

# KAN-Gutachten "Stand der Wissenschaft und Technik bei den Gelenkwellen an landwirtschaftlichen Maschinen"

Endbericht

Das Projekt „Kommission Arbeitsschutz und Normung“ wird finanziell durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gefördert

Autoren: Thomas Herlitzius, Martin Schmauder, Harald Müller,  
Benjamin Tautenhahn

Herausgeber: Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit  
in Europa e.V. (VFA)

Redaktion: Katharina von Rymon Lipinski  
Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN)  
– Geschäftsstelle –  
Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin  
Telefon (02241) 231–3467  
E-Mail: [info@kan.de](mailto:info@kan.de)  
Internet: <http://www.kan.de>

Veröffentlichung: Juli 2022

## Inhalt

KAN-Gutachten "Stand der Wissenschaft und Technik bei den Gelenkwellen an landwirtschaftlichen Maschinen" .....	1
Endbericht .....	1
Inhalt .....	2
1 Ausgangssituation.....	6
2 Zielsetzung.....	6
3 Vorgehensweise.....	7
4 Ergebnisse .....	8
4.1 Analyse von Fehlanwendungen / Schäden .....	8
4.2 Übersicht zum Stand von Technik, Forschung und Wissenschaft .....	13
4.2.1 Hersteller und am Markt verfügbare Produkte .....	13
4.2.2 Verwendung von Gelenkwellen .....	14
4.2.3 Gelenkwellen als Maschine - Maschinenrichtlinie .....	15
4.2.4 Schutzeinrichtungen, CE-Konformität .....	17
4.2.5 Markenlose Produkte .....	18
4.2.6 Leistungsklassen von Gelenkwellen .....	18
4.2.7 Kennzeichnung .....	19
4.2.8 Schmierintervalle .....	20
4.3 Produktbewertungen.....	20
4.3.1 Bewertungssystematik .....	20
4.3.2 Durchführung der Bewertung .....	24
4.3.3 Ergebnisse der Bewertung und Schlussfolgerungen.....	24

4.3.4	Ergänzende Beobachtungen .....	30
4.4	Empfehlungen für die Normung .....	34
4.4.1	Kopplungsvorgang .....	34
4.4.2	Wartung .....	35
4.4.3	Instandsetzung .....	36
4.4.4	Lebensdauer der Schutzeinrichtung .....	36
4.4.5	Kennzeichnung .....	37
4.4.6	Bedienungsanleitung .....	37
4.4.7	Vorhersehbare Fehlanwendungen .....	37
4.4.8	Gesamtsystemoptimierung Maschine (Anbaugeräte) .....	37
4.4.9	Gesamtsystemoptimierung Traktor .....	40
5	Zusammenfassung / Ausblick .....	41

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Meldepflichtige Unfälle mit Gelenkwellen (Quelle: eigene Grafik auf Grundlage einer spezifischen SVLFG Auswertung) .....	8
Abbildung 2: Tödliche Unfälle mit Gelenkwellen (Quelle: eigene Grafik auf Grundlage einer spezifischen SVLFG Auswertung) .....	9
Abbildung 3: Defekte Schutzeinrichtungen durch falsche Lagerung (Quelle: eigene Aufnahme) .....	10
Abbildung 4: Wartungsdefizite (Quelle: eigene Aufnahme) .....	10
Abbildung 5: Erläuterung Anfahrschäden (großer Winkel zwischen Traktor-Längsachse und Gerätedeichsel); (Quelle: eigene Aufnahme) .....	12
Abbildung 6: Übersicht zum Gelenkwelleneinsatz (Quelle: eigene Grafik) .....	14
Abbildung 7: Einsatzgebiete von Gelenkwellen (Quelle: eigene Grafik) .....	14
Abbildung 8: Beispiele für Gelenkwellen innerhalb klappbarer Anbaugeräte (Quelle: eigene Grafik) .....	15

Abbildung 9: Anforderungen an Schutzeinrichtungen (Quelle: eigene Grafik).....	17
Abbildung 10: Beispiel für ein markenloses Produkt (Quelle: eigene Grafik) .....	18
Abbildung 11: Beispiel für Leistungsklassen der Fa. Walterscheid (Quelle: eigene Grafik) .....	19
Abbildung 12: Beispiel für Leistungsklassen der Fa. Bondioli&Pavesi (Quelle: eigene Grafik) .....	19
Abbildung 13: Beispiel für die Kennzeichnungen auf einer Gelenkwelle der Fa. Walterscheid (Quelle: eigene Grafik) .....	19
Abbildung 14: Gesamtergebnis der Gelenkwellenbewertung (Quelle: eigene Grafik) .....	25
Abbildung 15: Übersicht der Bewertung der einzelnen Kriterien (Quelle: eigene Grafik) .....	26
Abbildung 16: Exemplarische Übersicht zu Gesamtergebnis „Gewichtung 5“ (Quelle: eigene Grafik) .....	27
Abbildung 17: Beispiele für die räumliche Enge traktorseitig (Quelle: eigene Aufnahmen) .....	30
Abbildung 18: Verriegelungseinrichtungen (Quelle: eigene Grafik) .....	30
Abbildung 19: Ausprägung der Kanten (Quelle: eigene Aufnahmen) .....	31
Abbildung 20: Beispiel für eine wenig dauerhafte Kennzeichnung (Quelle: eigene Aufnahme) .....	31
Abbildung 21: Beispiel für Schutztopf mit Fenster (Quelle: eigene Grafik) .....	32
Abbildung 22: Beispiel für eine Gelenkwellenablage (Quelle: eigene Aufnahme) ...	32
Abbildung 23: Festlegung Mindestfreiraum (Quelle: eigene Grafik) .....	34
Abbildung 24: INAIL-Verbesserungsvorschlag zur Form der Verriegelung (Quelle: eigene Grafik) .....	35
Abbildung 25: Karabinerhaken (Quelle: eigene Grafik) .....	35
Abbildung 26: Mehrfach nutzbare Überlastsicherung, ausklinkende Schutzkette, Fa. Benzi (Quelle: eigene Grafik) .....	36
Abbildung 27: Definierte Aufnahme am Anbaugerät (Quelle: eigene Aufnahme) ...	38

Abbildung 28: Verklemmung der Gelenkwelle am Eingangsstummel der Maschine (Quelle: eigene Grafik) .....	38
Abbildung 29: Schutztopfvarianten (Quelle: eigene Grafik unter Nutzung von Materialien von IAL Fröbel) .....	39
Abbildung 30: Beispiel für einen demontierbaren Schutztopf mit Schnellverschluss maschinenseitig (Quelle: eigene Grafik unter Nutzung von Materialien von IAL Fröbel).....	39
Abbildung 31: Risikoerhöhung durch ungenügende Gebrauchstauglichkeit (Quelle: eigene Grafik) .....	42
Abbildung 32: Risikoerhöhung durch geringe Materialqualität und aufwändige Ersatzteilversorgung (Quelle: eigene Grafik) .....	43

## 1 Ausgangssituation

Nach wie vor ereignen sich in der Landwirtschaft bei der Nutzung von Gelenkwellen schwere und auch tödliche Unfälle. Nach einem intensiven Abstimmungsprozess wurde die Typ C-Norm DIN EN 12965 „Traktoren und Maschinen für die Land- und Forstwirtschaft – Gelenkwellen und ihre Schutzeinrichtungen – Sicherheit“ überarbeitet. Die deutsche Fassung liegt in Perinorm mit dem Stand Oktober 2020 vor. In der Norm werden Mindestforderungen beschrieben und im Anhang ist eine Liste mit signifikanten Gefährdungen enthalten. Unfälle mit Gelenkwellen haben eher ihre Ursache in der nicht bestimmungsgemäßen Verwendung, wie z. B. der Manipulation von Schutzeinrichtungen oder mangelnder Instandhaltung. Eine weitere Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit von Gelenkwellen und damit auch der Reduzierung der Unfallrisiken kann durch umfassendere Vorgaben erreicht werden. Enge Bauräume erhöhen die scheinbaren Gebrauchstauglichkeitsvorteile durch Manipulation.

Die vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung, wie z. B. keine Befestigung der Drehsicherung der Schutzeinrichtung, kein Ersatz von defekten Schutzeinrichtungen oder der Beseitigung von Schutzeinrichtungen maschinenseitig, kann vermutlich durch technische Maßnahmen reduziert werden. Einzelne Bauteile von Gelenkwellen sind Verschleißteile, weshalb die Kosten eine hohe Bedeutung haben.

In der Land- und Forstwirtschaft bestehen harte Einsatzbedingungen und oft werden defekte Schutzeinrichtungen sowohl an den Gelenkwellen als auch antriebs- und maschinenseitig nicht ersetzt. Ein Hemmnis kann hier der Montageaufwand oder auch die Ersatzteilbeschaffung sein. Die Kraftübertragung, d. h. die gewünschte Wirkung, funktioniert auch ohne Schutzeinrichtung. Aus der industriellen Praxis bekannte Konzepte wie nicht trennende Schutzeinrichtungen oder Verriegelungslösungen sind kaum umsetzbar.

In Kürze sollen Normen zu Gelenkwellen auf ISO-Ebene überarbeitet werden. In der Vorbereitung hierzu soll europaweit eine Übersicht zum Stand von Wissenschaft und Technik bei Gelenkwellen und deren Schutzeinrichtungen erstellt werden.

## 2 Zielsetzung

In dem zu erstellenden Gutachten sollen sowohl Produkte, die sich auf dem Markt befinden betrachtet werden wie auch Produkte, die sich gerade in der Entwicklung befinden oder auch Forschungsgegenstand sind. Es sollen Lösungen aus ganz Europa aufgeführt werden und kriterien gestützt bewertet werden. Weiterhin sollen Empfehlungen für die Normung ausgearbeitet werden.

## 3 Vorgehensweise

Die Bearbeitung der Aufgabenstellung erfolgte in den folgenden vier Arbeitspaketen:

### AP 1: Analyse von Fehlanwendungen / Schäden

In diesem Arbeitspaket erfolgte eine Analyse und Zusammenstellung von Unfällen, sogenannten Beinaheunfällen und Erkenntnisse zu nicht bestimmungsgemäßem Gebrauch. Hierzu erfolgte eine Recherche bei der SVLFG (Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau) und Anwendern sowie in der verfügbaren Literatur bzw. Datenbanken. Erkenntnisse der Unfallversicherungsträger im europ. Ausland wurden zusammengetragen.

Durch die Analyse der Ersatzbeschaffung von ganzen Gelenkwellen oder Teilen davon können Rückschlüsse auf häufige Schäden und mögliche Verbesserungspotentiale erschlossen werden. Es erfolgte eine Abfrage im Landmaschinen-Zubehör und -Ersatzteilhandel.

Folgende Quellen wurden ausgewertet:

- SVLFG (Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau)
- Fa. Walterscheid (Hersteller)
- Fa. KRAMP (Händler)
- DLG-Testzentrum Technik und Betriebsmittel, (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e. V., Groß-Umstadt)
- Fa. Multi Agrar, Claußnitz (Anwender)
- Fa. Agrartechnik Vertrieb Sachsen GmbH, New Holland Händler (Ebersbach)
- Nebenerwerbslandwirt (Dohna)
- Fa. Zürn, John Deere Händler (Schöntal)
- Fachkraft für Arbeitssicherheit mit Schwerpunkt landwirtschaftliche Betriebe
- Agriss (Stiftung AgriSicherheit Schweiz)
- INAIL- Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (IT)

### AP 2: Übersicht zum Stand von Technik, Forschung und Wissenschaft

Die Erarbeitung einer Übersicht zum Stand von Technik, Forschung und Wissenschaft erfolgte in drei Teilschritten:

- Marktrecherche zum Stand der Technik  
Es erfolgte eine Marktrecherche zu vorhandenen Produkten.
- Marktrecherche zum Stand von Forschung und Wissenschaft  
Es erfolgte eine Marktrecherche zu in der Entwicklung befindlichen Produkten.



