

## TECHNISCHE MITTEILUNG

# Notwendigkeit, Techniken und Vorteile der Rohdaten-Sensorfusion bei FAS und autonomen Fahrzeugen für Erkennung und Wahrnehmung

## Ein Überblick

In dieser Technical Note wird die Notwendigkeit einer auf Rohdaten-Sensorfusion basierenden Wahrnehmungslösung für Fahrerassistenzsysteme (FAS) und autonome Fahrzeuge erläutert. Das vorliegende Dokument beschreibt, Grundlagen, Konfigurationen und Funktionsweise der Sensorfusion und veranschaulicht eine praxisnahe Anwendung der Sensorfusion bei FAS mittels Zustandsschätzung. Abschließend wird eine heute auf dem Markt erhältliche Lösung vorgestellt.

## Was sind Sensorfusion und Wahrnehmung?

Bei der Sensorfusion handelt es sich um die Zusammenführung von Daten mindestens zweier Sensoren. Bei autonomen Fahrzeugen bezeichnet die Wahrnehmung die Verarbeitung und Auslegung von Sensordaten zur Erkennung, Identifizierung, Klassifizierung und Nachverfolgung von Objekten. Dank Sensorfusion und Wahrnehmung ist ein autonomes Fahrzeug in der Lage, ein 3D-Modell der Umgebung zu entwickeln und an die Steuereinheit weiterzugeben.

## Wozu dient eine Sensorfusion bei FAS und autonomen Fahrzeugen?

Die aktuellen Sensorfunktionen bei FAS und autonomen Fahrzeugen basieren auf einer Fusion auf Objektebene – d. h. jeder Sensor (z. B. Radar, Kamera, LiDAR) identifiziert und klassifiziert Objekte einzeln, wobei auch die Grenzen jeder dieser Technologien zum Tragen kommen. Das Ergebnis ist eine insgesamt schlechte Leistung und suboptimal, da kein einzelner Sensor zur Erkennung aller Objekte bei allen Bedingungen in der Lage ist. Jeder Sensor hat Grenzen; Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die jeweiligen Stärken und Schwächen.

**Tabelle 1 – Vergleich der Sensoren für FAS und autonomes Fahren**

	Kamera	Radar	LiDAR
Tiefenwahrnehmung	Schlecht	Am besten	Gut
Auflösung	Am besten	Schlecht	Besser
Kosten	Gering	Gering	Hoch
Leistung bei schlechtem Wetter	Schlecht	Am besten	Gut
Funktionen	Kann Schilder, Fahrbahn, Farben (RGB) erkennen	Hohe Reichweite, geringe Auflösung	Mittlere Reichweite, hohe Auflösung

Eine Kamera kann RGB-Daten sehr gut erkennen, Objekte identifizieren und unterscheiden und besitzt eine hohe Auflösung. Allerdings ist die Leistung von Kameras bei schlechtem Wetter (wie Nebel, Schnee, Regen oder auf das Objektiv gerichtetem Sonnenlicht) eher schlecht. Auch bei unzureichenden Lichtverhältnissen (nachts) sind diese nicht ausreichend.

Ein Radar liefert Informationen zu Distanz und Geschwindigkeit von Objekten in der Umgebung. Darüber hinaus funktioniert ein Radar bei schlechten Wetterbedingungen gut – allerdings bietet dieser nur eine schlechte Auflösung. Bei großen Distanzen ist ein Radar nicht in der Lage, zwischen zwei Objekten zu unterscheiden, die sich nah beieinander befinden. Dies hat ernsthafte Folgen für die Sicherheit und Zuverlässigkeit von FAS. Ist der Radar nicht in der Lage, zwischen zwei verschiedenen Objekten zu unterscheiden, könnte dies dazu führen, dass das Fahrzeug in Situationen, in denen es stoppen sollte, weiterfährt.

LiDAR-Systeme haben nicht die gleichen Schwächen wie Radarsysteme – sie schneiden bei großen Distanzen besser ab. Allerdings sind LiDAR sehr teuer.

Traditionelle Wahrnehmungssysteme treffen Entscheidungen auf der Grundlage der Umgebungsdaten jedes einzelnen Sensors. Bei der Rohdatenfusion werden die Rohdaten aller Sensormodalitäten zusammengeführt, was die Einschränkungen der einzelnen Sensoren (z. B. die Einschränkungen einer Kamera bei schlechter Sicht) ausgleicht, indem die Daten anderer Sensoren genutzt werden (Radar und/oder LiDAR).

