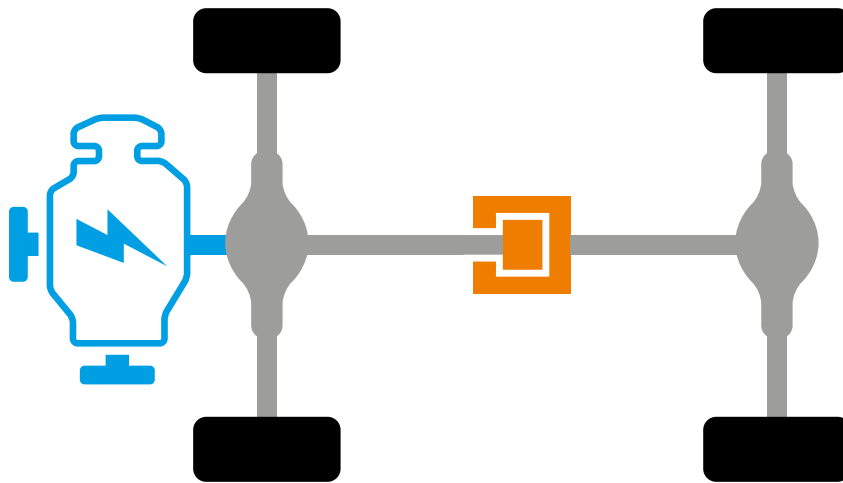


Abbildung 3: Haldex-System entspricht dem Eingriff der Visko-Kupplung

- **Funktionsweise:** Ein elektronisch gesteuertes System, das Drehmomente je nach Bedarf an die Hinterachse weiterleitet.
- **Vorteil:** Schnelle Reaktion, ideal für Fahrzeuge mit Frontantrieb.
- **Nachteil:** Höhere Kosten und komplexere Wartung.

### 2.3.4 STARRE ANTRIEBSWELLE (PERMANENTER ALLRADANTRIEB)

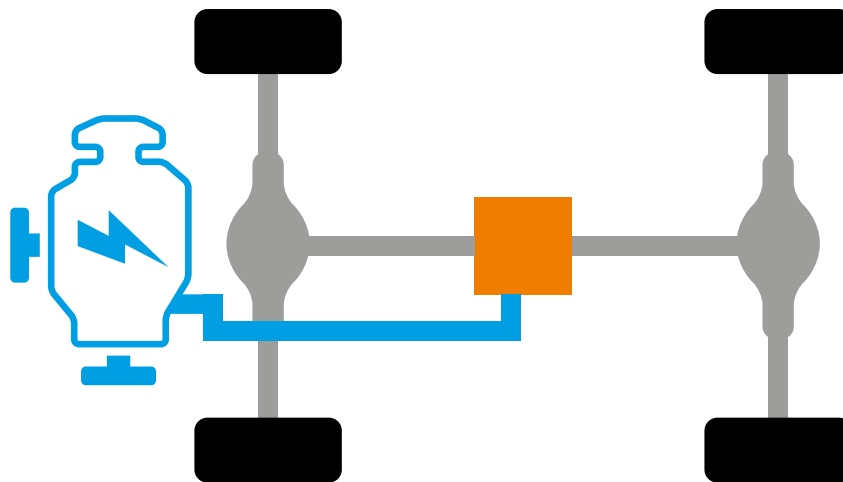


Abbildung 4: Permanenter Allrad

- **Funktionsweise:** Verteilt das Drehmoment über ein Ausgleichsgetriebe starr auf alle vier Räder.
- **Vorteil:** Maximale Traktion, ideal für Offroad-Fahrzeuge.
- **Nachteil:** Höherer Energieverbrauch und komplexere Prüfanforderungen.

### 2.3.5 TORQUE-VECTORING-SYSTEME

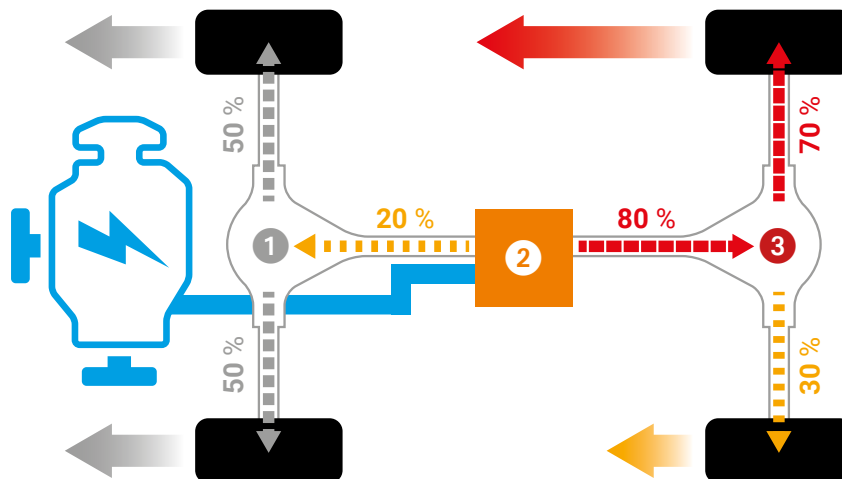


Abbildung 5: Verteilte Drehmomente. ❶ Vorderseite offenes Differential, ❷ Aktives Mitteldifferential, ❸ Aktives hinteres Differential

- **Funktionsweise:** Verteilt Drehmomente gezielt zwischen Vorder-/Hinterachse und innerhalb der Räder einer Achse.
- **Vorteil:** Bessere Kurvenstabilität und Traktion.
- **Nachteil:** Technisch komplex und kostenintensiv.

### 2.3.6 ELEKTRISCHER ALLRADANTRIEB (ELEKTRO-HYDRAULISCH O. HYDRAULISCH)

- **Funktionsweise:** Separate Elektromotoren an Vorder- und Hinterachse ermöglichen präzise Drehmomentverteilung.
- **Vorteil:** Hohe Effizienz und Wartungsfreundlichkeit.
- **Nachteil:** Abhängig von der Batterieleistung, aktuell weniger verbreitet bei Offroad-Fahrzeugen.

## 2.4 BEDEUTUNG SPEZIALISIERTER PRÜFVERFAHREN

Die Kombination von Allradantrieb und Bremskraftprüfung erfordert spezialisierte Prüfmethode, um sowohl präzise Ergebnisse als auch die Unversehrtheit der Fahrzeuge zu gewährleisten. Insbesondere die Vielfalt der Antriebssysteme macht deutlich, dass herkömmliche Prüfstände den Anforderungen nicht gerecht werden können. Die Verwendung moderner Prüfstände mit Allradmodus ist daher unerlässlich, um Sicherheit und Leistungsfähigkeit sicherzustellen [2, 3].