- Bewertungssystematik  
Zur Bewertung der auf dem Markt verfügbaren Gelenkwellen wurde eine Prüfliste erarbeitet.

#### AP 3: Produktbewertung

Mit der in AP 2 entwickelten und erprobten Bewertungssystematik wurden 31 am Markt verfügbare bzw. im Einsatz befindliche Gelenkwellen in den unterschiedlichen Leistungsklassen bewertet.

#### AP 4: Ausarbeitung von Empfehlungen für die Normung

Auf Basis der Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete wurden Empfehlungen ausgearbeitet, wie durch eine weitere Produktverbesserung die Sicherheit erhöht werden kann.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Analyse von Fehlanwendungen / Schäden

Seitens der SVLFG (Sozialversicherung für Landwirtschaft Forsten und Gartenbau) werden Unfälle mit Gelenkwellen erfasst. In den letzten 10 Jahren wurden durchschnittlich 45 Unfälle mit Gelenkwellen gemeldet. Die Zahl der meldepflichtigen Unfälle ist in Abb. 1 enthalten und die Zahl der tödlichen Unfälle mit Gelenkwellen in Abb. 2:

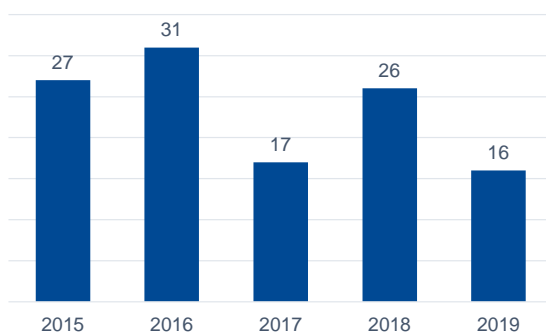


Abbildung 1: Meldepflichtige Unfälle mit Gelenkwellen (Quelle: eigene Grafik auf Grundlage einer spezifischen SVLFG Auswertung)

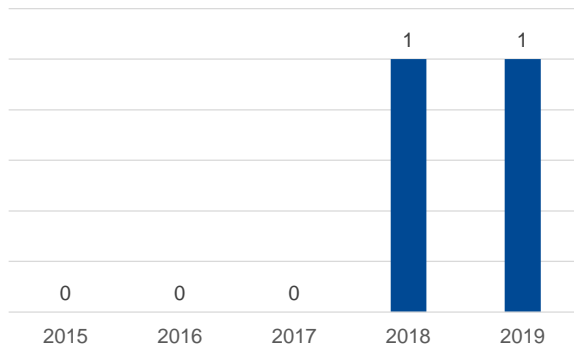


Abbildung 2: Tödliche Unfälle mit Gelenkwellen (Quelle: eigene Grafik auf Grundlage einer spezifischen SVLFG Auswertung)

Es werden auch im kommunalen Bereich sowie in Dienstleistungsunternehmen und in der Baubranche Gelenkwellen verwendet. Unfälle in diesen Branchen sind in der SVLFG-Statistik nicht enthalten und werden seitens der zuständigen Unfallversicherungsträger auch nicht im Hinblick auf Gelenkwellen ausgewertet. Es kann vermutet werden, dass sich auch hier jährlich noch einige Unfälle mit Gelenkwellen ereignen. Auch nicht erfasst werden Unfälle im Hobbybereich, da nicht jeder Traktorbesitzer welcher ein Anbaugerät wie z. B. Holzspalter, Betonmischer verwendet, in der SVLFG pflichtversichert ist.

Es wird in den Statistiken nicht nach Front- und Heckzapfwelle differenziert. Bei Frontzapfwellen ist der Schutztopf in der Regel besser zugänglich und es werden auch kaum stationär betriebene Maschinen angebaut.

Die Analyse der SVLFG zu Unfällen mit Gelenkwellen zeigt, dass sich Unfälle mit Gelenkwellen fast ausschließlich im stationären Betrieb auf dem Hof bzw. bei Reparaturen und Wartungsarbeiten ereignen. Ältere Personen über 50 Jahre sind deutlich häufiger betroffen, was evtl. auf ein geringeres Risikobewusstsein ggf. in Verbindung mit einer reduzierten Beweglichkeit hinweist.

Schutzeinrichtungen an Gelenkwellen verschleißen oft durch falsche Lagerung am Anbaugerät. Weiterhin sind sie oft der Witterung ausgesetzt, was die Alterung der Schutzeinrichtungen beschleunigt (vgl. Abb. 3). Auch Wartungsdefizite maschinenseitig sind häufig festzustellen, so werden z. B. verschlissene Schutzköpfe oft nicht ersetzt (vgl. Abb. 4).



Abbildung 3: Defekte Schutzeinrichtungen durch falsche Lagerung (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 4: Wartungsdefizite (Quelle: eigene Aufnahme)

Aktuell (Stand 6.7.2021) findet sich kein Eintrag in der Datenbank „Gefährliche Produkte“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)<sup>1</sup> und auch keine Meldung im Rapid Exchange Information System (RAPEX)<sup>2</sup> der EU sowie kein Eintrag im Informationsportal zur Produktpiraterie<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> [www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalien-und-Produkte/Produktsicherheit/Produktinformation/Datenbank/Produktsicherheit\\_form.html?n=8684884&meldev.GROUP=1&prodkat.GROUP=1](http://www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalien-und-Produkte/Produktsicherheit/Produktinformation/Datenbank/Produktsicherheit_form.html?n=8684884&meldev.GROUP=1&prodkat.GROUP=1)

<sup>2</sup> [www.produktwarnung.eu/stichwort/rapex-meldung](http://www.produktwarnung.eu/stichwort/rapex-meldung)

<sup>3</sup> [www.produktpiraterie.org](http://www.produktpiraterie.org)

Aus den Interviews mit Herstellern, Händlern, Anwendern und Fachexperten ergibt sich die nachfolgende Zusammenfassung an Erkenntnissen bzw. Aussagen:

Gelenkwellen funktionieren auch noch bei defekten Schutzeinrichtungen! Deshalb wird bei einem defekten Schutz nicht sofort Handlungsbedarf identifiziert. Oft ist die Kostenrelation zwischen dem Schutz als Ersatzteil und der Gelenkwelle selbst auch ungünstig (Bsp.: Schutz als Ersatzteil ca. 400,- EUR; Neupreis gesamte Gelenkwelle ca. 600,-EUR).

Die Ersatzteilbeschaffung (insbesondere für defekte Schutzeinrichtungen) ist aufgrund der Produktvielfalt für Laien sehr unübersichtlich.

Einzelne Bauteile von Gelenkwellen sind Verschleißteile, d. h. die Kosten haben eine hohe Bedeutung. Deshalb erfolgt insbesondere im unteren Leistungssegment ein Verkauf über den Preis mit wenig dauerhaft haltbaren Kunststoffteilen.

Anfahrsschäden durch Unterlenker und Reifen kommen häufig vor (s. Abb. 5). Beim Rückwärtsfahren mit einem am Zugmaul oder der Kupplungskugel angehängtem Gerät (z. B. Güllewagen) kann durch einen großen Winkel zwischen Traktor-Längsachse und Gerätedeichsel die Gelenkwelle am Unterlenker oder am Hinterrad eingeklemmt werden.

Die Schutztöpfe an den Gelenkwellen sind drehbar gelagert. Das Mitdrehen im Betrieb wird durch einzuhängende Sicherungsketten verhindert. Besteht nun zwischen den rotierenden Teilen der Gelenkwelle und dem Schutz eine z. B. durch Schmutz oder mangelnde Wartung verursachte hohe Reibung, dann dreht sich der Schutz mit. Bei langen Sicherungsketten werden dann beim Einschalten der Zapfwelle die Schutzeinrichtungen stark beschleunigt und durch den hohen Bremsimpuls beim Erreichen der Ketten-Endstellung können die Kunststoffösen der Kettenbefestigung ausreißen.

Wartungsdefizite sind vorhanden (oft kein Ersatz von defekten Schutzeinrichtung, eine Reparatur erfolgt eher nur bei mechanischen Defekten wie z. B. Lagerschäden an den Kreuzgelenken)

Sofern Beschäftigte im Betrieb sind, wird die Wartung intensiver betrieben. Hier sind kaum Defizite vorhanden. Die Verwendung von Gelenkwellen mit defekten Schutzeinrichtungen erfolgt eher in kleineren Familienbetrieben (Nebenerwerbslandwirtschaft).

Unfälle mit Gelenkwellen ereignen sich überwiegend auf dem Hof (An- und Abbau, Betrieb stationärer Maschinen, Wartung, Instandsetzung)

Vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung wie z. B. keine Befestigung der Drehsicherung der Schutzeinrichtung, kein Ersatz von defekten

Schutzeinrichtungen, Beseitigung / Manipulation von Schutzeinrichtungen wird von den Herstellern nicht im erforderlichen Maße berücksichtigt.

Die Zugänglichkeit der Schmiernippel ist ungünstig. Öffnungen im Schutz werden deshalb vergrößert oder der Schutz wird ganz demontiert. Hintergrund ist der Wunsch des Betreibers, die Lebensdauer der Gelenkwelle durch Abschmieren entsprechend der Herstellerangaben zu verlängern. Insbesondere bei Gelenkwellen mit kurzen Wartungszyklen (z. B. 8h) wird hierzu die Gelenkwelle nicht ausgebaut. Im eingebauten Zustand sind die Schmierstellen oft schwer zu erreichen.

Wartungsintervalle werden durch Landwirte meist "nach Gefühl" festgelegt. Das Spektrum der Herstellerangaben reicht von Wartungsintervallen zwischen 8 - 250 Stunden. Verschleiß durch mangelnde Schmierung ist nicht ungewöhnlich. Es entsteht unter Umständen eine hohe Reibung, welche zur Erwärmung der Gelenkwelle führt. Im Extremfall verformen sich hierdurch die Kunststoffteile und verlieren ihre Schutzwirkung.

Entsteht bei einer nicht gewarteten bzw. korrekt eingestellten Rutschkupplung Reibungswärme, können sich durch hohe Temperaturen die Schutzeinrichtungen verformen (auch Brände kommen z. B. bei Ballenpressen vor).

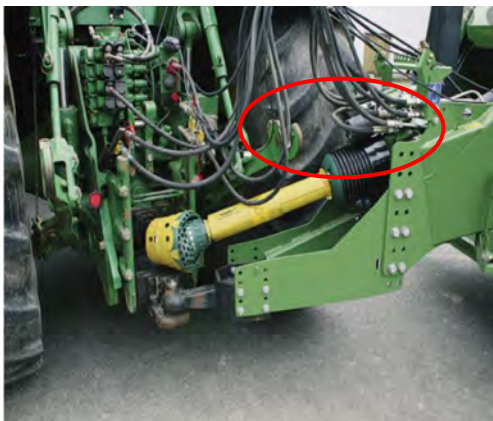


Abbildung 5: Erläuterung Anfahrtschäden (großer Winkel zwischen Traktor-Längsachse und Gerätedeixsel); (Quelle: eigene Aufnahme)



## 4.2 Übersicht zum Stand von Technik, Forschung und Wissenschaft

### 4.2.1 Hersteller und am Markt verfügbare Produkte

Folgende Hersteller sind am Markt aktiv, teilweise auch mit günstigeren Zweitmarken (z.B. Agmaster von Walterscheid). Der Zubehörhandel vertreibt neben den Herstellermarken auch Eigenmarken, welche als Standardprodukte in größeren Stückzahlen von den Herstellern bezogen werden (z. B. GoPart der Fa. Kramp, blueline der Fa. Fricke, Fa. DEMA):

- Walterscheid <https://www.walterscheid.com/startseite/>
- Bondioli & Pavesi (IT) <https://bondioli-pavesi.com/de/hochwertige-antriebssysteme/kardan-gelenkwellen>
- Comer <https://www.comerindustries.com/>
- Weasler (NL) <https://www.weasler.com/products/>
- Benzi (IT) <https://benzigroup.de/>
- Binacchi (IT) <https://www.binacchi.it/eng/products.html>
- Deleks <https://www.deleks.de/de/c/40/gelenkwellen>
- Blueline (Fa. Granit) <https://www.granit-parts.com>
- GoPart (Fa. Kramp) <https://www.kramp.com>
- Bare-Co (IE) <https://bareco.ie/>
- SIMPA (PL) <https://www.sipma.pl>
- Sparex (UK) <https://de.sparex.com>

Neben Standardprodukten gibt es noch maschinenspezifische Gelenkwellen, z. B. für Krone Mähgeräte oder Pöttinger Silowagen.