Werden die Sensordaten nicht zusammengeführt, erhält das System mitunter widersprüchliche Sensorinformationen und ist nicht in der Lage, mit relativer Sicherheit die nächsten Maßnahmen zu bestimmen. Wird beispielsweise ein Hindernis von der Kamera erkannt, nicht jedoch vom LiDAR oder Radar, zögert das System, das Fahrzeug zu stoppen, was zu einem Unfall führen könnte.

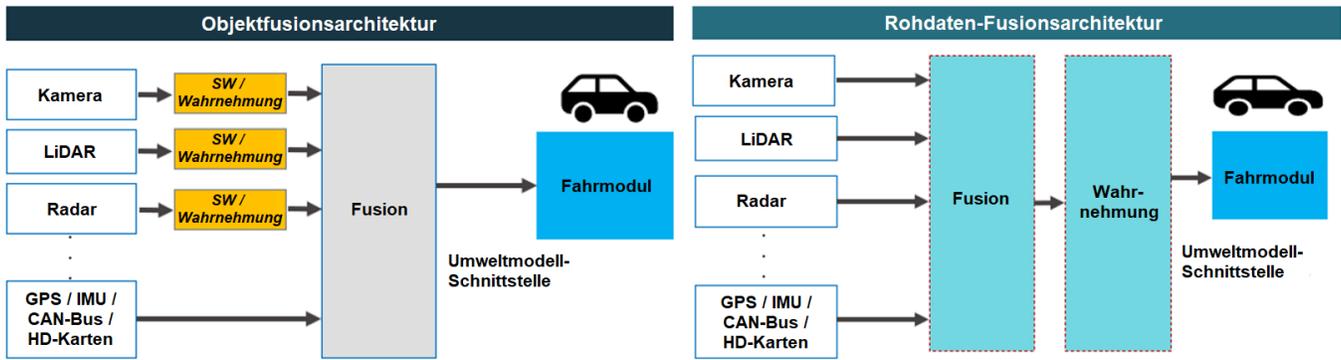


Abbildung 1 – Vergleich zwischen Objektfusions- und Rohdatenfusionsarchitektur

Die vorhandenen Sensorfusions- und Wahrnehmungslösungen sind kamerazentriert, während andere Sensoren in der Regel auf der Objektebene zusammengeführt werden. Solche kamerabasierten 2D-Lösungen schneiden schlecht ab in Hinsicht auf:

- Positionierung
- Präzision
- Objektgröße und Orientierungsschätzung
- Objekterkennung bei schlechten Lichtverhältnissen

## Konfigurationen der Sensorfusion bei FAS und autonomen Fahrzeugen

Nachdem dargelegt wurde, dass auf einer Sensorfusion gründende Wahrnehmungslösungen bessere Ergebnisse liefern, befasst sich dieser Abschnitt eingehender mit einigen für die Sensorfusion verwendeten Verfahren. Wie in der wissenschaftlichen Literatur<sup>1</sup> beschrieben, für die Sensorfusion gibt es drei Hauptkonfigurationen.

- **Komplementäre Sensorfusion:** Bei einer komplementären Konfiguration werden die Daten von jedem Sensor „zusammengenäht“, um ein komplettes Bild zu erhalten. So können z. B. mehrere Radarsensoren an mehreren Seiten des Fahrzeugs positioniert werden, um den Fahrer vor einem Objekt in unmittelbarer Nähe zu warnen und eine sichere 360°-Sicht zu generieren.
- **Kompetitive Sensorfusion:** Bei einer kompetitiven Konfiguration liefert jeder Sensor die gleiche Messung, die dann vom System zu einem zuverlässigeren Wert verarbeitet wird. Ein wesentlicher Vorteil eines solchen Systems ist die erhöhte Redundanz, da bei einer Störung eines Sensors der andere für die gleiche Messung verwendet werden kann. So kann ein Fahrzeug z. B. mit zwei Geschwindigkeitsmessern (analog und digital) ausgestattet sein, und die tatsächliche Geschwindigkeit des Fahrzeugs kann anhand eines Durchschnittswerts der einzelnen Sensorwerte bestimmt werden.