# 3 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER BREMSPRÜFUNG VON ALLRADANTRIEBEN

## 3.1 TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Die Technik des Allradantriebs bringt spezifische Herausforderungen für die Bremsprüfung mit sich, da Drehmomentverteilung und Antriebseigenschaften angepasste Prüfverfahren erfordern:

- **Drehmomentübertragung durch das Differential:** Differenziale ermöglichen unterschiedliche Drehgeschwindigkeiten der Räder einer Achse, was in der Bremsprüfung zu unkontrollierten Drehmomentübertragungen führen kann. Diese Effekte verfälschen Messergebnisse und beeinträchtigen die Prüfung, insbesondere bei präzisionsbasierten Systemen wie Torque-Vectoring [2].
- **Gefahr von Messfehlern und Schäden:** Bremsmomente können bei falschen Prüfmethoden unkontrolliert über Antriebswellen und Differenziale verteilt werden. Dadurch werden defekte Radbremsen fälschlicherweise als funktionstüchtig bewertet. Zudem entstehen Risiken für mechanische Schäden an sensiblen Bauteilen wie Visko-Kupplung oder Differenzial [3].
- **Synchronisationsprobleme bei starren und elektrischen Antrieben:** Bei starren Allradantrieben mit Ausgleichsgetriebe oder elektrischen Allradantrieben mit separaten Motoren ist eine präzise Synchronisation der Räder notwendig. Ohne diese können Verspannungen auftreten, die sowohl zu ungenauen Ergebnissen als auch zu physischen Schäden an Prüfständen und Fahrzeugen führen [4].

## 3.2 ANFORDERUNGEN AN PRÜFVERFAHREN

Eine korrekte Bremsprüfung bei Allradfahrzeugen erfordert spezialisierte Prüfmethoden, die die einzigartige Mechanik und Dynamik der verschiedenen Allradsysteme berücksichtigen:

- **Rollenprüfstände mit gegensinnigem Antrieb:** Diese Prüfstände treiben die Räder einer Achse gegensinnig an, wodurch sich im Differentialgetriebe kein Drehmoment gegen die Antriebswelle aufbauen kann. Dies verhindert Drehmomentübertragungen zwischen den Achsen und ermöglicht eine „lastfreie“ Drehmomentverteilung. Mechanische Verspannungen im Antriebsstrang werden so vermieden, was die Genauigkeit der Messergebnisse erhöht und die Prüfstands Technik schont.

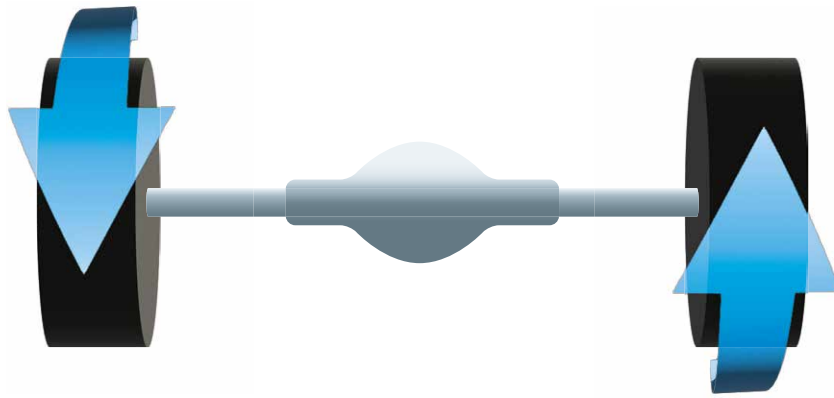


Abbildung 6: Gegensinnige Drehrichtung der Räder Quelle MAHA

- **Einzelradprüfungen im Gegenlauf:** Für präzise Ergebnisse wird die Bremsprüfung für jedes Rad separat durchgeführt. Diese Methode stellt sicher, dass das Bremsmoment des vorwärtsdrehenden Rades gemessen wird, da Bremsbeläge, Scheiben und Trommeln in der Regel in Vorwärtsrichtung eingeschliffen sind.
- **Einsatz von Pedalkraftmessern oder Drucksensoren:** Um die Bremskräfte beider Räder einer Achse korrekt vergleichen zu können, muss mittels Pedalkraft kann der größte gemeinsame Nenner im Nachgang der Messung ermittelt werden oder es muss während der Prüfung eine gleiche Pedalkraft aufgebracht werden. Alternativ kann bei pneumatischen Bremsen der Einsteuерdruck der Achse gemessen werden, um die Vergleichbarkeit der Bremsleistung sicherzustellen.
- **Dynamische Prüfverfahren:** Diese Verfahren berücksichtigen die spezifischen Anforderungen moderner Allradsysteme, wie Drehmomentverteilungen und automatische Regelmechanismen (z. B. bei Haldex-Systemen). Dynamische Verfahren gewährleisten präzise und realitätsnahe Messungen unter Berücksichtigung der jeweiligen Fahrzeugkonstruktion.

Durch die Kombination dieser Prüfmethoden können die komplexen Anforderungen moderner Allradantriebe erfüllt werden, um zuverlässige Ergebnisse zu erzielen und gleichzeitig Schäden an Fahrzeug und Prüfstand zu vermeiden.

### 3.3 FAZIT DER BETROFFENEN SYSTEME

Die Betroffenheit variiert je nach Antriebsart:

- **Hohe Anfälligkeit:** Starre Antriebe mit Ausgleichsgetriebe und Torque-Vectoring-Systeme, zeigen durch starre oder hochpräzise Drehmomentverteilungen, die größte Fehleranfälligkeit und Belastung für Prüfstände.
- **Mittlere Anfälligkeit:** Elektrische Allradantriebe und Visko-Kupplungen können durch asynchrone Motoren oder plötzliche Drehmomentänderungen beeinflusst werden.
- **Niedrige Anfälligkeit:** Abschaltbare Allradantriebe und Haldex-Systeme zeigen geringere Probleme, da sie im Zweiradmodus betrieben werden können.