## 4.2.2 Verwendung von Gelenkwellen

Gelenkwellen werden zur Übertragung von Drehmomenten universell eingesetzt. In Abb. 6 wird exemplarisch die Verwendung in der Landwirtschaft aufgezeigt.



Abbildung 6: Übersicht zum Gelenkwelleneinsatz (Quelle: eigene Grafik)

Auch in der Forstwirtschaft sowie im kommunalen Bereich und vereinzelt in der Bauwirtschaft kommen Gelenkwellen zum Einsatz. In Abb. 7 werden Maschinenarten beispielhaft aufgelistet.

	<b>Landwirtschaft</b>		<b>Forstwirtschaft</b>
<b>Bodenbearbeitung</b>	<b>Ernte Futter</b>	<b>Ernte Getreide</b>	• Seilwinde
• Fräse	• Trommelmähwerk	• Überladewagen	• Holzspalter
• Kreiselegge	• Scheibenmähwerk	• Vorsatz Getreide	• Wippsäge
	• Schwader/Zetter/Wender	• Maispflücker	• ..
<b>Aussaat / Pflege</b>	• Ballenpressen	• nur Vorsätze (auch Sonderformen)	<b>Bauwirtschaft</b>
Drillmaschine	• Ladewagen	• Vorsatz GPS	• Mischer
• Einzelkornsaat	• Anbauhäcksler	• Vorsatz Mais	• Streuer
• Scheibendüngerstreuer	• gezogener Häcksler		• Kehrmaschinen
• pneum. Düngerstreuer			• ..
• Kalk Streuer	<b>Ernte Hackfrüchte</b>		<b>Kommunaltechnik</b>
• Miststreuer	• Rodevorsatz		• Reinigungsgeräte
• Gülleausbringung	• Anbaugeräte (Vorsätze, Transporteinrichtungen...)		• Salz- / Splittstreuer
• Spritze, gezogen	• gezogener Roder, Lader		• Kehrmaschinen
			• ..

Abbildung 7: Einsatzgebiete von Gelenkwellen (Quelle: eigene Grafik)

Einzelne Bauteile von Gelenkwellen sind Verschleißteile mit begrenzter Haltbarkeit. Für die Ersatzteilversorgung sind sie deshalb weitgehend bezüglich Drehzahl, Anschlussprofil und Leistungsklasse standardisiert. Es sind jeweils unterschiedliche

Längen verfügbar und durch Kürzen entsprechend der Bedienungsanleitung verliert die Gelenkwelle nicht die CE-Konformität. Die universelle Einsetzbarkeit hat neben den Vorteilen der Austauschbarkeit und Flexibilität auch den Nachteil, dass im Betrieb ungeeignete Kombinationen von Leistungsklasse, Zapfwelle und Maschine entstehen können. Ein erster Ansatzpunkt für eine Verbesserung ist deshalb eine 1:1 Zuordnung von Zapfwelle und Maschine (= Anbaugerät)

Verwendungsarten sind die Stellen in Maschinensystemen, in denen nicht ständig eine geradlinige Übertragung von Drehmomenten möglich ist, z. B. wenn Relativbewegungen zwischen angehängten oder angebauten Geräten oder Baugruppen notwendig sind. Sind keine Relativbewegungen von Maschinenteilen möglich, können starre Wellen verwendet werden.

Dabei gibt es Gelenkwellen, die innerhalb von in sich abgeschlossenen Geräten eingesetzt werden, z. B. bei klappbaren Baugruppen (vgl. Abb. 8). Diese Verwendungsart ist jedoch in der Regel bei Unfällen nicht beteiligt, da ein Kontakt von Mensch und Gefahrenstelle (insbesondere im Betrieb) kaum möglich ist.



Abbildung 8: Beispiele für Gelenkwellen innerhalb klappbarer Anbaugeräte (Quelle: eigene Grafik)

Haupteinsatzgebiet ist der Antrieb von angehängten, aufgesattelten oder angebauten Geräten ohne eigene Antriebsquelle an einem Traktor als Zugmittel und Quelle von Antriebsleistung in Form von Drehmoment. Dies erfolgt von einem sog. Zapfwellenanschluss am Getriebe des Traktors über die Gelenkwelle, die z.B. Kurvenfahrten oder das Anheben von Geräten zulässt.

### 4.2.3 Gelenkwellen als Maschine - Maschinenrichtlinie

Gelenkwellen müssen die EU-Maschinenrichtlinie erfüllen. Sie gelten als eigenständige Maschine (vgl. Maschinenrichtlinie Artikel 1 f) „Abnehmbare Gelenkwellen“. Gesondert in Verkehr gebrachte trennende Schutzeinrichtungen für abnehmbare Gelenkwellen sind Sicherheitsbauteile.



In Anhang I wird unter Abschnitt 3.4.7 „Kraftübertragung zwischen einer selbstfahrenden Maschine (oder einer Zugmaschine) und einer angetriebenen Maschine“ ausgeführt:

Abnehmbare Gelenkwellen zwischen einer selbstfahrenden Maschine (oder einer Zugmaschine) und dem ersten festen Lager einer angetriebenen Maschine müssen so konstruiert und ausgeführt sein, dass während des Betriebs alle beweglichen Teile über ihre gesamte Länge geschützt sind.

Die Abtriebswelle der selbstfahrenden Maschine (oder Zapfwelle der Zugmaschine), an die die abnehmbare Gelenkwelle angekuppelt ist, muss entweder durch einen an der selbstfahrenden Maschine (oder der Zugmaschine) befestigten und mit ihr verbundenen Schutzschild oder eine andere Vorrichtung mit gleicher Schutzwirkung geschützt sein.

Dieser Schutzschild muss für den Zugang zu der abnehmbaren Gelenkwelle geöffnet werden können. Nach der Anbringung des Schutzschilts muss genügend Platz bleiben, damit die Antriebswelle bei Fahrbewegungen der Maschine (oder der Zugmaschine) den Schutzschild nicht beschädigen kann.

Die angetriebene Welle der angetriebenen Maschine muss von einem an der Maschine befestigten Schutzgehäuse umschlossen sein.

Ein Drehmomentbegrenzer oder ein Freilauf für die abnehmbare Gelenkwelle ist nur auf der Seite zulässig, auf der sie mit der angetriebenen Maschine gekuppelt ist. In diesem Fall ist die Einbaulage auf der abnehmbaren Gelenkwelle anzugeben.

Eine angetriebene Maschine, für deren Betrieb eine abnehmbare Gelenkwelle erforderlich ist, die sie mit einer selbstfahrenden Maschine (oder einer Zugmaschine) verbindet, muss mit einer Halterung für die abnehmbare Gelenkwelle versehen sein, die verhindert, dass die abnehmbare Gelenkwelle und ihre Schutzeinrichtung beim Abkuppeln der angetriebenen Maschine durch Berührung mit dem Boden oder einem Maschinenteil beschädigt werden.

Die außenliegenden Teile der Schutzeinrichtung müssen so konstruiert, ausgeführt und angeordnet sein, dass sie sich nicht mit der abnehmbaren Gelenkwelle mitdrehen können. Bei einfachen Kreuzgelenken muss die Schutzeinrichtung die Welle bis zu den Enden der inneren Gelenkgabeln abdecken, bei Weitwinkelgelenken mindestens bis zur Mitte des äußeren Gelenks oder der äußeren Gelenke.

Befinden sich in der Nähe der abnehmbaren Gelenkwelle Zugänge zu den Arbeitsplätzen, so müssen sie so konstruiert und ausgeführt sein, dass die

Wellenschutzeinrichtungen nicht als Trittstufen benutzt werden können, es sei denn, sie sind für diesen Zweck konstruiert und gebaut.

Für die Hersteller von Gelenkwellen ist die DIN EN 12965:2020-10 „Traktoren und Maschinen für die Land- und Forstwirtschaft – Gelenkwellen und ihre Schutzeinrichtungen – Sicherheit“ relevant. Es handelt sich um eine Typ-C Produktnorm, welche im Hinblick auf die Maschinenrichtlinie Vermutungswirkung auslöst. Neben Anforderungen an die Art und Weise der Prüfung der Schutzfunktion werden in der Norm auch Beschaffenheitsanforderungen aufgeführt:

Schlepperseitig dürfen die Verriegelungen nicht fangend wirken (deshalb z. B. Ziehverschluss oder ein durch die Bauform abgedeckter Schiebestift).

Kupplungen und Anbauteile dürfen nur maschinenseitig verbaut werden.

Gelenkwellen müssen durch eine Schutzvorrichtung, die gegen Verdrehen gesichert ist, abgeschirmt sein.

Drehzahl maximal 1000 U/min (üblich bei Traktoren: 540 U/min und 1000 U/min)

#### 4.2.4 Schutzeinrichtungen, CE-Konformität

In Abb. 9 werden die Anforderungen an die Schutzeinrichtungen aufgeführt



Abbildung 9: Anforderungen an Schutzeinrichtungen (Quelle: eigene Grafik)

Die in der DIN EN 12965 enthaltene Lösung mit einem geschlossenen Schutz<sup>4</sup> ist in der betrieblichen Praxis noch kaum bekannt.

#### 4.2.5 Markenlose Produkte

Vor allem im niedrigen Leistungsbereich sind im Internet markenlose Produkte im unteren Preissegment verfügbar. Ob die gängigen Normen erfüllt werden, ist oft unklar und zumindest bei der in Abb. 10 abgebildeten Gelenkwelle ist der traktorseitige Verriegelungsstift nicht abgedeckt, so dass die geltenden Anforderungen nicht erfüllt werden (Verschlüsse dürfen nicht fangend wirken). Das aufgebrachte CE-Zeichen suggeriert dem Käufer einen Sicherheitsstandard, welcher nicht vorhanden ist. Es ist in der Regel eine wenig sorgsam erarbeitete Produktbeschreibung beigefügt und die Produktqualität scheint eher gering zu sein.



Abbildung 10: Beispiel für ein markenloses Produkt (Quelle: eigene Grafik)

#### 4.2.6 Leistungsklassen von Gelenkwellen

Bei Gelenkwellen wird grob in Standard-Gelenkwellen, Weitwinkel-Gelenkwellen und Gelenkwellen mit Kupplungen differenziert. Es sind unterschiedliche Leistungsklassen je nach dem zu übertragenden Drehmoment verfügbar. Unterschiedliche Profilrohre kommen zum Einsatz (vgl. Abb. 11 und Abb. 12). Je nach Einsatzzweck sind Kupplungen (z. B. Reibkupplungen, Freilaufkupplungen, Schaltkupplungen) verfügbar. Diese sind Teil der Gelenkwelle.