Ein weiterer Vorteil einer kompetitiven Sensorfusion ist, dass Radar und LiDAR verwendet werden können, um die Distanz zum nächsten Fahrzeug zu bestimmen. Beide Sensoren messen die gleichen Parameter, und der Sensorfusionsalgorithmus verarbeitet Daten beider Sensortypen. Für die zuverlässige und sichere Nutzung von

<sup>1</sup> H. F. Durrant-Whyte. "Sensor Models and Multisensor Integration." International Journal of Robotics Research, 7(6):97–113, Dec. 1988. <https://netzwerk.wordpress.com/2011/03/30/the-different-types-of-sensor-fusion-complementary-competitive-and-cooperative/>

FAS und autonomen Fahrzeugen ist die Flexibilität, mehrere Modalitäten (Sensoren) im Sensorfusionsalgorithmus verwenden zu können, maßgeblich. Zukünftige Sensorfusions- und Wahrnehmungssysteme für FAS und autonomes Fahren müssen die Möglichkeit mitbringen, jede Art von Sensor einsetzen zu können, ohne dass ganze Algorithmen umgeschrieben werden müssen.

- **Kooperative Sensorfusion:** Bei einer kooperativen Konfiguration liefern zwei Sensoren Daten, die ein einziger Sensor allein nicht hätte erfassen können. Bei autonomen Fahrzeugen können dies Stereokameras für die 3D-Bildgebung und Tiefenwahrnehmung sein – mit einer Kamera allein ist dies nicht möglich.

Ein weiteres Beispiel für eine kooperative Sensorfusion ist der Einsatz einer Kamera und einer Radars oder einer Kamera und LiDAR zum Erstellen eines 3D-RGBD-Umgebungsmodells für die Erkennung, Klassifizierung und Nachverfolgung von Objekten.