### 3.4 ÜBERSICHT DER BETROFFENHEIT NACH ANTRIEBSSYSTEM

| Allradantrieb                                 | Drehmomentübertragung durch Differential | Gefahr von Messfehlern und Schäden | Erklärung                                                                                                            |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abschaltbarer Allradantrieb</b>            | Niedrig                                  | Niedrig                            | Bei abgeschaltetem Allradantrieb ist eine Standard- Bremsprüfung möglich. Im Zweiradmodus werden Probleme minimiert. |
| <b>Visko-Kupplung</b>                         | Mittel                                   | Mittel                             | Drehmomentübertragung kann Prüfungen beeinträchtigen.                                                                |
| <b>Haldex-System</b>                          | Niedrig bis Mittel                       | Niedrig bis Mittel                 | Deaktivierung des Allradantriebs verhindert viele Probleme.                                                          |
| <b>Starre Antriebe mit Ausgleichsgetriebe</b> | Hoch                                     | Hoch                               | Permanente Drehmomentverteilung verursacht Verspannungen.                                                            |
| <b>Torque-Vectoring-Systeme</b>               | Hoch                                     | Hoch                               | Ungleichheiten in der Verteilung führen zu verfälschten Messungen.                                                   |
| <b>Elektrischer Allradantrieb</b>             | Mittel bis Hoch                          | Mittel bis Hoch                    | Asynchrone Motoren können Verspannungen und Fehler verursachen.                                                      |

### 3.5 BEDEUTUNG SPEZIALISierter PRÜFSTÄNDE

Um fehlerhafte Ergebnisse und Schäden zu vermeiden, sind spezialisierte Prüfstände mit Allradmodus unverzichtbar. Diese Geräte ermöglichen eine präzise Synchronisierung und vermeiden unkontrollierte Drehmomentverteilungen. Moderne Prüfmethode tragen entscheidend dazu bei, die Sicherheit und Funktionsfähigkeit von Allradfahrzeugen sicherzustellen.

## 4 VERFAHREN ZUR BREMSPRÜFUNG BEI ALLRADFAHRZEUGEN

### 4.1 ALLGEMEINE SCHRITTE

Die Bremsprüfung bei Allradfahrzeugen erfordert eine systematische Herangehensweise, die sowohl die technischen Eigenschaften der Fahrzeuge berücksichtigt als auch potenzielle Schäden an Prüfständen und Fahrzeugen vermeidet. Moderne Bremsprüfstände sind keine reinen Allrad-Prüfstände, sondern müssen sich flexibel an unterschiedliche Fahrzeugtypen anpassen, da im laufenden Betrieb eine Vielzahl von Antriebsarten auf den Prüfstand kommt.

Um Fahrzeugschäden zuverlässig zu vermeiden, darf das System nicht ausschließlich von der Voreinstellung des Bedieners abhängen. Der erste wesentliche Schritt ist daher die automatische Erkennung eines Allradantriebs beim Hochfahren des Prüfstands. In diesem Fall muss das Standardprüfverfahren automatisch abgebrochen und der Prüfablauf an die spezifischen Anforderungen eines Allradantriebs angepasst werden.

Unabhängig vom Antriebstyp sind die folgenden grundlegenden Maßnahmen notwendig:

- **Abschalten von zuschaltbaren Allradsystemen und Sperren:** Bei Fahrzeugen mit manuell deaktivierbarem Allradantrieb muss dieser vor der Prüfung abgeschaltet werden. Ebenso müssen Differenzialsperren deaktiviert werden, um unkontrollierte Drehmomentverteilungen zwischen den Rädern zu vermeiden.
- **Einzelradprüfung im Gegenlauf, mit präziser Regelung:** Die Prüfung erfolgt idealerweise für jedes Rad separat vorwärtsdrehend. Hierfür ist eine präzise Steuerung der Antriebsmotoren auf dem Prüfstand erforderlich, um eine synchrone Drehzahl und gegensinnige Bewegung der Räder zu gewährleisten.

## 4.2 PRÜFVERFAHREN MIT GEGENSINNIGEM ANTRIEB DER RÄDER

### Warum ist ein gegensinniger Antrieb notwendig?

Bei der Bremsprüfung von Fahrzeugen mit Allradantrieb kann es bei herkömmlichen Prüfständen ohne gegensinnigen Antrieb zu verfälschten Messergebnissen kommen. Dies liegt daran, dass während der Bremsprüfung das Drehmoment über die Antriebswelle auf die Räder der anderen Achse übertragen wird. Dadurch könnte das Fahrzeug aus dem Prüfstand herausgeschoben werden, was fehlerhafte Ergebnisse liefert. Der gegensinnige Antrieb sorgt dafür, dass sich ein Rad vorwärts und das andere rückwärts dreht. Dadurch entsteht im Differential der Achse kein Drehmoment gegen die Antriebswelle, und eine korrekte Bremskraftmessung beider Räder wird möglich. Ohne diese Methode würden beide Räder das gleiche Bremsmoment anzeigen, selbst wenn eine Bremse defekt ist.

### Vorteile des gegensinnigen Prüfverfahrens

- **Eliminierung von Drehmomentübertragungen:** Durch den gegensinnigen Antrieb wird verhindert, dass Drehmomente fälschlicherweise auf die andere Achse übertragen werden.
- **Präzise Einzelradmessung:** Die Methode ermöglicht die genaue Ermittlung des Bremsmoments eines einzelnen Rades, ohne dass es durch die Dynamik der Achse verfälscht wird.
- **Fehlererkennung:** Defekte Bremsen werden zuverlässig identifiziert, da das fehlerhafte Rad kein Bremsmoment erzeugt, während das intakte Rad die tatsächliche Bremskraft anzeigt.
- **Schonung des Antriebsstrang des Fahrzeuges:** Mechanische Belastungen auf das Differential der zur prüfenden Achse und den Antriebstrang werden verhindert, insbesondere beim Start der Prüfrollen.

## Wie wird gemessen?

### Gegensinnige Bewegung der Räder:

- Ein Rad dreht sich vorwärts, während sich das andere rückwärts bewegt. Die Drehzahl beider Räder ist identisch.
- Durch diese Bewegung baut sich im Differentialgetriebe kein Drehmoment gegen die Antriebswelle und die am Boden stehende zweite Achse auf.

### Richtungsabhängige Bremsmessung:

- Da Bremsbeläge und Bremstrommeln meist nur in Vorwärtsrichtung eingeschliffen sind, wird das Bremsmoment des vorwärtsdrehenden Rades gemessen.
- Die Prüfung wird für jedes Rad separat wiederholt (Einzelradprüfung), um exakte Messergebnisse für beide Räder zu erhalten.

### Einsatz von Pedalkraftmessern:

- Ein Pedalkraftmesser kann mit dem Prüfstand verbunden werden, um nach der Prüfung die Differenz der Bremskräfte bei gleicher maximaler Pedalkraft zu ermitteln.
- Für die Vergleichbarkeit der Bremskräfte zwischen linkem und rechtem Rad, wird die Pedalkraft während der Prüfung aufgezeichnet.

