

Angewandte Sicherheitsprinzipien und Risikobewertung zum ultraleichten, elektrischen Antriebssystem für Luftsportgeräte

V1.2 / Jan. 2009

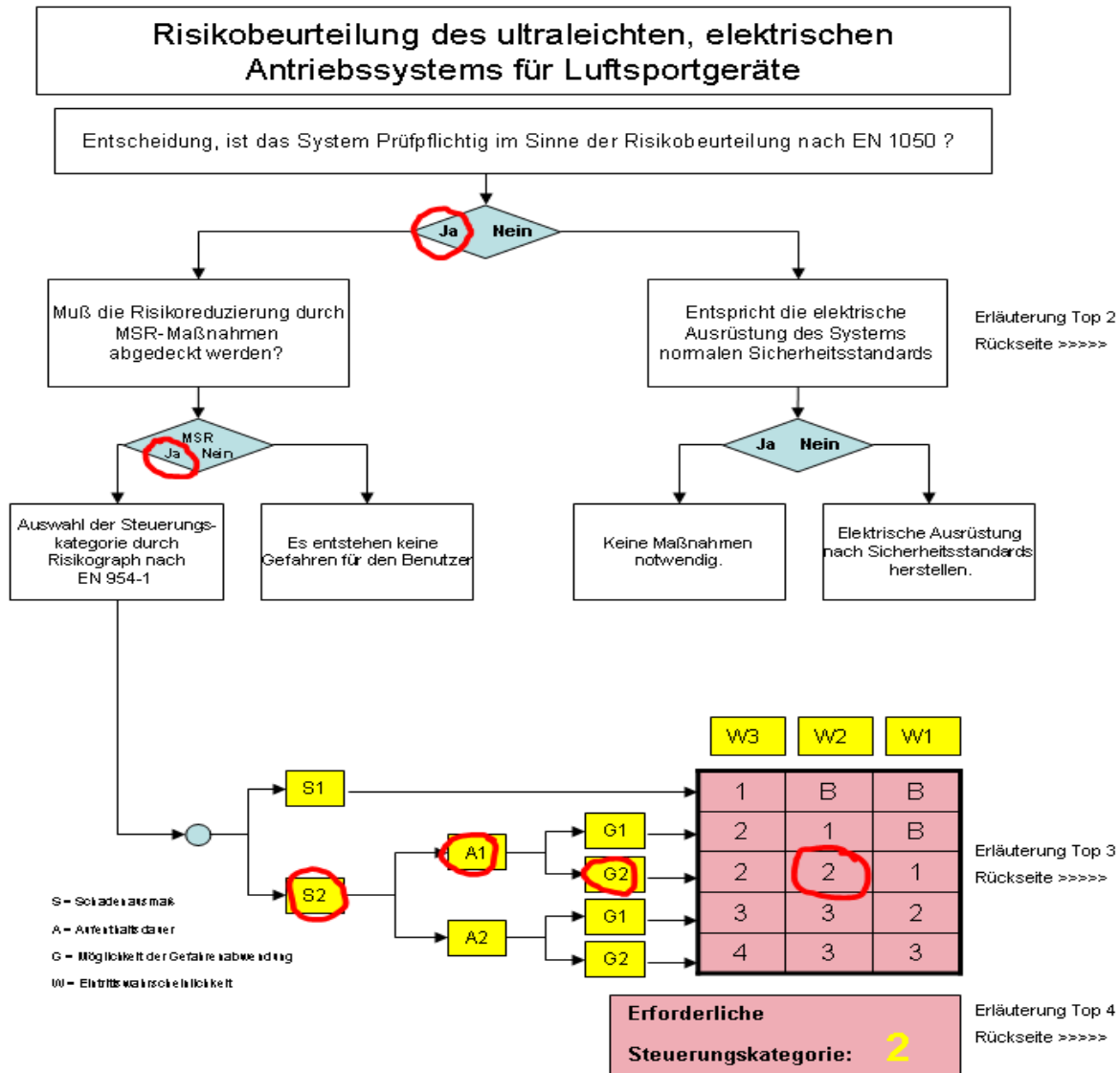
Adresse:
Geiger Engineering
Kronacher Strasse 41
96052 Bamberg

Firmeninhaber:
Joachim Geiger

Kontakt:
Tel.: 0951/9649-220
Fax.: 0951/9649-219
Mobil.: 0170/ 5 66 77 99
e-mail: jgeiger@geigerengineering.de

1. Risikobewertung nach DIN-EN:

Um das vom Antriebssystem ausgehende Gefahrenpotenzial zu bewerten, wurde folgende Risikobewertung nach industriellen und europäischen Sicherheitsrichtlinien und Normen durchgeführt, welche sich auf die nachfolgende Steuerungsauslegung auswirkt:



Sonstige Maßnahmen:

Darüber hinaus wird das Prinzip der Redundanz angewandt.