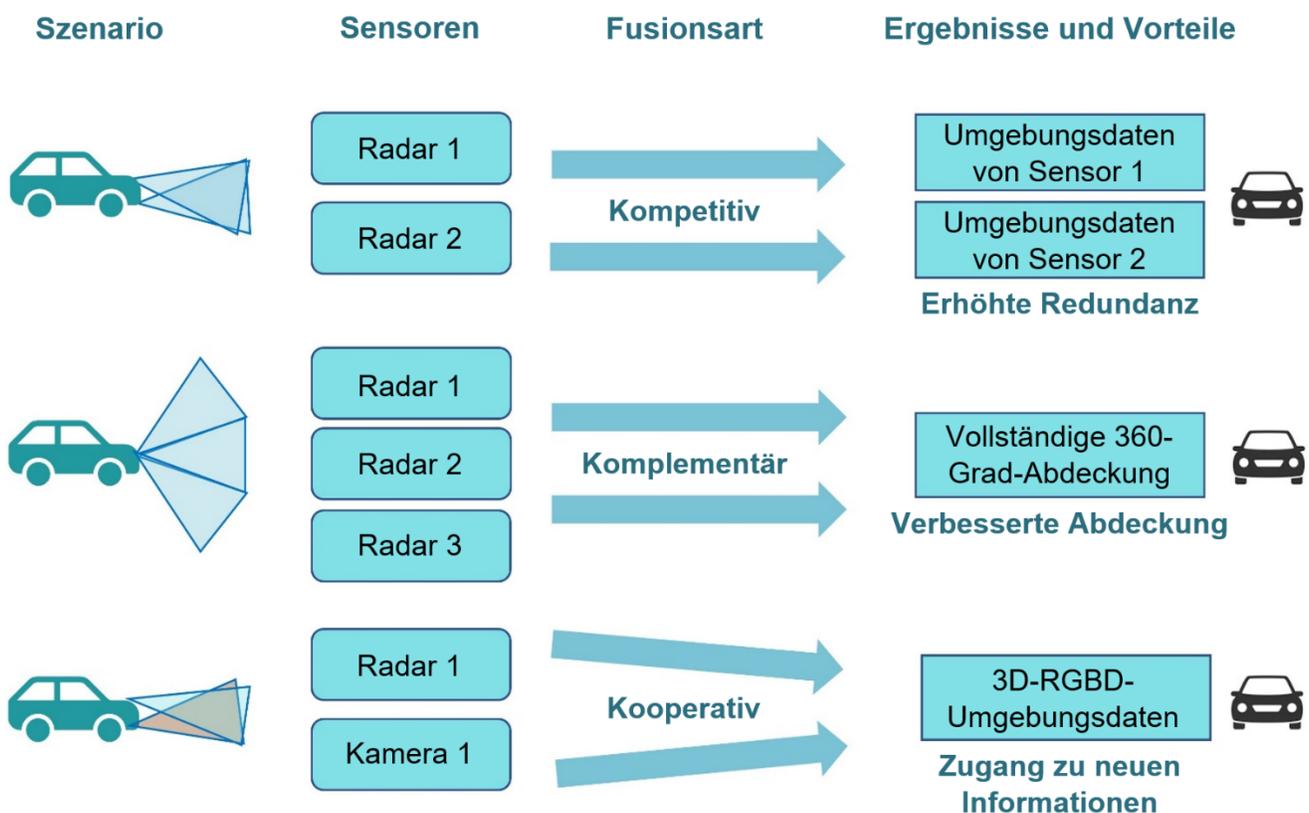


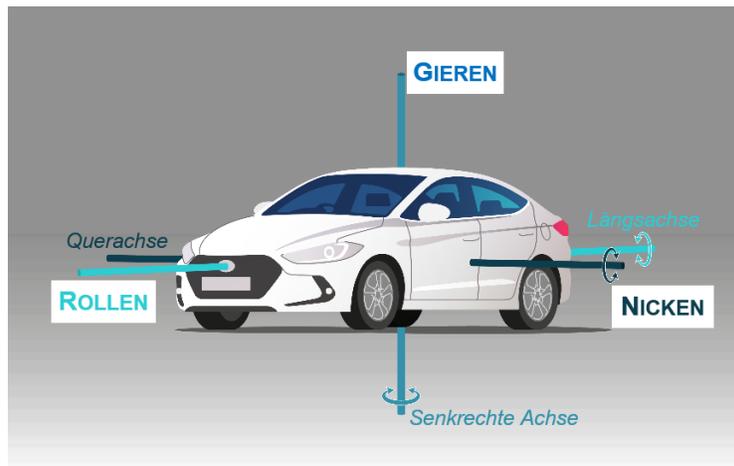
Abbildung 2 – Kompetitive, komplementäre und kooperative Fusionsverfahren

## Ein theoretischer Ansatz für die Zustandsschätzung mittels Sensorfusion

Die Zustandsschätzung, oder auch Orientierungsschätzung, bildet die Grundlage von inertielle Messeinheitensystemen (IMU). Es folgen zunächst einige Definitionen, ehe beschrieben wird, wie die Sensorfusion in IMU-Systemen eingesetzt wird.

- **Magnetometer:** Ein Gerät zur Messung eines Magnetfelds. In diesem Fall wird das Magnetfeld der Erde gemessen.

- **Gyroskop:** Ein Gerät, das die Winkelgeschwindigkeit und Ausrichtung eines Objekts misst oder beibehält.
- **Beschleunigungsmesser:** Ein Gerät, das die Beschleunigung eines Objekts misst.
- **Rollen:** Drehung um die Achse von vorne nach hinten (Scheinwerfer zu Rücklicht). Ein Fahrzeug, das sich mit hoher Geschwindigkeit dreht, wobei sich eine Seite anhebt, ist ein Beispiel für eine Rollbewegung.
- **Nicken:** Drehung um die Achse von Seite zu Seite (linker Spiegel zu rechtem Spiegel). Ein Fahrzeug, das über Schlaglöcher fährt, wodurch das Heck oder die Vorderseite des Fahrzeugs hüpft, ist ein Beispiel für eine Nickbewegung.
- **Gieren:** Drehung um die senkrechte Achse.



**Abbildung 3 – Veranschaulichung der Roll-, Nick- und Gierachse eines Fahrzeugs**

Die Position eines Objekts in einer dreidimensionalen Umgebung kann durch Zuweisung von Werten zur X-, Y- und Z-Achse dargestellt werden. Rollen, Nicken und Gieren legen die Ausrichtung eines Objekts in einem dreidimensionalen Raum fest. Wenn die Ausrichtung des Objekts zum Zeitpunkt  $t = 0$  bekannt ist, dann ist sie zum Zeitpunkt  $t = 5$  (5 Sekunden später) bekannt, wenn die Werte des Gyroskops, des Beschleunigungsmessers und des Magnetometers (und damit die Werte von Rollen, Nicken und Gieren) in diesem Intervall bekannt sind.