---

<sup>4</sup> vgl. <https://www.walterscheid.com/blog/mehr-als-nur-norm-walterscheid-gelenkwellenschutz>



Abbildung 11: Beispiel für Leistungsklassen der Fa. Walterscheid (Quelle: eigene Grafik)



Abbildung 12: Beispiel für Leistungsklassen der Fa. Bondioli&Pavesi (Quelle: eigene Grafik)

## 4.2.7 Kennzeichnung

Damit die Gelenkwelle eindeutig identifiziert werden kann, sind Kennzeichnungen notwendig. Je nach Art der Kennzeichnung (Gravur oder Aufkleber) und Gebrauchsspuren ergibt sich eine unterschiedliche Qualität der langfristigen Lesbarkeit der Kennzeichnung.

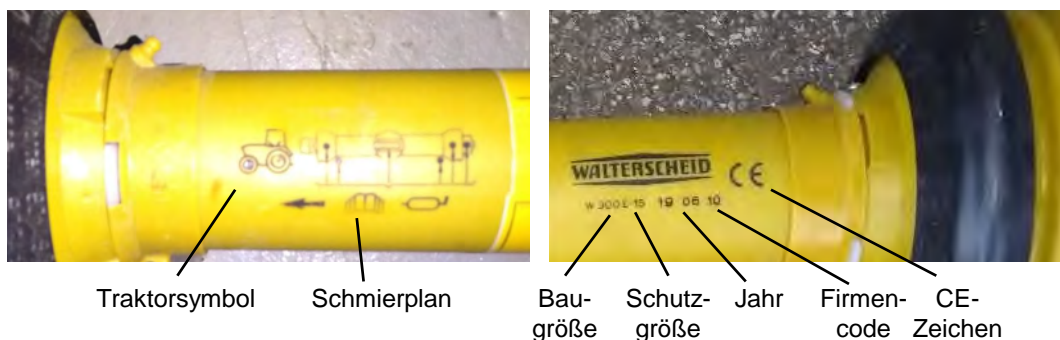


Abbildung 13: Beispiel für die Kennzeichnungen auf einer Gelenkwelle der Fa. Walterscheid (Quelle: eigene Grafik)

## 4.2.8 Schmierintervalle

Einzelne Bauteile von Gelenkwellen sind Verschleißteile. In den Kreuzgelenken werden Nadellager verbaut und zwischen Gelenkwelle selbst und dem Schutz befindet sich in der Regel ein Gleitring aus Kunststoff. Dass die Lager der Kreuzgelenke geschmiert werden müssen, ist dem einigermaßen technisch versierten Anwender klar. Dass zwischen Gelenkwelle und Schutz auch eine Relativbewegung vorhanden ist, wird oft nicht berücksichtigt.

Je nach Leistungsklasse sind Schmierintervalle von 8 – 250 Stunden (Nockenschaltkupplungen auch 500 Stunden) vorgegeben. Diese große Spannweite ist für den Anwender schwer zu überschauen, insbesondere wenn unterschiedliche Gelenkwellen im Einsatz sind.

## 4.3 Produktbewertungen

Ziel des Vorhabens ist die Identifikation von Ansatzpunkten und die Gewinnung von Ideen für die weitere Verbesserung der Arbeitssicherheit bei der Verwendung von Gelenkwellen, insbesondere durch die Normung. Die Bewertung muss dabei systematisch erfolgen und es müssen bewertbare Kriterien definiert werden.

### 4.3.1 Bewertungssystematik

Aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Arbeitspakete wurde die folgende Prüfliste „Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Gelenkwellen“ erarbeitet. Die Prüfliste bildet den Prozess der Gelenkwellenverwendung ab. Neben allgemeinen Angaben zum Produkt wird zunächst der Kopplungsvorgang auf der Seite des Traktors betrachtet, daran anschließend auf der Maschinenseite. Da oft unterschiedliche Sicherungs- und Schutzeinrichtungen verwendet werden und auch die Bedingungen variieren, kann es hier bei einer Gelenkwelle zu unterschiedlichen Einschätzungen kommen. Bei dieser Betrachtung stehen Kraftaufwand und Einfachheit der Betätigung im Vordergrund. Es folgt eine Beurteilung der jeweiligen Schutzeinrichtungen an. Die Aspekte von Wartung, Bedienungsanleitung, Kennzeichnung und Instandsetzung schließen sich an.

#### 4.3.1.1 Prüfliste „Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Gelenkwellen“

##### A) Kopplungsvorgang schlepperseitig

- Wie hoch ist der Kraftaufwand zur Kopplung?
- Ist Einhandbedienung möglich (unter Berücksichtigung des Gelenkwellengewichts)?
- Kann auch mit Handschuhen gearbeitet werden?
- Kann die Schiebehülse formschlüssig bewegt werden?
- Hat die Schiebehülse eine Einrastmechanik?
- Sind die Abmessungen des Verriegelungsstiftes so, dass keine unzumutbare Flächenpressung entsteht?

Sind die Betätigungsteile eindeutig gekennzeichnet und sichtbar?

Sind die Freiräume ausreichend (auch für 99. Perzentil Hände)?

##### B) Kopplungsvorgang geräteseitig

- Wie hoch ist der Kraftaufwand zur Kopplung geräteseitig?
- Ist Einhandbedienung geräteseitig möglich (unter Berücksichtigung des Gelenkwellengewichts)?
- Kann geräteseitig auch mit Handschuhen gearbeitet werden?
- Kann die Schiebehülse geräteseitig formschlüssig bewegt werden?
- Hat die Schiebehülse geräteseitig eine Einrastmechanik?
- Sind die Abmessungen des Verriegelungsstiftes geräteseitig so, dass keine unzumutbare Flächenpressung entsteht?
- Sind die Betätigungsteile geräteseitig eindeutig gekennzeichnet und sichtbar?
- Sind die Freiräume geräteseitig ausreichend (auch für 99. Perzentil Hände)?

##### C) Schutz der Gelenkwelle

- Ist der Schutz wirksam, d. h. werden die rotierenden Teile ausreichend abgedeckt?
- Wird der vorhersehbare Missbrauch berücksichtigt?
- Werden Manipulationen durch den Nutzer berücksichtigt?
- Gibt es konstruktiv schwach ausgelegte Bauteile, bzw. Bauteile aus Material, welches stark altert?

##### D) Gelenkwellenschutztrichter geräteseitig

- Ist der Schutz wirksam, d. h. werden die rotierenden Teile ausreichend abgedeckt?
- Wird der vorhersehbare Missbrauch berücksichtigt?

- Werden Manipulationen durch den Nutzer berücksichtigt?
- Gibt es konstruktiv schwach ausgelegte Bauteile, bzw. Bauteile aus Material, welches stark altert?

#### E) Wartung (Schmierung)

- Wie gut sind die Schmiernippel im eingebauten Zustand zu erreichen / zu bedienen?
- Wie gut sind die Schmiernippel im ausgebauten Zustand zu erreichen / zu bedienen?
- Wartungsintervalle?

#### F) Bedienungsanleitung

- Ist eine spezifische Bedienungsanleitung beigefügt oder eine eher allgemeine, welche mehrere Produkte bzw. Produktklassen umfasst?
- Wird die Verwendung, Wartung, Längenanpassung usw. konkret beschrieben. Gibt es Hinweise zur Instandhaltung / Ersatzteilliste?
- Sind die Texte und Bilder verständlich und fehlerfrei?

#### G) Kennzeichnung

- Wird eindeutig die Montagerichtung gekennzeichnet (Schlepper – Maschine)?
- Wird die Leistungsklasse angegeben?
- Wird der nutzbare Winkelbereich (sowohl Betrieb als auch in Transportstellung) angegeben?
- Sind die Kennzeichnungen sichtbar und dauerhaft (auch bei ungünstigen Lagerbedingungen)?
- Werden selbsterklärende Piktogramme verwendet?

#### H) Reparaturmöglichkeiten (Instandsetzung)

- Können Verschleißteile getauscht werden? Auch Abschirmungen?
- Montagefreundlichkeit: Können Ersatzteile leicht montiert werden (z. B. Schrauben statt Schnappverbindungen, verwechslungssichere Positionen, kein Spezialwerkzeug)?
- Identifikation: Können die Einzelteile mit Teilenummern in einer Explosionszeichnung identifiziert werden?

#### I) Werkstatthandbuch / Reparaturanleitung

- Ist das Werkstatthandbuch vollständig?
- Ist das Werkstatthandbuch verständlich?



Ziel der Bewertung war es, Hinweise für die weitere Optimierung von Gelenkwellen zu erhalten. Aus den Aussagen der Händler und Anwender konnte abgeleitet werden, dass es zwei wesentliche Aspekte zur Sicherheit bei Gelenkwellen gibt. Zunächst sind es die rein konstruktiven Aspekte der Produktsicherheit, welche auch im Vorschriftenwerk verankert sind. Weiterhin von Bedeutung sind die Aspekte der Gebrauchstauglichkeit. Kann eine Gelenkwelle nicht einfach verwendet werden, werden oft Schutzeinrichtungen demontiert bzw. nicht wieder angebracht, um aus Sicht des Anwenders die Benutzung zu vereinfachen.

Die in der Prüfliste enthaltenen Kriterien wirken sich unterschiedlich stark auf die Sicherheit („safety“) und die Gebrauchstauglichkeit („usability“) aus. So ist beispielsweise das Kriterium „Kraftaufwand zur Koppelung“ sehr einflussstark auf den Aspekt usability, beeinflusst jedoch safety nur gering. Der Differenzierung in safety und usability liegen folgende Annahmen zugrunde:

Die Forderung nach safety bedingt Schutzeinrichtungen, die die Gelenkwelle gegenüber der Umwelt und dem Zugriff durch den Anwender mechanisch kapseln. Eben jene Kapselung erschwert dem Anwender manche Arbeitsschritte im Umgang mit der Gelenkwelle.

Durch die Manipulation des Produkts wie z. B. Veränderung des Schutzes zur besseren Erreichbarkeit oder Fehlanwendung, wie z.B. Ablage am Gerät mittels der Rückhalteketten, entsteht mittelfristig ein Einfluss auf die Produktsicherheit. Mangelnde usability bewirkt so eine Reduzierung von safety.

Um diese Differenzierung innerhalb der Prüfliste abbilden zu können, erfolgt eine gewichtete Bewertung der Kriterien. Dabei wird die Bewertung eines Kriteriums mit je einem Gewichtungsfaktor für safety und usability hinterlegt. Zur Bewertung der Kriterien können 0 bis 4 Punkte vergeben werden wobei die höhere Punktzahl das bessere Ergebnis darstellt. Die Gewichtung erfolgt mittels der Faktoren 1 bis 5, wobei der höhere Gewichtungsfaktor eine höhere Relevanz repräsentiert. Wird das Kriterium „Kraftaufwand zur Koppelung“ beispielsweise mit „3 geringer Kraftaufwand“ bewertet, erfolgt die Anwendung der Gewichtungsfaktoren „5“ für usability und „3“ für safety. Die Punktergebnisse für dieses Kriterium sind demnach 15 Punkte für usability und 9 Punkte für safety.

Die Punktergebnisse aller Kriterien einer Gelenkwelle können addiert und in Relation zur erreichbaren Punktzahl als prozentualer Wert dargestellt werden. Durch dieses Vorgehen wird für jede Gelenkwelle je ein Gesamtergebnis in Form eines score für safety und usability ermittelt. Weiterhin können die Punktergebnisse gleicher Kriterien zu Mittelwerten zusammengefasst werden, um die Bewertung bzw. Erfüllung eines Kriteriums im Feld der getesteten Gelenkwellen darzustellen. Die Darstellung dieses Mittelwertes erfolgt dabei einmal gewichtet als Anteil am gesamten score um den Einfluss des Ergebnisses eines Kriteriums im Gesamtumfeld



darzustellen. Und einmal ungewichtet in Gewichtungsgruppen eingeteilt, um direkte Rückschlüsse aus den ungewichteten Bewertungen ziehen zu können und trotzdem eine Hierarchie der Relevanz beizubehalten.