### Alternative Druckmessung:

- Bei pneumatischen Bremsen kann der Einsteuerdruck der Achse mit einem Drucksensor gemessen werden, um die Vergleichbarkeit der Bremskräfte sicherzustellen.

## Fazit

Das gegensinnige Prüfverfahren stellt sicher, dass die Bremskraft jedes Rades exakt gemessen wird, ohne durch Drehmomentübertragungen oder mechanische Spannungen verfälscht zu werden. Diese Methode erhöht die Genauigkeit der Bremsprüfung, minimiert Fehlerquellen und schützt sowohl Fahrzeugkomponenten als auch Prüfstands-Technik.

## 4.3 SPEZIFISCHE PRÜFMETHODEN

Die Wahl der Prüfmethode hängt stark von der Art des Allradantriebssystems ab. Für die häufigsten Systeme gelten die folgenden Vorgehensweisen:

### • Visco-Kupplung (weich/hart):

- **Weiche Visco-Kupplung:** Diese erlaubt eine gewisse Verdrehung zwischen den Achsen. Hier genügt es, die Drehzahlen der gegensinnig drehenden Räder synchron zu halten, um Messfehler durch Drehmomentübertragungen zu minimieren.
- **Harte Visco-Kupplung:** Aufgrund ihres geringen Spielraums für Verdrehungen erfordert

sie eine exakte Synchronisierung der Räder. Bereits kleine Drehzahldifferenzen werden Drehmomente übertragen und die Messergebnisse verfälschen.

- **Haldex-Antrieb:**

- Der Haldex-Allradantrieb ist häufig nur bei laufendem Motor aktiv. Vor der Prüfung muss die Zündung abgeschaltet werden, um sicherzustellen, dass das System nicht automatisch aktiviert wird.
- Automatisches wiederanlaufen der Prüfrollen am Ende der Prüfung ist zu verhindern, da beim Einschalten der Zündung oder spätestens beim Motorstart des Fahrzeugs die Haldexkupplung wieder greift und das hohe Drehmoment der entgegengesetzt drehende Prüfrollen Schäden am Differential verursachen können.

- **Starre Antriebswelle:**

- Fahrzeuge mit Starrem Antrieb mit Ausgleichsgetriebe erfordern höchste Präzision. Die Drehzahlen der gegensinnig drehenden Räder müssen exakt synchronisiert werden, um mechanische Spannungen zu vermeiden.
- Das Getriebespiel muss berücksichtigt werden, indem das Differential in einen „Gleichgewichtszustand“ gebracht wird, in dem keine Drehmomente zwischen den Achsen übertragen werden.

## 4.4 BEDEUTUNG DER KALIBRIERUNG UND ANPASSUNG

Die Wahl der richtigen Prüfmethodik hängt von der Konstruktion des jeweiligen Fahrzeugs und dessen Allradsystems ab. Prüfgeräte müssen entsprechend kalibriert und angepasst werden, um korrekte Ergebnisse zu gewährleisten. Regelmäßige Wartung und Aktualisierung der Prüfsoftware sind essenziell, um mit den technischen Anforderungen moderner Fahrzeuge Schritt zu halten.

# 5 TECHNISCHE UMSETZUNG

## 5.1 ANFORDERUNGEN AN DIE TECHNISCHE UMSETZUNG

Die Bremsprüfung von Allradfahrzeugen stellt spezifische Anforderungen an die Prüfstands Technologie, um die einzigartigen Eigenschaften des Antriebs und der Bremsen präzise zu erfassen. Moderne Prüfstände müssen fortschrittliche Messtechnologien und automatisierte Steuerungssysteme kombinieren, um Drehzahlen, Bremsmomente und das Zusammenspiel der Antriebswellen exakt zu kontrollieren. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei der Regelung des gegensinnigen Antriebs der Räder und der Synchronisierung von Drehzahlen, insbesondere bei Fahrzeugen mit starren Antriebswellen oder Hart-Visko-Kupplungen.

## 5.2 EINSATZ VON REFLEXSTREIFEN, LICHTSCHRANKEN UND RADKREUZEN

Für eine präzise und fehlerfreie Bremsprüfung sind spezialisierte Messinstrumente wie Reflexstreifen, Lichtschranken und Radkreuze unverzichtbar:

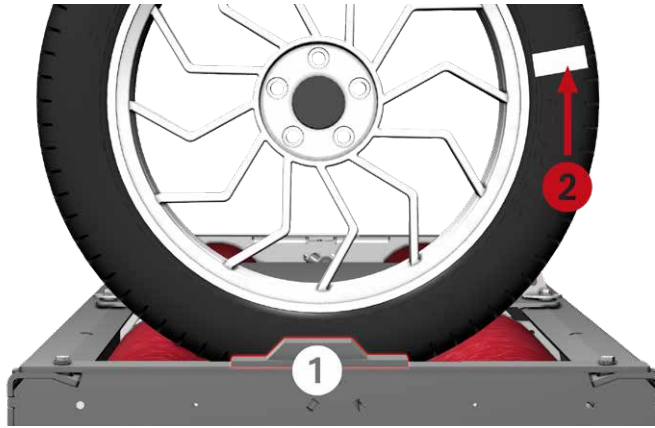


Abbildung 7: Anordnung und Prinzip Lichtschranke ❶ mit Reflexstreifen ❷

- **Präzise Messung der Drehzahlen:** Ein hochauflösender Drehzahlsensor der Tastrolle, Reflexstreifen und Lichtschranken erfassen die Drehbewegungen der Räder mit hoher Genauigkeit.
- **Radkreuze für erhöhte Auflösung:** Die Impulse der Lichtschranken werden durch Radkreuze vervielfacht, was die Regelung der Drehzahlen schneller und präziser macht. Dies ist besonders wichtig bei großem Radumfang, bei starren Antrieben mit Ausgleichsgetriebe oder Hart-Visko-Kupplungen, da schon geringe Abweichungen Drehmomentübertragungen verursachen können.
- **Korrekte Montage der Lichtschranken:** Lichtschranken müssen stabil befestigt und auf Achshöhe waagrecht ausgerichtet sein. Änderungen des Blickwinkels durch Lenkbewegungen oder Einfedern des Fahrzeugs können die Messgenauigkeit beeinträchtigen und unnötige Nachregelungen verursachen.