Ein Gyroskop liefert Daten zu Rollen, Nicken und Gieren. Gyroskope zeichnen sich durch Verzerrungsinstabilitäten und geringes Rauschen aus – d. h. im Laufe der Zeit driftet der Nullwert von den korrekten Werten ab.

Beschleunigungsmesser liefern Daten zur Beschleunigung entlang der X-, Y- und Z-Achse. Anhand dieser Daten lassen sich Rollen, Nicken und Gieren mit den nachstehenden Formeln berechnen:

$$\mathbf{Rollen} = \phi = \arctan\left(\frac{a_y}{a_z}\right)$$

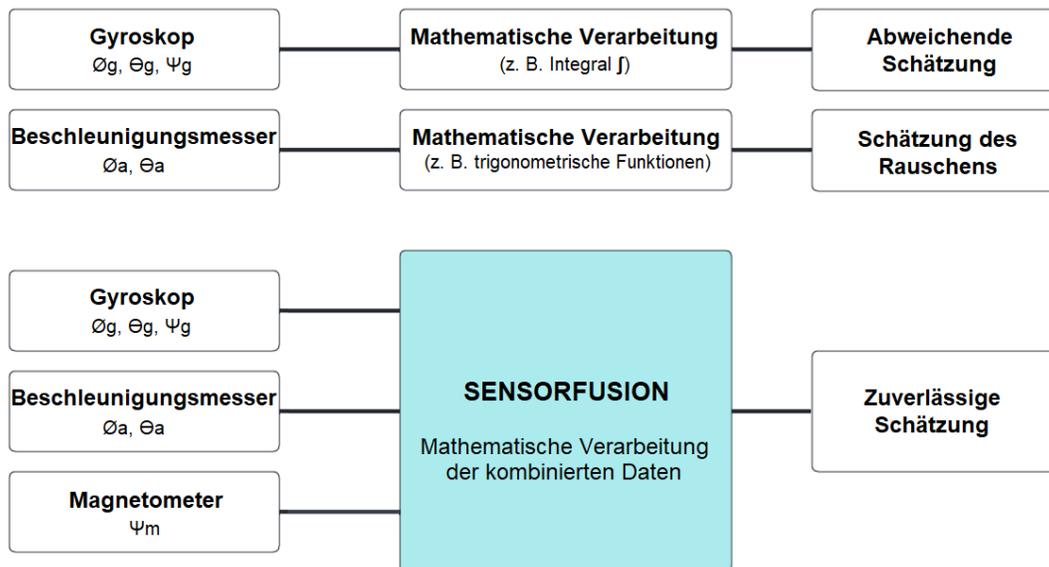
$a_y = \text{Beschleunigung in der Y – Richtung}$   
 $a_z = \text{Beschleunigung in der Z – Richtung}$

$$Nicken = \theta = \arcsin(a_x/g)$$

$a_x =$  Beschleunigung in der X – Richtung  
 $g =$  Schwerkraft

Ebenso können mathematische Berechnungen mit den Daten des Magnetometers durchgeführt werden, um Gierdaten zu erhalten.

Ein Gyroskop allein könnte zwar alle erforderlichen Daten (Rollen, Nicken und Gieren) liefern, allerdings weist er gewisse Schwächen auf, wie Verzerrungsinstabilitäten und zeitliche Abweichungen von den tatsächlichen Werten. Ein solches allein ist daher nicht verlässlich. Andererseits kann ein Beschleunigungsmesser Roll- und Nickdaten liefern; allerdings sind Beschleunigungsmesser mit starkem Rauschen verbunden. Um präzise und zuverlässige Daten zu erhalten, werden daher die Daten beider Sensoren (Beschleunigungsmesser und Gyroskop) fusioniert – somit gleichen die Stärken eines Sensors die Schwächen des anderen aus, und umgekehrt. Da Beschleunigungsmesser jedoch nicht zur Berechnung des Gierens verwendet werden können, wäre der Gierwert, der sich allein aus dem Gyroskop ergibt, ungenau; daher ist es sinnvoll, diese Daten mit den Daten eines Magnetometers zu kombinieren, um die Zuverlässigkeit und das Vertrauen in die Ergebnisse zu erhöhen.