Die Einschätzung von Gewicht des Kriteriums und Erfüllung erfolgte in einem Expertenworkshop im Rahmen der Bewertung von Gelenkwellen. Es handelt sich um eine pragmatische Bewertung, welche Unterschiede zwischen den Gelenkwellen deutlich macht und als Ausgangspunkt für Verbesserungsvorschläge dient. Durch die differenzierte und gewichtete Bewertung kann die Relevanz der Verbesserungsvorschläge abgeschätzt werden.

### 4.3.2 Durchführung der Bewertung

In die Bewertung wurden insgesamt 31 Gelenkwellen von 7 Herstellern einbezogen. Das abgedeckte Leistungsspektrum der untersuchten Gelenkwellen reicht von Anwendungen an Kleingeräten mit 12 kW bis zu leistungsintensiven Anwendungen mit bis zu 420 kW. Weiterhin sind technische Ausstattungen wie Überlastkupplungen, Freiläufe, Weitwinkelgelenke u.a. unter den untersuchten Gelenkwellen vertreten. Somit konnte ein repräsentativer Produktquerschnitt in die Bewertung aufgenommen werden.

### 4.3.3 Ergebnisse der Bewertung und Schlussfolgerungen

Für jede der untersuchten 31 Gelenkwellen wurde zunächst ein safety- und ein usability-score ermittelt. Deutlich wird, dass die getesteten Gelenkwellen weder für safety- noch für usability-scores deutlich über 60% erzielen. Die ermittelten scores für die Gelenkwellen dienen ausschließlich der Einordnung im gesamten Feld der Bewertungen und zeigen Gelenkwellen mit gehäuften negativen Bewertungen auf. Ebenso wird klar, dass Gelenkwellen, welche gute safety-Ergebnisse, zeigen häufig auch gute usability-Ergebnisse erzielen. Dieser Zusammenhang darf jedoch nicht den Eindruck erwecken, dass diese Korrelation auf einzelne Kriterien übertragbar ist, sondern ist vielmehr ein Indikator für Gelenkwellen gesamtheitlich guter Qualität. Starke Differenzen zwischen safety- und usability-Ergebnissen lassen Beschädigungen oder Manipulationen an den Schutzeinrichtungen vermuten. In Abb. 14 sind die Ergebnisse im Überblick enthalten.

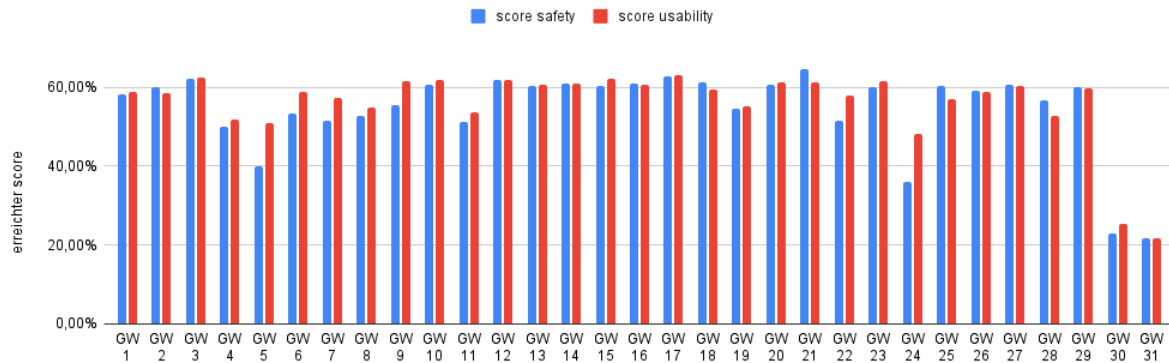


Abbildung 14: Gesamtergebnis der Gelenkwellenbewertung (Quelle: eigene Grafik)

Die gewichtete Bewertung der einzelnen Kriterien hinsichtlich safety und usability bildet eine Datengrundlage, aus der Informationen und Zusammenhänge für die Weiterentwicklung der Normung abgeleitet werden können. Problembereiche, die ihre Ursache in Verarbeitungsqualität und Wertigkeit von Materialien und demnach in den Herstellungskosten haben, sind überwiegend den günstigen Produkten und sogenannten „Markenlos“-Produkten zuzuordnen.

Die im Mittel erreichten gewichteten Bewertungen der Kriterien zeigt ihre Einflussstärke hinsichtlich safety und usability. Gleich starke Ausprägungen sind nur bei einigen Kriterien erkennbar, wie beispielsweise der Vollständigkeit und Verständlichkeit der Handbücher und Werkstatthandbücher. Deutlicher stellt sich heraus, dass usability und safety teilweise konkurrieren, was sich durch unterschiedliche Balkenlängen zeigt. Dies ist beispielsweise für die Kriterien des Schutzes der Gelenkwelle und am Gerät der Fall und zeigt sich durch eine unterschiedliche Balkenlänge (vgl. Abb. 15).

mittlere Ergebnisse der Einzelkriterien für safety und usability, sortiert nach safety

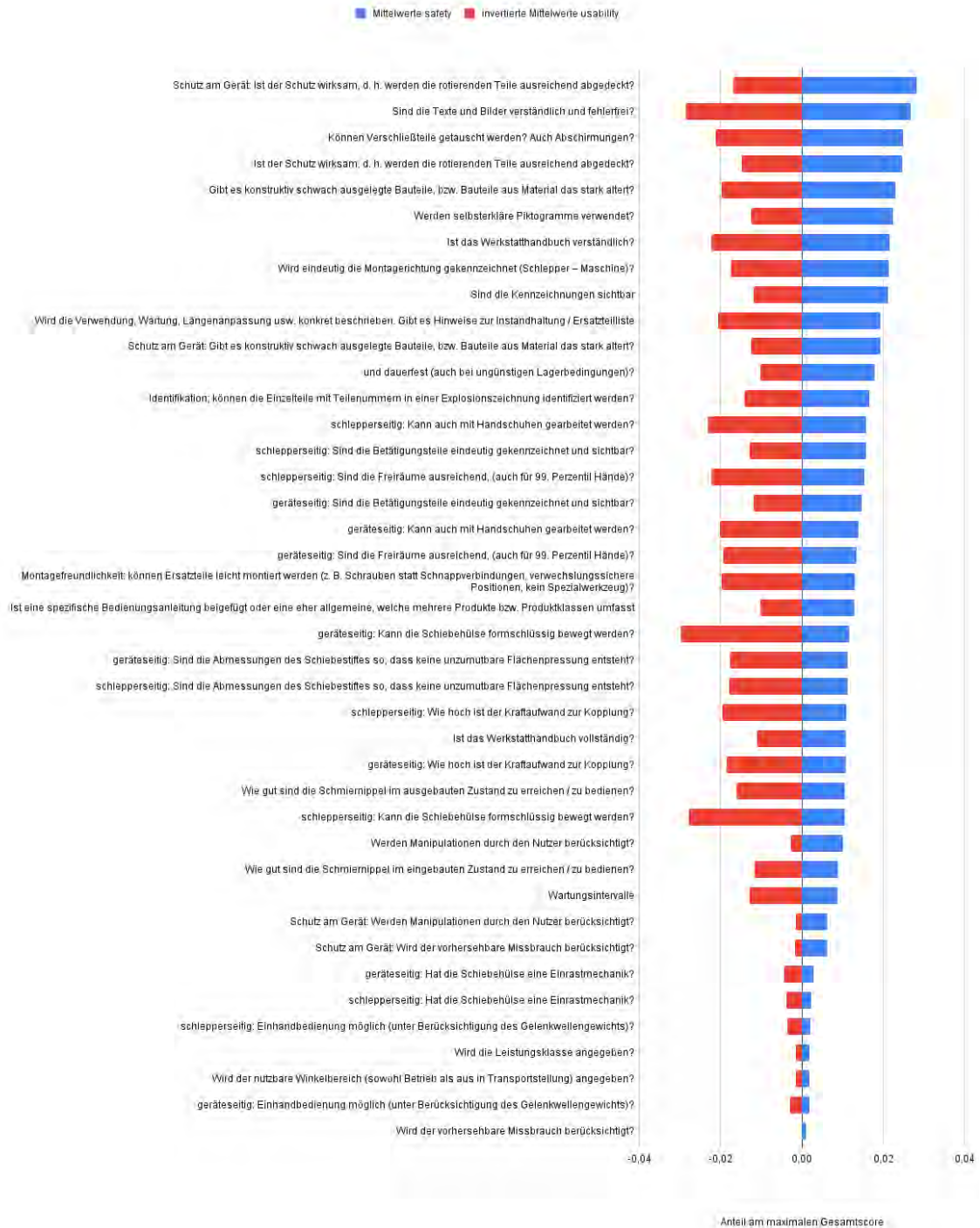


Abbildung 15: Übersicht der Bewertung der einzelnen Kriterien (Quelle: eigene Grafik)

Um einen weiteren Blickwinkel zu erlangen, können die Ergebnisse auch ungewichtet betrachtet werden. Hierbei werden die mittleren Bewertungen verschiedener Kriterien gleicher Gewichtung gegenübergestellt. In diesem Vergleich kann erkannt werden, welche Kriterien überwiegend als gut oder schlecht erfüllt bewertet werden konnten. Dies lässt eine Aussage darüber zu, wo Defizite vorhanden sind und welche Änderungen den größten Einfluss haben werden. Betrachtet man exemplarisch das Kriterium „Schutz am Gerät: Gibt es konstruktiv schwache Ausführungen bzw. Materialien, welche stark altern?“, stellt es sich als Kriterium mit höchstem Potenzial für Verbesserungen dar. Es hat die höchste Gewichtung für safety und erzielt bisher nur rund die Hälfte der möglichen Punkte (vgl. Abb. 16). Das erkennbare Potenzial ist demnach eine knappe Verdoppelung der Bewertung eines Kriteriums der Gewichtung 5.

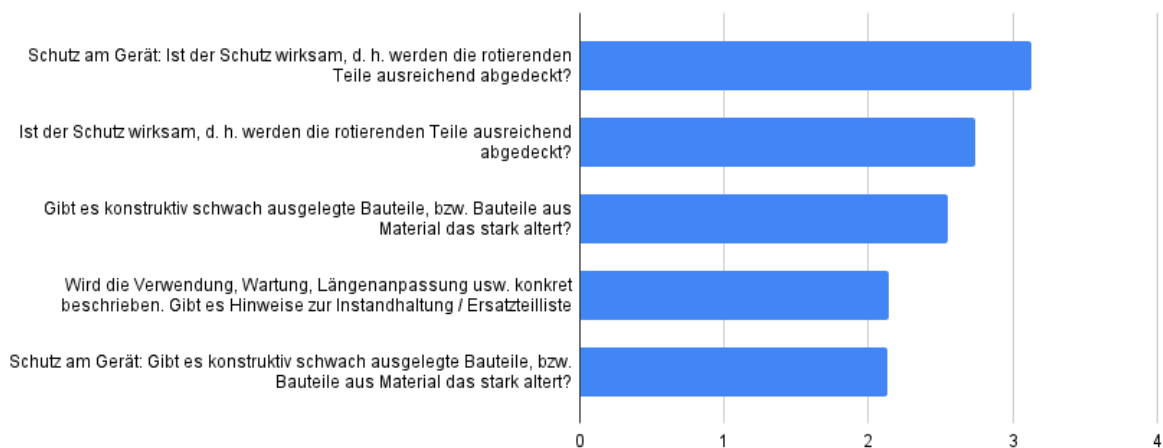


Abbildung 16: Exemplarische Übersicht zu Gesamtergebnis „Gewichtung 5“ (Quelle: eigene Grafik)

Nachfolgend werden die Kriterien mit dem größten Verbesserungspotenzial hinsichtlich safety absteigend nach ihrer Wichtigkeit bezeichnet:

- Gewichtung 5:  
Schutz am Gerät. Hier werden verstärkt schwache Konstruktionen oder stark alternde ungeeignete Materialien vorgefunden.
- Gewichtung 4:  
Angabe von nutzbarem Winkelbereich und übertragbarer Leistung.  
Angaben zum nutzbaren Winkelbereich fehlen überwiegend komplett.  
Angaben zur übertragbaren Leistung sind überwiegend nur in Form einer herstellerinternen Leistungsklasse, welche in der Typbezeichnung auftauchen kann, gegeben. Überlastete Gelenkwellen unterliegen stark erhöhtem Verschleiß. Ein Versagen unter Last kann den Gefahrenbereich stark vergrößern und es kann zu Folgeschäden an Mensch und Maschine kommen.