## 5.3 PRÜFUNG DES GETRIEBESPIELS (GETRIEBESPIEL-MODUS)

Eine „lastfreie“ Bremsprüfung ist bei Fahrzeugen mit starrer starren Antrieben mit Ausgleichsgetriebe oder Hart-Visko-Kupplung erforderlich, um Drehmomentübertragungen zu vermeiden.

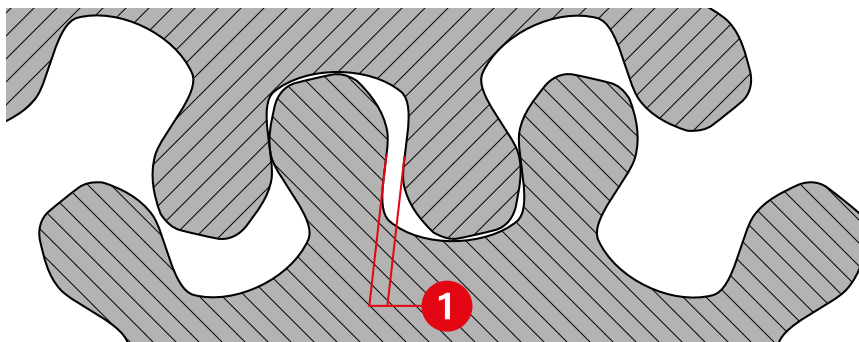


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Getriebespiels ❶ Quelle MAHA

- **Lern-Modus zur Bestimmung der Mittelposition:**
  - Zuerst wird ein Rad vorwärts gedreht und das andere wird über die Kraftübertragung des Differentialgetriebes mitgeschleppt, bis die Zahnflanken des Differentialgetriebes auf der einen Seite anliegen, die Grenzposition wird gemessen.
  - Anschließend wird das andere Rad rückwärts gedreht, um die Zahnflanken auf der gegenüberliegenden Seite anliegen zu lassen, und die zweite Grenzposition wird ermittelt.
  - Die Mittelposition des Getriebespiels wird aus diesen Grenzpositionen errechnet.
- **Synchronisierung der Drehzahlen:**
  - Während der Bremsprüfung werden die Räder so geregelt, dass die Mittelposition des Getriebespiels gehalten wird. Ein Rad dreht dabei vorwärts und das andere rückwärts, wodurch Bremsmomente nicht über die Antriebswelle übertragen werden.
  - Das langsam drehende Rad wird im Bedarfsfall nachgeregelt.

## 5.4 LERNMODUS UND EINREGELUNG DER ANTRIEBSMOTOREN

Die Antriebsmotoren des Prüfstands sind entscheidend für die präzise Steuerung der Räder während der Prüfung.

- **Lernmodus:** Beim Start von jeder Prüfung ermittelt der Prüfstand das Zahnflankenspiel, um sicherzustellen, dass Drehzahlen und Drehmomente korrekt erfasst und verarbeitet werden.
- **Dynamisches Einregeln:** Die Drehzahlen der Antriebsmotoren werden kontinuierlich angepasst, um minimale Unterschiede in der Radbewegung, die durch das Einwirken der Radbremsen entstehen, auszugleichen. Dies stellt sicher, dass die Mittelposition des Getriebespiels gehalten wird.
- **Berücksichtigung von Radunterschieden:** Aufgrund unterschiedlicher Profiltiefen und Luftdrücke weichen die Radumfänge in der Praxis ab. Die Antriebsmotoren regeln daher die erforderliche Geschwindigkeit, um sicherzustellen, dass beide Räder die gleiche Drehzahl erhalten.

## 5.5 UMGANG MIT SPEZIFISCHEN ALLRADSYSTEMEN

- **Weich-Visko-Kupplung:** Bei Fahrzeugen mit einer Weich-Visko-Kupplung genügt eine annähernd gleiche Drehzahlregelung der Antriebsmotoren, da keine Bremsmomente bei geringen Drehbewegungen übertragen werden.
  - Es ist oftmals eine maximale Verweilzeit des FZG-Herstellers im Bremsprüfstand zu berücksichtigen, um ein Aufschäumen der Flüssigkeit in der Visko-Kupplung zu vermeiden.
- **Hart-Visko-Kupplung:** Hier ist eine exakte Synchronisierung der Raddrehzahlen erforderlich, da bereits kleine Abweichungen Drehmomente/Bremskräfte übertragen können, was zu verfälschten Messwerten führt.
- **Haldex-Antrieb:** Die Bremsprüfung ist bei abgeschalteter Zündung des Fahrzeugs durchzuführen, da Haldex-Systeme nur bei laufendem Motor aktiv sind. Nach der Prüfung muss

sichergestellt werden, dass kein automatischer Rollenstart erfolgt, um Schäden am Differential zu vermeiden.

- **Starrer Antrieb mit Ausgleichsgetriebe:** Bei Fahrzeugen mit starrer Antriebswelle müssen die Räder exakt im Gegenlauf synchronisiert werden. Der Lernmodus für das Zahnflankenspiel im Differentialgetriebe stellt sicher, dass sich das Differentialgetriebe im Gleichgewichtszustand befindet und keine Bremsmomente über die Antriebswelle übertragen werden.

## 5.6 VORTEILE DER TECHNISCHEN UMSETZUNG

Die beschriebenen Technologien und Verfahren bieten mehrere Vorteile:

- **Präzise Messergebnisse:** Durch die dynamische Regelung und die Nutzung von hochauflösenden Drehzahlsensoren, Reflexstreifen, Lichtschranken und Radkreuzen wird eine maximale Genauigkeit der Bremskraftmessung erreicht.
- **Schonung der Prüfstands-Technik und Fahrzeugkomponenten:** Mechanische Spannungen und Drehmomentübertragungen werden vermieden, was die Lebensdauer von Prüfständen und Fahrzeugantrieben erhöht.
- **Effizienzsteigerung:** Durch die schnelle und präzise Regelung der Drehzahlen wird der Prüfprozess optimiert und Verzögerungen minimiert.

Diese technische Umsetzung gewährleistet, dass die Bremsprüfung von Allradfahrzeugen auch bei komplexen Antriebssystemen zuverlässig und sicher durchgeführt werden kann.

# 6 HÄUFIGE FEHLER UND DEREN VERMEIDUNG

## 6.1 BEDEUTUNG DER FEHLERVERMEIDUNG

Die Bremsprüfung von Allradfahrzeugen ist ein komplexer Prozess, bei dem kleine Fehler gravierende Auswirkungen auf die Messergebnisse oder die Fahrzeugkomponenten haben können. Um zuverlässige Ergebnisse zu gewährleisten und Schäden an Fahrzeugen oder Prüfständen zu vermeiden, müssen häufige Fehlerquellen identifiziert und eliminiert werden.