**Abbildung 4 – Vorteile der Verwendung eines Gyroskops, Beschleunigungsmessers und Magnetometers für die Zustandsschätzung**

## Im Handel erhältliche Wahrnehmungslösung auf der Grundlage der Sensorfusion für FAS und autonomes Fahren

LeddarVision™ ist eine Rohdaten-Sensorfusions- und Wahrnehmungslösung, die ein umfassendes 3D-RGBD-Umgebungsmodell mit Multisensor-Unterstützung für GPS-, IMU-, Kamera-, Radar- und LiDAR-Architekturen für fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme (FAS) und autonome Fahrzeuge erzeugt.

## LeeddarVision für FAS und autonome Fahrzeuge

[LeeddarVision](#) basiert auf der Rohdaten-Sensorfusion und bietet OEMs und Tier-1- und Tier-2-Automobilzulieferern vier deutliche Vorteile.

- **Bessere Leistung:** Akkurate Objekterkennung, -klassifizierung und -nachverfolgung.
- **Flexibilität:** Eine Hardware-agnostische, mit verschiedenen Sensorarchitekturen kompatible Lösung mit Unterstützung für Kamera, Radar und LiDAR.
- **Skalierbarkeit:** Auf Skalierbarkeit ausgelegte Lösung. Erfüllt die Anforderungen von L2-, L2+- und L3-FAS-Systemen sowie L4- und L5-Systemen für autonomes Fahren.
- **Zuverlässigkeit:** Zu den Faktoren gehören eine integrierte Redundanz, Sicherheitsüberwachung sowie solides Qualitätsmanagement und Produktentwicklungsverfahren, die den Standards der Automobilindustrie entsprechen.



Rohdaten-Sensorfusion, Sensorsynchronisation und Upsampling des LeeddarVision-Systems bilden die Grundlage für die überragende Objekterkennungsleistung und präzise dreidimensionale RGBD-Umgebungsmodellrekonstruktion. LeeddarVision fügt mit Zeitstempeln versehene zeitliche Informationen hinzu (d. h. Informationen aus mehreren Einzelbildern) und führt mehrere Messungen eines einzigen Objekts durch, was Messfehler vermeidet und die Präzision erhöht. Von allen Einreichungen bei nuScenes™ zwischen 2019 und 2021 ist der RCF360v2 von LeeddarVision die bestplatzierte Radar-/Kameralösung zur 3D-Objekterkennung. LeeddarVision sticht hervor durch:

- Akkurate und präzise Erkennung
- Weniger falsch-positive Ergebnisse
- Weniger falsch-negative Ergebnisse
- Eigenbewegung und Bewegungsplanung
- Optimierte Leistung bei schwierigen Umgebungsbedingungen
- Auflösung von widersprüchlichen Sensordaten
- Integrierte Redundanz

Zusätzliche Ressourcen mit weiteren Informationen über die Rohdaten-Sensorfusion und LeeddarVision finden Sie auf [leddartech.com](http://leddartech.com):

[Demovideos](#)

[Technisches E-Book zur Sensorfusion und Wahrnehmung](#)

[Technisches Datenblatt](#)

[Häufig gestellte Fragen zur Wahrnehmungstechnologie](#)

---

# LeddarTech®

KANADA – USA – ÖSTERREICH – FRANKREICH – DEUTSCHLAND – ITALIEN – ISRAEL – HONGKONG – CHINA

## Hauptgeschäftssitz

4535, boulevard Wilfrid-Hamel, Suite 240  
Québec (Québec) G1P 2J7, Kanada  
[leddartech.com](http://leddartech.com)

Tel.: + 1-418-653-9000

Gebührenfrei: 1-855-865-9900

© 2023 LeddarTech Inc. Alle Rechte vorbehalten. Die Leddar™-Technologie ist durch mindestens eines der folgenden US-Patent geschützt: 7855376B2, 7554652, 8319949B2, 8310655, 8242476, 8908159, 8767215B2 oder deren internationale Entsprechungen. Weitere Patente stehen aus. Die aktuellste Version dieser technischen Mitteilung finden Sie auf unserer Website. Leddar, LeddarTech, LeddarSteer, LeddarEngine, LeddarVision, LeddarSP, LeddarCore, LeddarEcho, VAYADrive, VayaVision, XLRator und die dazugehörigen Logos sind Marken oder eingetragene Marken von LeddarTech Inc. und dessen Tochterunternehmen.

Der Inhalt dieses Dokuments kann sich unangekündigt ändern.

20230331 / TF ID 044682