- Gewichtung 3:  
Missbrauch des Schutzes. Es werden nur in geringem Maße Vorkehrungen getroffen, um missbräuchliche Nutzung, wie beispielsweise Besteigen zu verhindern und somit Beschädigungen vorzubeugen.
- Gewichtung 2:  
Einrastmechanik der Schiebehülse. Mit dieser Mechanik sind nur sehr wenige Gelenkwellen ausgestattet, wodurch der Koppelvorgang bei engen Platzverhältnissen und hohen Gelenkwellengewichten erleichtert wird.
- Gewichtung 1:  
Einhandbedienung. Eine einhändige Bedienung ist nur sehr selten möglich, da die Gelenkwellengewichte zu hoch, die umgreifbaren Durchmesser zu groß oder die Verriegelungen nicht gleichzeitig bedienbar sind.

Die größten Verbesserungspotenziale für usability, absteigend nach Wichtung sind:

- Gewichtung 5:  
Erreichbarkeit der Schmierstellen in eingebautem Zustand. Diese ist in den meisten Fällen nur sehr schlecht gegeben und der Anwender sieht sich gezwungen, die Gelenkwelle abzukoppeln oder Schmierintervalle nicht einzuhalten. Unter Umständen sind Anwender motiviert, die Schutzeinrichtungen zu manipulieren, um die Erreichbarkeit zu verbessern.
- Gewichtung 4:  
Wartungsintervalle. Diese sind häufig sehr kurz und schlecht zu überprüfen. Zudem ist die Wartung und das Abschmieren sehr zeitaufwändig, da die Zugänglichkeit der Wartungsstellen in eingebautem Zustand schlecht gegeben ist.
- Gewichtung 3:  
Angabe von nutzbarem Winkelbereich und übertragbarer Leistung. Angaben zum nutzbaren Winkelbereich fehlen überwiegend komplett. Angaben zur übertragbaren Leistung sind überwiegend nur in Form einer herstellerinternen Leistungsklasse, welche in der Typbezeichnung auftauchen kann, gegeben. Die Auswahl einer zur Anwendung passenden Gelenkwelle aus dem Bestand wird erschwert und der Anwender ist unter Umständen gezwungen, nach Augenmaß zu handeln oder zu recherchieren.
- Gewichtung 2:  
Einhandbedienung. Eine einhändige Bedienung ist nur sehr selten möglich, da die Gelenkwellengewichte zu hoch, die umgreifbaren Durchmesser zu groß oder die Verriegelungen nicht gleichzeitig bedienbar sind.
- Gewichtung 1:  
Missbrauch des Schutzes. Es werden nur in geringem Maße Vorkehrungen

getroffen, um missbräuchliche Nutzung, wie beispielsweise Besteigen zu verhindern und somit Beschädigungen vorzubeugen.

Die in der Prüfliste enthaltenen Kriterien weisen einen ungleichen Einfluss auf Anforderungen der Sicherheit („safety“) und der Benutzerfreundlichkeit („usability“) auf. Dieser Differenzierung in safety und usability liegt folgende Annahme zugrunde: Zunächst erzeugt eine mangelnde usability eine Unzufriedenheit mit dem Produkt bzw. Teilen davon. Durch die Manipulation des Produkts, wie z. B. Veränderung des Schutzes zur besseren Erreichbarkeit oder Fehlanwendung, wie z. B. Ablage am Gerät mittels der Sicherungsketten der Schutztrichter, entsteht mittelfristig ein Einfluss auf die Produktsicherheit. Mangelnde usability bewirkt so eine Reduzierung von safety.

Die Einschätzung von Gewichtung des Kriteriums und Erfüllung erfolgte in einem Expertenworkshop im Rahmen der Bewertung von Gelenkwellen. Es handelt sich um eine pragmatische Bewertung, welche Unterschiede zwischen den Gelenkwellen deutlich macht und als Ausgangsbasis für Verbesserungsvorschläge dient.

Zur Kriterienerfüllung wurden jeweils 0 bis 4 Punkte vergeben, wobei die höhere Punktzahl das bessere Ergebnis darstellt, d. h. das Kriterium wird besser erfüllt. Die Gewichtung erfolgt durch die Faktoren 1 bis 5, wobei der höhere Gewichtungsfaktor eine höhere Relevanz im Hinblick auf safety und usability bedeutet.



#### 4.3.4 Ergänzende Beobachtungen

Enge räumliche Bedingungen (vgl. Abb. 17) fördern den Wunsch nach Erleichterungen bei Montage, Demontage und Wartung der Gelenkwelle. Durch die Demontage der Schutzeinrichtungen wird diese Erleichterung teilweise realisiert.



Abbildung 17: Beispiele für die räumliche Enge traktorseitig (Quelle: eigene Aufnahmen)

Problematisch ist oft das hohe Gewicht von Gelenkwellen im oberen Leistungsbereich, was die Montage erschwert. Die Gelenkwelle kann kaum mit einer Hand gehalten werden. Mit der zweiten Hand muss die Verriegelung betätigt werden. Die Verriegelungseinrichtung selbst ist oft schwergängig und kann kaum einhändig betätigt werden. Notwendig ist eine Optimierung der Form der Verriegelungseinrichtung (Stifte oder Schiebehülsen).



Abbildung 18: Verriegelungseinrichtungen (Quelle: eigene Grafik)

Harte Kanten des Schutzes bergen ein Verletzungsrisiko bzw. sie verursachen mindestens unangenehme Druckstellen. Besser sind elastische Materialien.



Abbildung 19: Ausprägung der Kanten (Quelle: eigene Aufnahmen)

Die Beschriftung (Typbezeichnung, Bedienungsanleitung, Gefahrenhinweise) ist oft nicht dauerhaft angebracht (vgl. Abb. 20). Haltbarer als Aufkleber sind eingravierte Zahlen bzw. Symbole.



Abbildung 20: Beispiel für eine wenig dauerhafte Kennzeichnung (Quelle: eigene Aufnahme)

Eine an sich gute Idee besteht darin, maschinenseitig (d. h. am Anbaugerät) ein „Fenster“ zur Betätigung des Verriegelungsstifts anzubringen. Durch eine wenig dauerhafte Lösung (dünne Kunststoffhalterung) besteht die Gefahr, dass sich der Verschluss löst und verloren geht. Das Problem betrifft nicht die Gelenkwelle selbst, gehört jedoch zu einer Systembetrachtung.





Abbildung 21: Beispiel für Schutztopf mit Fenster (Quelle: eigene Grafik)

Wenig geeignete Ablagemöglichkeiten an der Maschine begünstigen, dass Gelenkwellen auch maschinenseitig demontiert werden.

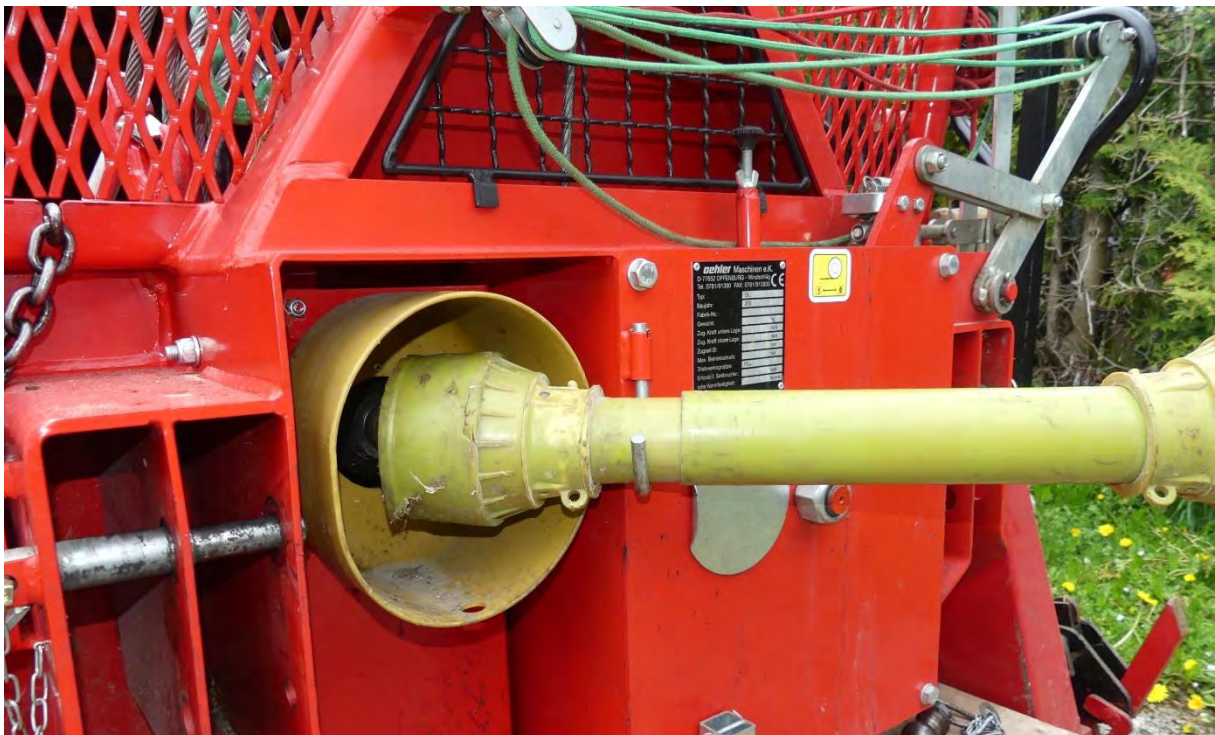


Abbildung 22: Beispiel für eine Gelenkwellenablage (Quelle: eigene Aufnahme)

Nachfolgend werden die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst:

- Neue Gelenkwellen entsprechen dem Stand der Technik, problematisch im Hinblick auf die Arbeitssicherheit ist der Altbestand. Auch bei nicht eingehaltenen Vorgaben der BetrSichV oder der Vorschriften der SVLFG ergeben sich nicht akzeptable Bedingungen. Werden Gelenkwellen von Hobbyanwendern verwendet, besteht oft Unkenntnis zum sachgerechten Einsatz. Aufgrund der geringen Nutzungszeiten dürfte hier ein hoher Altbestand an Gelenkwellen vorhanden sein.
- Ein zentrales Problem ist die mangelnde Instandsetzung insbesondere der Schutzeinrichtungen. Erschwert wird dieses durch eine nicht einfache Ersatzteilbeschaffung (eher im unteren Preis- und Leistungssegment).
- Gelenkwellen zum Übertragen großer Drehmomente sind teuer. Sie werden meist entsprechend den Vorgaben gewartet.
- Durch fehlende bzw. ungeeignete Ablagen maschinenseitig wird der Verschleiß der Gelenkwellen begünstigt.
- Handhabungsdefizite durch enge Bauräume und schwergängige Verriegelungen reduzieren die Schwelle für eine Fehlanwendung, d. h. eine Verwendung ohne oder mit manipulierten Schutzeinrichtungen.
- Bedienungsanleitungen sind oft wenig spezifisch und auch unübersichtlich. Sie sind somit nicht nutzerfreundlich. Es scheint so, dass die Hersteller mit wenig unterschiedlichen Bedienungsanleitungen viele Produkte in vielen Sprachen bzw. Ländern bedienen wollen. Aus diesem Grund kann eine Bedienungsanleitung über 60 Seiten umfassen. Die Lesbarkeit wird beispielsweise dadurch erschwert, dass die Bedienungsanleitung nicht nach Sprachen gegliedert ist, sondern nach Themen. Es entsteht der Eindruck, dass die Bedienungsanleitung als Formsache der Konformität gesehen wird unter der Annahme, dass sie kaum ein Benutzer verwendet. Anleitungen, wie Schutzeinrichtungen demontiert und auch wieder montiert werden, sind enthalten, jedoch sehr rudimentär ohne konkrete Angabe von Ersatzteilnummern (da eben eine Bedienungsanleitung oft viele unterschiedliche Gelenkwellen abdeckt).
- Seitens der Hersteller wäre eine umfassendere Berücksichtigung der vorhersehbaren Fehlanwendungen seitens der Anwender möglich und hilfreich.