## 6.2 HÄUFIGE FEHLERQUELLEN UND LÖSUNGEN

### 6.2.1 FALSCH E MONTAGE DER LICHTSCHRANKEN ODER RADKREUZE

- **Problem:** Eine fehlerhafte Montage von Lichtschranken oder Radkreuzen führt zu ungenauen Messwerten. Bereits geringe Änderungen des Blickwinkels, etwa durch das Einfedern des Fahrzeugs oder Lenkbewegungen, können die Drehzahlmessung beeinflussen.
- **Vermeidung:**

- Lichtschranken stabil und exakt in Achshöhe anbringen, um den Winkel zum Radkreuz konstant zu halten.
- Waagerechte Ausrichtung der Lichtschranken bevorzugen; die Ausrichtung von oben sollte vermieden werden.
- Regelmäßige Kontrolle und Nachjustierung der Komponenten vor jeder Prüfung durchführen.

## 6.2.2 VERNACHLÄSSIGUNG DER KETTENSPIGUNG UND DEREN AUSWIRKUNGEN

- **Problem:** Eine unzureichende Kettenspannung im Prüfstand führt zu Ruckeln oder Verzögerungen bei der Einregelung der Prüfrollen. Dies erschwert die Synchronisierung der Räder und kann die Bremskraftmessung verfälschen.
- **Vermeidung:**
  - Vor der Prüfung sicherstellen, dass die Prüfstandsketten straff gespannt sind.
  - Kettenspannung regelmäßig überprüfen und als festen Bestandteil der Wartungsroutine einplanen.
  - Eine ruckelfreie Bewegung der Rollen gewährleisten, um eine konstante Regelung der Räder sicherzustellen.

## 6.2.3 FEHLENDE SYNCHRONISIERUNG DER RÄDER BEI STARREM ANTRIEB

- **Problem:** Bei Fahrzeugen mit starrer Antriebswelle kann bereits eine minimale Asynchronität zwischen den Rädern mechanische Spannungen verursachen, die das Differential oder andere Antriebskomponenten beschädigen.
- **Vermeidung:**
  - Exakte Synchronisierung der Drehzahlen der Prüfstandsmotoren sicherstellen.
  - Den Getriebeispiel-Modus konsequent nutzen, um ungewollte Drehmomentübertragungen zu verhindern.
  - Die Einregelung der Motoren aktiv überwachen und während der gesamten Prüfung kontinuierlich anpassen.

## 6.3 ZUSAMMENFASSUNG

Durch sorgfältige Vorbereitung, regelmäßige Wartung der Prüfgeräte und die strikte Einhaltung der Prüfvorgaben lassen sich die häufigsten Fehler vermeiden. Die Schulung des Prüfpersonals ist ein weiterer zentraler Aspekt, um die Bremsprüfung von Allradfahrzeugen effizient und sicher durchzuführen. Fehlervermeidung trägt nicht nur zur Präzision der Ergebnisse bei, sondern schützt auch die Prüfstände und Fahrzeugkomponenten vor Schäden.

# 7 EMPFEHLUNGEN UND BEST PRACTICES

## 7.1 STANDARDISIERTE PRÜFMODI BASIEREND AUF DEM ANTRIEBSTYP

Die Wahl des Prüfmodus sollte exakt auf den Typ des Allradantriebs abgestimmt sein, um sowohl die Genauigkeit der Ergebnisse als auch die Sicherheit der Prüfprozesse zu gewährleisten.

### Grundsätzlich

Viele Mechaniker, Entwickler, Ingenieure oder sogar die Fahrer selbst wissen oft nicht genau, welches Allradsystem in ihrem Fahrzeug verbaut ist. Es wird lediglich festgestellt, dass das Fahrzeug „Allrad“ hat – ohne zu berücksichtigen, ob es sich um einen abschaltbaren Allrad, eine Visco-Kupplung oder eine starre Antriebswelle handelt. Genau hier ist eine systematische Vorgehensweise unerlässlich.

### Checkliste vor dem Prüfen

#### Fragen, ob der Allrad abschaltbar ist:

- Falls ja, den Allradantrieb immer abschalten und im Normalmodus prüfen. Dies gilt ohne Ausnahme, da zuschaltbare Allradsysteme oft ein Zwischendifferential oder einen Ausgleich enthalten, der während des Einregelversuchs Probleme verursachen kann.

#### Fragen, ob Sperren aktiv sind:

- Sperren immer abschalten, um unkontrollierte Drehmomentverteilungen zu vermeiden.

### Auswahl des richtigen Prüfmodus

#### 1. Erster Versuch im Standardmodus mit Einzelradprüfung:

Der Test startet mit manuellem Motorstart über die Fernbedienung. Stellen Sie sich an das rechte Rad und starten Sie das linke Rad:

##### Reaktion des rechten Rads:

- Dreht es in die entgegengesetzte Richtung, handelt es sich um ein Fahrzeug mit Allradantrieb.
- Bleibt es stehen, ist kein Allradantrieb aktiv, und das Fahrzeug kann im Standardmodus geprüft werden.

#### 2. Prüfen ohne Reflexstreifen und Radkreuz im Visco-Modus:

- Bei Allradantrieben zunächst im Visco-Modus prüfen, ohne zusätzliche Hilfsmittel wie Reflexstreifen oder Radkreuz.

### 3. Einsatz von Reflexstreifen oder Radkreuzen bei Bedarf:

- Wenn der Visco-Modus nicht funktioniert, Reflexstreifen oder Radkreuz verwenden (abhängig vom Radumfang). Falls das Fahrzeug dennoch nicht korrekt einregelt, den Starren-Allrad-Modus aktivieren.

### 4. Prüfen aller Achsen

- Bei Fahrzeugen mit mehreren Achsen ist zu beachten, dass nicht alle Achsen gleich reagieren müssen. Der Test muss auf allen Achsen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass keine Achse übersehen wird.

## Best Practices

- **Fahrzeugantriebstyp identifizieren:** Eine Checkliste vor der Prüfung verwenden, um den Typ des Allradantriebs sowie aktive oder deaktivierte Funktionen (z. B. Sperren) zu ermitteln.
- **Prüfstände mit vorkonfigurierten Modi nutzen:** Prüfstände sollten über vorkonfigurierte Modi für unterschiedliche Allradsysteme verfügen, um schnelle und fehlerfreie Anpassungen zu ermöglichen.
- **Radweise Prüfung im Standardmodus bei Unsicherheiten:** Falls der Antriebstyp nicht klar ist, empfiehlt sich eine radweise Prüfung im Standardmodus.

## Merke!

- Der richtige Prüfmodus hängt von der Bauweise und Konfiguration des Fahrzeugs ab.
- Standardisierte Verfahren und der Einsatz geeigneter Prüfmodi reduzieren Fehler und verbessern die Effizienz der Prüfprozesse.
- Bei Unsicherheiten immer mit einem Schritt-für-Schritt-Verfahren arbeiten, wie oben beschrieben, um den Antriebstyp sicher zu bestimmen und die korrekten Prüfmethoden anzuwenden.

## 7.2 SCHULUNG DES PRÜFPERSONALS

Ein fundiertes Verständnis der Funktionsweise und Prüfanforderungen von Allradsystemen ist für das Prüfpersonal essenziell.

- **Empfehlung:** Regelmäßige Schulungen sollten sicherstellen, dass das Prüfpersonal stets auf dem neuesten Stand der Fahrzeug- und Prüfstandstechnologien ist.

## Best Practices

- Schulungsinhalte umfassen die korrekte Nutzung der Prüfstandssoftware, Kalibrierung der Geräte und Analyse von Prüfprotokollen.
- Praktische Übungen mit unterschiedlichen Fahrzeugtypen fördern Routine und Sicherheit im Umgang mit verschiedenen Antriebsarten.

## 7.3 EINSATZ VON DÄMPFUNGSSOFTWARE BEI SPEZIFISCHEN FAHRZEUGTYPEN

Für Fahrzeuge mit besonderen Anforderungen (z. B. Kranwagen mit speziellen Reifenprofilen und Radumfängen) können herkömmliche Prüfmethode unzureichend sein.

- **Empfehlung:** Speziell entwickelte Dämpfungsssoftware sollte für präzise und stabile Messergebnisse eingesetzt werden.

### Best Practices

- Die Dämpfungsssoftware nur bei Fahrzeugen einsetzen, die diese erfordern, um unnötige Komplikationen zu vermeiden.
- Sicherstellen, dass die Software korrekt konfiguriert ist und mit dem Prüfstand kompatibel bleibt.
- Eine klare Dokumentation der Anwendungsfälle zur Vermeidung von Missverständnissen und Fehlanwendungen bereitstellen.

## 8 FAZIT

Die Bremsprüfung von Allradfahrzeugen ist ein essenzieller Bestandteil moderner Fahrzeugwartung und ein zentraler Sicherheitsstandard. Die komplexe Mechanik und Technik dieser Fahrzeuge stellen besondere Anforderungen, die nur durch spezialisierte Prüfmethode erfüllt werden können. Solche Verfahren gewährleisten präzise Ergebnisse, vermeiden Schäden an Fahrzeugen und Prüfständen und sorgen dafür, dass Allradfahrzeuge sicher und zuverlässig betrieben werden können.

Eine korrekte Bremsprüfung stellt sicher, dass die Bremsen eines Fahrzeugs unter allen Bedingungen einwandfrei funktionieren. Dies minimiert das Risiko unerwarteter Bremsenausfälle, die zu schweren Unfällen führen könnten. Besonders bei Allradfahrzeugen mit variabler Drehmomentverteilung ist eine präzise Messung der Bremskraft unerlässlich, um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten und komplexe dynamische Systeme richtig zu bewerten.

Regelmäßige und verlässliche Bremsprüfungen verlängern zudem die Lebensdauer von Bremskomponenten und reduzieren den Verschleiß von Antriebsteilen. Durch die frühzeitige Erkennung von Fehlbelastungen oder Defekten tragen sie dazu bei, größere Schäden und Reparaturen zu vermeiden. Gleichzeitig steigern diese Prüfmethode die Effizienz der Wartungsprozesse, indem sie Fehlerquellen minimieren und die Prüfstandtechnologie optimal nutzen.

Um den hohen Anforderungen der Bremsprüfung bei Allradfahrzeugen gerecht zu werden, ist die kontinuierliche Weiterentwicklung von Prüfverfahren unverzichtbar. Ebenso sind die regelmäßige Schulung von Fachpersonal und der Einsatz modernster Prüfstandstechnologien entscheidend, um präzise Ergebnisse zu garantieren. Die Investition in spezialisierte Technologien und qualifiziertes Personal zahlt sich aus, indem sie nicht nur die Sicherheit im Straßenverkehr erhöht, sondern auch die Zuverlässigkeit und Effizienz der Prüfprozesse langfristig sicherstellt.

## Anhang

**Übersichtstabelle der Prüfmodi für verschiedene Allradantriebstypen**

| ALLRADTYP                    | PRÜFMODUS                             | BESONDERHEITEN                                                                               |
|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abschaltbarer Allrad</b>  | Standardmodus                         | Allradantrieb und Sperren abschalten; Einzelradprüfung möglich.                              |
| <b>Weiche Visco-Kupplung</b> | Visco-Modus                           | Annähernd gleiche Drehzahlregelung ausreichend                                               |
| <b>Harte Visco-Kupplung</b>  | Synchronmodus                         | Exakte Synchronisierung der Drehzahlen erforderlich, um Drehmomentübertragung zu verhindern. |
| <b>Haldex-Antrieb</b>        | Standardmodus mit Zündungsabschaltung | Zündung ausschalten, um automatischen Rollenstart zu vermeiden.                              |
| <b>Starre Antriebswelle</b>  | Getriebeispiel-Modus                  | Exakte Drehzahlsynchronisation; Differential muss in Gleichgewichtszustand gehalten werden.  |

**Technische Daten zu Lichtschranken und Radkreuzen**

| KOMPONENTE            | BESCHREIBUNG                                             | TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Lichtschranken</b> | Optische Sensoren zur Erfassung von Radbewegungen        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Erfassungsgenauigkeit: &lt;1 mm Bewegung</li> <li>Montagehöhe: Auf Achshöhe</li> <li>Blickwinkel: Waagrecht ausgerichtet</li> </ul>                      |
| <b>Radkreuze</b>      | Mechanische Messhilfen zur Verbesserung der Auflösung    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Impulsauflösung: 4-fache Verfeinerung</li> <li>Material: Aluminium oder Kunststoff</li> <li>Kompatibilität: Reflexstreifen und Lichtschranken</li> </ul> |
| <b>Reflexstreifen</b> | Unterstützen die optische Erfassung durch Lichtschranken | <ul style="list-style-type: none"> <li>Länge: 10–20 cm je nach Radgröße</li> <li>Haftfestigkeit: Bis 60°C Umgebungstemperatur</li> </ul>                                                        |