## 4.4 Empfehlungen für die Normung

Nachfolgend werden Vorschläge zur Verbesserung der Sicherheit von Gelenkwellen aus den vorangegangenen Analysen zusammengestellt. Die Vorschläge betreffen Beschaffenheitsanforderungen an Gelenkwellen aber auch Anforderungen an die sichere Verwendung. Die Vorschläge können zur Weiterentwicklung der DIN EN 12965:2020 verwendet werden. Es werden insbesondere Vorschläge aufgeführt, welche bislang noch nicht oder noch nicht umfassend in der Norm enthalten sind. Auch zur Weiterentwicklung von Produktnormen zu einzelnen Maschinen (Anbaugeräte) sind Vorschläge enthalten.

### 4.4.1 Kopplungsvorgang

Kopplungsvorgänge (Montage) erleichtern durch

- (dauerhaft) elastische Materialien
- Verriegelungshülse formschlüssig, nicht nur reibschlüssig ausführen, Verriegelungsstift an die Form des Fingers anpassen (konkav statt konvex), vgl. Abb. 18.
- definierte und ausreichend große Freiräume, so dass auch Personen mit (vgl. Abb. 23)
- Form der Verriegelungseinrichtungen leicht greifbar ausführen (vgl. Abb. 24)

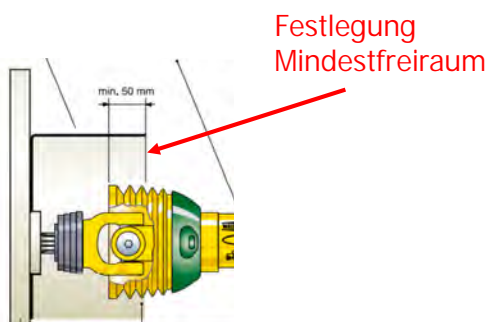


Abbildung 23: Festlegung Mindestfreiraum (Quelle: eigene Grafik)



Abbildung 24: INAIL-Verbesserungsvorschlag zur Form der Verriegelung (Quelle: eigene Grafik)

Die häufig anzutreffenden Karabinerhaken sind schwer zu betätigen, insbesondere das Lösen der Verbindung ist diffizil. Mit Handschuhen oder bei Kälte ist es nochmals beschwerlicher bis nicht möglich. Durch die Verwendung von leichtgängigeren Karabinerhaken kann die Usability verbessert werden.



Häufig verwendete Version des Karabinerhakens (Simplex)



Einfacher zu benutzende Version eines Karabinerhakens

Abbildung 25: Karabinerhaken (Quelle: eigene Grafik)

#### 4.4.2 **Wartung**

Die Wartung sollte durch lange Abschmierintervalle und gut erreichbare Schmierstellen erleichtert werden. Hier könnte z. B. eine Lösung, bei welcher der Schutztrichter zusammen mit dem Schutzrohr abgezogen werden kann, hilfreich sein. Damit wird die Erreichbarkeit der Schmierstellen verbessert.

Durch Schmutz können Stift bzw. Schiebehülse der Verriegelung schwergängig werden bzw. klemmen. Hier sind schmutzresistente (dauer geschmierte) Systeme wünschenswert.

### 4.4.3 Instandsetzung

Die Ersatzteilbeschaffung (der Schutzeinrichtungen) erleichtern, z. B. durch eine dauerhafte Kennzeichnung aller Teile (z. B. analog der Kennzeichnung von Kugellagern). Die Identifikation der Teile könnte auch vereinfacht werden und eine baureihenübergreifende Verwendung von Gleichteilen wäre hilfreich.

### 4.4.4 Lebensdauer der Schutzeinrichtung

Die Materialqualität der Kunststoffe optimieren, so dass sie langfristig elastisch bleiben.

Die Öse zur Befestigung der Rückhalteeinrichtung muss einer Mindestbelastung standhalten, dient aber gleichzeitig als Sollbruchstelle (nach ISO 5674).

Kettenlänge an die Gegebenheiten anpassen (Wenn sich die Kette löst, besteht die Gefahr des „Herumschlagens“).

Bei Überlast (800 N) muss sich die Verdrehsicherung, welche üblicherweise mit einer Kette realisiert wird, lösen. Dieses wird dadurch erreicht, dass sich S-Haken aufbiegen. Oft reißen bei einer unsachgemäßen Lagerung der Gelenkwelle mittels der Kette die Kunststoffösen am Gelenkwellenschutz aus. Damit wird der Schutz unbrauchbar. Durch mehrere Ösen könnte eine längere Verwendung mit mehreren „Schadensfällen“ möglich werden, wobei dadurch natürlich nicht das Problem der unsachgemäßen Lagerung behoben wird (eine Berücksichtigung der vorhersehbaren Fehlanwendung ist notwendig). Auch eine mehrfach nutzbare Überlastsicherung ist möglich, indem die Sollbruchstelle als beschädigungsfreies Element in die Kette integriert wird (vgl. Abb. 26).



Abbildung 26: Mehrfach nutzbare Überlastsicherung, ausklinkende Schutzkette, Fa. Benzi (Quelle: eigene Grafik)

#### 4.4.5 Kennzeichnung

Eine Gelenkwelle bekommt im Einsatz deutliche Gebrauchsspuren, trotzdem ist eine dauerhafte Angabe der relevanten Informationen notwendig. Aufkleber sind hier nur bedingt geeignet.

Zusatzinfos wie z. B. „Wenn Sie das lesen /sehen können, sind Sie in Lebensgefahr. Schutz fehlt!“ können hilfreich sein. Weiterhin sollte der nutzbare Winkelbereich sowie die übertragbare Leistung angegeben werden.

#### 4.4.6 Bedienungsanleitung

Bedienungsanleitungen spezifisch für jede Gelenkwelle und jede Sprache erstellen und beifügen. Damit kann auch die Unterweisung erleichtert werden

#### 4.4.7 Vorhersehbare Fehlanwendungen

Vorhersehbare Fehlanwendungen stärker berücksichtigen, d. h. die Handhabungerschwernisse bei Montage und Wartung beseitigen. Ersatzteilbeschaffung vereinfachen. Auch eine Anzeige der Grenzen der Teleskopierung wäre hilfreich.

Denkbar ist auch eine Art Indikator bei Unterschreitung der minimalen/maximalen Länge (z. B. akustisches Signal generieren durch Rattern/Kreischn/Quietschen zwischen Indikatorbauteilen unter Ausnutzung der Relativbewegung zwischen Gelenkwellschutz und Gelenkwelle)

#### 4.4.8 Gesamtsystemoptimierung Maschine (Anbaugeräte)

Die nachfolgenden Empfehlungen betreffen die Maschinen und können zur Weiterentwicklung der entsprechenden Maschinennormen verwendet werden.

An der Maschine sollten definierte Ablagemöglichkeiten vorhanden sein. Die Auflagefläche darf nicht zu punktueller oder linienförmiger Belastung führen (kein Rundmaterial oder Kette). Abb. 27 zeigt ein Beispiel.





Abbildung 27: Definierte Aufnahme am Anbaugerät (Quelle: eigene Aufnahme)

Durch definierte Einhängpunkte am Anbaugerät kann die Länge der Kette optimiert werden, so dass diese möglichst kurz ist. Beim Einschalten des Antriebs kann sich somit der Gelenkwellschutz nur wenig mitdrehen, das „Herumschlagen“ wird reduziert.

Die Gelenkwelle kann mit der Maschine fest verbaut werden (wird damit entsprechend der Maschinenrichtlinie Teil der Maschine). Dadurch kann der Bauraum an der Maschine optimiert werden. In Abb. 28. wird ein Beispiel für eine Klemmung mittels Schraube gezeigt. Die Flexibilität von Gelenkwellen wird dadurch reduziert, aber die Sicherheit wird erhöht.



Abbildung 28: Verklemmung der Gelenkwelle am Eingangsstummel der Maschine (Quelle: eigene Grafik)

Ovale oder abnehmbare Schutztopfe erleichtern die Montage (vgl. Abb. 29). Die Befestigung des Schutztopfes sollte eine möglichst große Fläche umfassen (Unterlegscheiben mit großem Durchmesser verwenden oder Unterlegringe mit Bohrungen im Lochkreis).



Abbildung 29: Schutzhelmvarianten (Quelle: eigene Grafik unter Nutzung von Materialien von IAL Fröbel)

Auch ein maschinenseitiger Schutz in geschlossener Ausführung ist eine Möglichkeit, wobei hier zu beachten ist, dass Schutzeinrichtungen nicht ohne geeignetes Werkzeug demontierbar sein dürfen. Abb. 30 zeigt ein Beispiel. Mit Werkzeug (Fa. Bondioli&Pavesi) lassen sich die Spanner leicht lösen. Anschließend ist ein Abschmieren leicht möglich.