**Beispiele für typische Probleme und Lösungen bei der Bremsprüfung**

| PROBLEM                                             | MÖGLICHE URSACHE                            | LÖSUNG                                                                             |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Lichtschranken liefern ungenaue Werte</b>        | Falsche Montage oder instabiler Blickwinkel | Korrekte waagerechte Ausrichtung auf Achshöhe sicherstellen                        |
| <b>Ruckeln bei der Prüfung</b>                      | Kettenspannung unzureichend                 | Ketten vor der Prüfung straff spannen                                              |
| <b>Drehmomentübertragung zwischen den Rädern</b>    | Asynchronität der Drehzahlen                | Exakte Synchronisierung der Prüfstandsmotoren vornehmen                            |
| <b>Fehler bei Fahrzeugen mit Haldex-System</b>      | Automatische Aktivierung durch Zündung      | Zündung abschalten und sicherstellen, dass kein automatischer Rollenstart erfolgt. |
| <b>Unregelmäßige Ergebnisse bei starrem Antrieb</b> | Differential nicht in Gleichgewichtszustand | Getriebeispiel-Modus aktivieren und Mittelposition korrekt einregeln               |

# Quellenverzeichnis

- [1] **Hopp, H.**  
Thermomanagement von Hochleistungs-  
fahrzeug-Traktionsbatterien anhand  
gekoppelter Simulationsmodelle. Springer
- [2] **Springer**  
Thermomanagement von Lithium-Ionen-Batterien.
- [3] **Springer**  
Thermisches Management der Batterie. Springer
- [4] **Argade, S. & De, A.**  
Optimization study of a Z-type airflow cooling  
system of a lithium-ion battery pack. arXiv.
- [5] **Bozorg, M.V. & Torres, J.F.**  
Multifaceted thermal regulation in electrochemi-  
cal batteries using cooling channels and foam-  
embedded phase change materials. arXiv.
- [6] **Tripathi, P.M. & Marconnet, A.M.**  
Multi-Physics Numerical Analysis of Sin-  
gle-phase Immersion Cooling for Thermal  
Management of Li-Ion Batteries. arXiv.
- [7] **Carlucci, A.P., Darvish, H. & Laforgia, D.**  
(n.d.) Detailed Thermal Characteriza-  
tion on a 48V Lithium-Ion Battery Pack  
during Charge-Discharge Cycles. arXiv.
- [8] **Beam-Verlag**  
Wärmemanagement für Batterien in E-Mobili-  
tätsanwendungen. Beam-Verlag.
- [9] **Krafthand**  
Batteriekühlung von Elektrofahrzeugen  
– Erklärung und Aufbau. Krafthand.
- [10] **1TLK Energy**  
Batteriekühlung in Elektrofahrzeugen. TLK Energy.
- [11] **Lion Smart**  
Immersionenkühlung: Ein kurzer Vergleich von  
EV-Batterie-Kühlmethoden. Lion Smart.
- [12] **Mouser**  
Übertemperatur in Li-Ionen-Batteriepacks  
für Elektrofahrzeuge erkennen. Mouser.
- [13] **Elektronikpraxis**  
Kühlung für Energiespeichersysteme:  
Flüssigkeit vs. Luft. Elektronikpraxis.
- [14] **Rutronik**  
Verhinderung von Thermal Runaway bei  
Lithium-Ionen-Batterien. Rutronik.
- [15] **Springer Professional**  
Was ist eine Immersionenkühlung?.  
Springer Professional.
- [16] **Keheng Battery**  
Complete Guide: Lithium-Ion Battery Sto-  
rage & Maintenance. Keheng Battery.
- [17] **Pesaran, A. (2001)**  
Thermal Management of Lithium-Ion Batteries: A  
Review. Journal of Power Sources. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2001.03.004>.
- [18] **Zhang, S. & Xu, K. (2020)**  
A review on the key issues of the lithium ion  
battery degradation among the whole life  
cycle. eTransportation. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2020.100043>.
- [19] **Feng, X., Ouyang, M., He, X., Lu, L.,  
Wang, H. & Zhang, M. (2018)**  
Thermal runaway mechanisms of lithium-ion  
battery for electric vehicles: A review. Ener-  
gy Storage Materials. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2018.08.007>.
- [20] **Jaguemont, J., Boulon, L. & Dubé, Y. (2016)**  
Thermal management of lithium-ion battery packs  
based on thermoelectric cooling. IEEE Trans-  
actions on Vehicular Technology. Available at:  
<https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2524578>.
- [21] **Karimi, G. & Li, X. (2012)**  
Thermal management of lithium-ion bat-  
teries for electric vehicles. International  
Journal of Energy Research. Available  
at: <https://doi.org/10.1002/er.1956>.
- [22] **Al-Zareer, M., Jayasinghe, D.D.S.G.  
& Khan, S.U.R. (2018)**  
A critical review of thermal issues in lithium-ion  
batteries. Journal of Power Sources. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.05.033>.
- [23] **Panchal, S., Dincer, I., Agelin-Chaab,  
M., Fraser, R. & Fowler, M. (2018)**  
Thermal management strategies for  
lithium-ion batteries: A review. Renewa-  
ble and Sustainable Energy Reviews.
- [24] **Argade, S. & De, A. (2024)**  
Optimization study of a Z-type airflow cooling  
system of a lithium-ion battery pack. arXiv. Ver-  
fügbar unter: <https://arxiv.org/abs/2407.03062>.
- [25] **DGUV (2024)**  
DGUV Information 205-041; [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

## Über den Autor

„In meinen fast 30 Jahren Berufserfahrung habe ich über 10 Jahre in der Entwicklung von Sicherheitstechnik verbracht und aktiv in Normenausschüssen mitgewirkt. Heute stehe ich als Geschäftsführer von MAHA für höchste Sicherheitsstandards, Innovation und Zuverlässigkeit in der Prüf- und Hebetechnik.“

**„Erfahren Sie mehr über die effiziente Bremskraftprüfung bei Allradfahrzeugen und deren Herausforderungen in diesem Whitepaper.“**

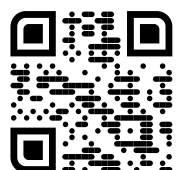
Dr. Peter Geigle

**Geschäftsführer MAHA SE & Co. KG**

E-Mail: [peter.geigle@maha.de](mailto:peter.geigle@maha.de)



**MAHA SE & Co. KG**  
Hoyen 20  
87490 Haldenwang  
Germany



**maha.de**