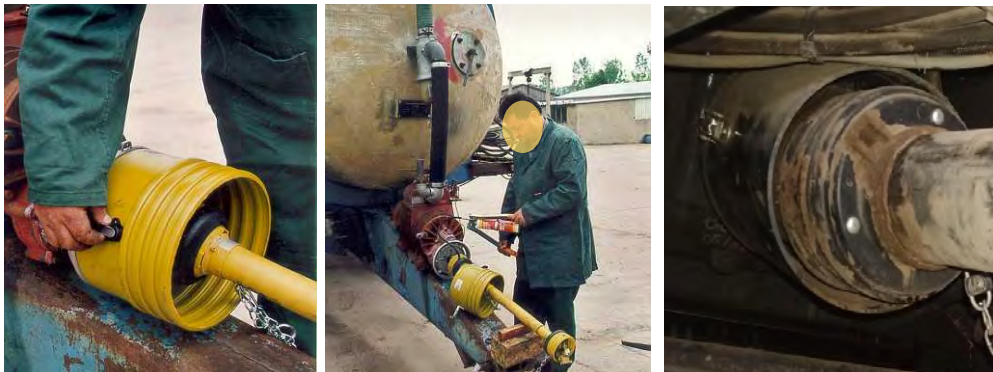


Abbildung 30: Beispiel für einen demontierbaren Schutzhelm mit Schnellverschluss maschinenseitig (Quelle: eigene Grafik unter Nutzung von Materialien von IAL Fröbel)

Weitere Empfehlungen:

- An der Maschine sollen dauerhaft Angaben angebracht werden, welche Gelenkwelle verwendet werden dürfen (z. B. Abmessungen, übertragbare Drehmomente, Drehzahlen, Zusatzeinrichtungen).
- Keine Stellteile zur Maschinensteuerung in der Nähe der Gelenkwelle
- Keine Zugänge/Aufstiege/Tritte an der Maschine in der Nähe der Gelenkwelle
- Möglichst keine Wartungsstellen in der Nähe der Gelenkwelle
- Standardisierte Position der Gelenkwelle als Grundlage der Konstruktion von Landmaschinen, z. B. definierte Position bei 3-Punkt Aufnahmen



Ein weitreichenderer Vorschlag betrifft die Kombination von Gelenkwelle und Maschine als fest miteinander verbundene Einheit. In die jeweilige Maschinennorm wird aufgenommen, dass die Gelenkwelle ein Bestandteil der Maschine ist, d. h. die Gelenkwelle wird durch entsprechende, nur mit Werkzeug zu lösende Verbindungen, an das Gerät angebunden. Das bedeutet, dass die Gerätehersteller die jeweilige Maschinennorm zur Erfüllung der Maschinenrichtlinie umzusetzen haben (z. B. Befestigungsmöglichkeit bzw. starre Befestigung der Rückhalteeinrichtung, zusätzliche Abdeckungen, Ablagemöglichkeiten für die Gelenkwelle, Vereinfachung der Wartung, Zugänglichkeit).

Logischerweise müssen die notwendigen Parameter im Zusammenhang mit dem Traktor vorher bekannt sein und bei der Auslieferung berücksichtigt werden.

#### 4.4.9 Gesamtsystemoptimierung Traktor

Auch durch die Normung der Anbindung der Gelenkwelle an den Traktor kann eine weitere Verbesserung von Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit erreicht werden. Die Anschlussparameter zum Antriebszapfen können normiert werden. Für den Dreipunktbau gibt es bereits eine Norm, welche die verschiedenen Lastkategorien definiert. Hier könnte noch die Position und der Abstand zum Gelenkwellenanschluss definiert werden.

Weiterhin könnte die Position des Zapfwellenanschlusses zum Zugmaul (Anhängen) oder zur Hitch-Kupplung (Aufsatteln) definiert werden.

Diese Normung traktorensseitig würden wiederum den Geräteherstellern helfen, die Gelenkwellen zweckmäßig zu definieren. Außerdem wäre eine solche Normung förderlich für die Entwicklung automatisch funktionierender Kopplungssysteme.

Der bereits vorhandene Schutzmechanismus zur Sitzbelegung, um die Position des Fahrers zu erkennen (OPC – Sitzreferenzschalter mit automatischer Abschaltung, bereits in VO (EU)167/2013 enthalten), sollte beim stationären Betrieb erschwert deaktiviert werden können. So ist es denkbar, dass der stationäre Betrieb an weitere Bedingungen geknüpft wird, wie z. B. eine Kameraüberwachung.

## 5 Zusammenfassung / Ausblick

Die Qualität von Konstruktion und Verarbeitung bestehender Gelenkwellen sind im Querschnitt der am Markt etablierten Produkte als gut anzusehen. Insbesondere bei Gelenkwellen im Nebenantrieb sind kaum Probleme bzw. Schadensfälle vorhanden. Das Augenmerk muss deshalb auf die Gelenkwellen im Hauptantrieb gelegt werden. Konstruktives Entwicklungspotenzial ist in der Ausführung der Schutzeinrichtungen einer Gelenkwelle zu sehen. Hier können Verbesserungen insbesondere in der Reparierbarkeit und Austauschbarkeit von Ersatzteilen erzielt werden sowie in der Zugänglichkeit des Koppelungsbereiches und der Schmierstellen. Letztere bergen durch vereinfachte Handhabung das Potenzial, die Betriebskosten einer Gelenkwelle zu senken.

Deutliche Verbesserungen können in der Informationsversorgung des Anwenders realisiert werden. Sicherheitskritische Informationen wie übertragbare Leistung, nutzbarer Winkel, maximale Teleskopierung und weitere müssen dem Anwender unverschlüsselt und direkt zugänglich gemacht werden. Schadensfälle durch Fehlanwendungen können durch diese relativ einfach umzusetzenden Maßnahmen vermindert werden.

Insgesamt kann eine Verbesserung der Produkte durch konstruktive Maßnahmen im Rahmen der Anwendung der DIN EN 12965:2020-10 „Traktoren und Maschinen für die Land- und Forstwirtschaft – Gelenkwellen und ihre Schutzeinrichtungen – Sicherheit“ festgestellt werden und positive Auswirkungen auf das Unfallgeschehen sind zu erwarten. Insbesondere in Betrieben mit Beschäftigten hat die Arbeitssicherheit einen hohen Stellenwert. Problematischer sind eher Kleinbetriebe (Familienbetriebe) und Hobbyanwender zu sehen. Hier ist oft kein Wissen um die sichere Verwendung und die notwendige Wartung von Gelenkwellen vorhanden. Durch die geringen Nutzungszeiten ist der Gelenkwellenverschleiß gering und folglich der Altbestand an Gelenkwellen hoch.

Problematisch wird gesehen, dass im Versandhandel nicht normgerechte Gelenkwellen vertrieben werden, welche auch nicht die Vorgaben der Maschinenrichtlinie erfüllen.

Durch die aktuelle Version der DIN EN 12965:2020-10 wird das Sicherheitsniveau voraussichtlich weiter angehoben. Eine weitere Verbesserung der Sicherheit kann in der umfassenderen lebenszyklusorientierten Betrachtung von vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendungen erfolgen. In die DIN EN 12965 sollten diese Aspekte deutlicher integriert werden.

Ein erster Ansatzpunkt ist die Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit. Neben der Erleichterung des Kopplungsvorgangs durch leichtgängige Sicherungselemente und

ausreichende Freiräume sowie weiche Materialien sollte die Entfernung des Schutzes durch den Anwender zur Erleichterung des Abschmierens als vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung gesehen werden. Leichtes Abschmieren im eingebauten Zustand muss möglich sein. Damit wirkt die erste Barriere im sogen. „Schweizer Käse Modell“ (vgl. Abb. 31) zuverlässig und weitere begünstigende Bedingungen verlieren ihre Relevanz. Dieser Ansatzpunkt entspricht der Rangfolge der Maßnahmen des Arbeitsschutzes, in der Technische Maßnahmen eine höhere Wirksamkeit als organisatorische bzw. personenbezogene aufweisen.

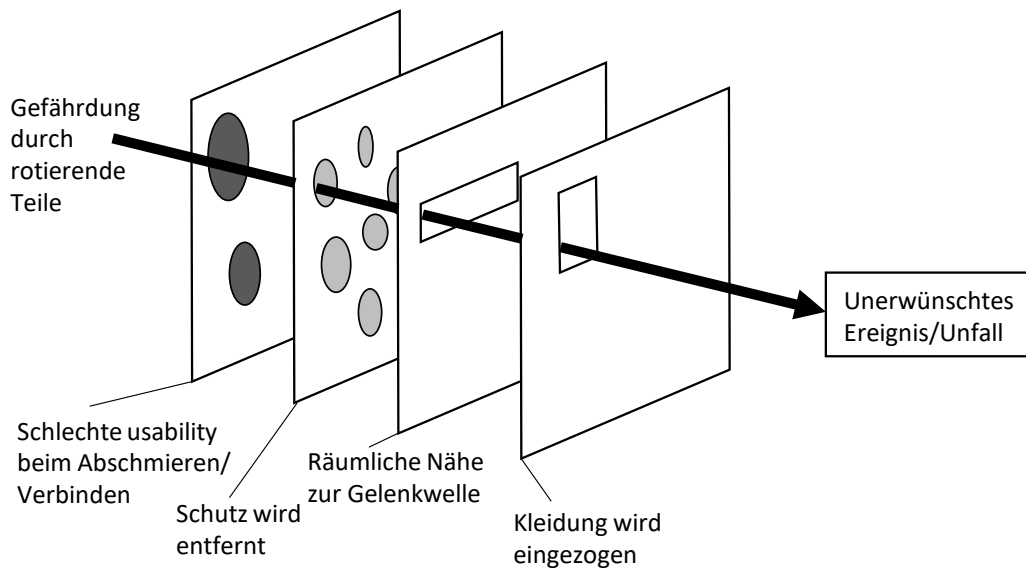


Abbildung 31: Risikoerhöhung durch ungenügende Gebrauchstauglichkeit (Quelle: eigene Grafik)

Eine weitere vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung betrifft den Betrieb der Gelenkwelle mit defekten Schutzeinrichtungen. Durch Materialermüdung oder äußere Einflüsse können Schutzeinrichtungen defekt werden. Wenig kundige Benutzer haben Schwierigkeiten mit der Beschaffung von Ersatzteilen, so dass häufig Gelenkwellen mit defekten Schutzeinrichtungen weiterverwendet werden. Durch höherwertige Materialien und eine einfache Ersatzteilversorgung könnten hier die ersten Barrieren wirksamer ausgeschaltet werden (vgl. Abb. 32)

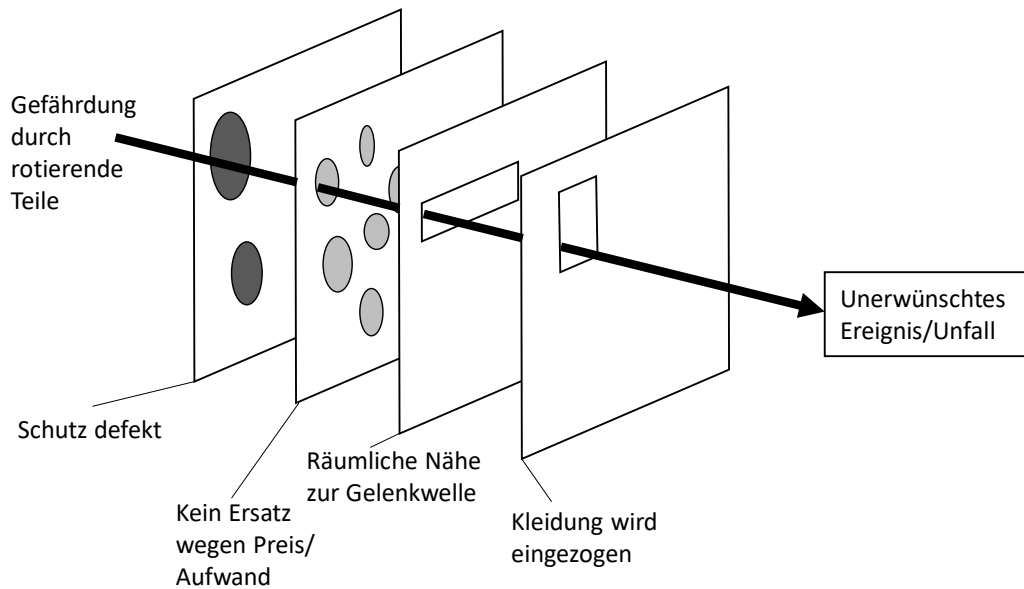


Abbildung 32: Risikoerhöhung durch geringe Materialqualität und aufwändige Ersatzteilversorgung  
(Quelle: eigene Grafik)

Neben dem Ansatz direkt an der Gelenkwelle kann auch durch eine Systemoptimierung die Sicherheit verbessert werden. Dieses kann erreicht werden, wenn Maschinen (Anbaugeräte) spezifischer für den Gelenkwellenbetrieb ausgelegt werden. In die jeweiligen Normen könnten einheitliche Anforderungen aufgenommen werden.