Die Betriebsspannung liegt unterhalb des PELV - Niveaus.

Bei manchen Anwendungen ist auch ein Schutzkäfig um den Propellerkreis unabdingbar.

Bamberg, den 05.10.2007

Top 2: Folgenden Normen sind anzuwenden:

- EU – Maschinenrichtlinie 98/37 EWG (MSRL). (entspricht 9. Verordnung des Gerätesicherheitsgesetzes)
- EU – Niederspannungsrichtlinie 73/23 EWG
- EU – EMV-Richtlinie 89/336 EWG

Top3: Beschreibung der Risikofaktoren:

- **Schadenausmaß S**
 - S1 : Leichte Verletzung
 - S2: Schwere irreversible Verletzung von einer oder mehreren Personen, Tod einer Person
 - S3: Tod mehrerer Personen
 - S4 : Katastrophale Auswirkung, sehr viele Tote
 - **Aufenthaltsdauer A**
 - A1 : seltener bis öfterer Aufenthalt im Gefahrenbereich
 - A2 : häufiger bis dauernder Aufenthalt im Gefahrenbereich
 - **Gefahrenabwendung G (Ausweichmöglichkeit im Gefahrenbereich, Dynamik der Antriebe beachten)**
 - G1 : möglich unter bestimmten Bedingungen
 - G2 : kaum möglich
 - **Eintrittswahrscheinlichkeit W**
 - W1 : Sehr geringe Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses
 - W2 : Geringe Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses
 - W3 : relativ hohe Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses
- Bsp: Weitertakten einer Packmaschine = W3, Anlauf durch einen defekten Umrichter = W1.

Top 4: Beschreibung der Steuerungskategorien nach EN 954-1:

- **B** = Steuerung gemäß dem Stand der Technik
- **1** = Sicherheitstechnisch bewährte Komponenten und Prinzipien
- **2** = Testung
 - Kategorie B muss erfüllt sein
 - sicherheitstechnisch bewährte Prinzipien
 - Prüfung der Sicherheitsfunktionen in angemessenen Intervallen durch die Maschinensteuerung
 - z. B.: Prüfung beim Anlaufen der Maschine oder periodisch während des Betriebes – abhängig vom Risiko
- **3** = Redundanz (mit partieller Fehlererkennung)
 - Kategorie B muss erfüllt sein
 - sicherheitstechnisch bewährte Prinzipien
 - ein Fehler führt nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktionen
 - der einzelne Fehler soll bei oder vor der nächsten Nutzung der Sicherheitsfunktion erkannt werden
 - z. B.: zwangsgeführte Relaiskontakte; Überwachung von redundanten elektrischen Ausgängen
- **4** = Selbstüberwachung

Adresse:
Geiger Engineering
Kronacher Strasse 41
96052 Bamberg

Firmeninhaber:
Joachim Geiger

Kontakt:
Tel.: 0951/9649-220
Fax.: 0951/9649-219
Mobil.: 0170/ 5 66 77 99
e-mail: jgeiger@geigerengineering.de

Im Folgenden werden die einzelnen Baugruppen des Antriebes auf Restrisiken untersucht und bewertet:

2. Die Luftschraube:



Vor jedem Betrieb der Luftschraube sind die Blätter und die Nabe auf Beschädigung hin zu kontrollieren. Bei einem Verdacht auf Beschädigung senden Sie den Propeller umgehend an den Hersteller zur Inspektion bzw. Reparatur.



Es ist bei jedem Betrieb der Luftschraube auszuschließen, dass Gefahr für Leib und Leben von Menschen und Tiere entstehen kann.



Die Grenzdrehzahl der Luftschraube liegt bei 2300 1/min. Stellen sie sicher, dass diese Drehzahl niemals überschritten wird.

Dieses Risiko muss beim Einbau und Betrieb des Antriebssystems mit konstruktiven Maßnahmen (Schutzkäfig / Beabstandung) angemessen abgesichert oder durch elektronische Schutzmaßnahmen abgesichert werden.

Siehe auch das Datenblatt zur Luftschraube

3. Der Motor:

Beim Motor HPD10 handelt es sich um einen permanentmagneterregten Synchronmotor. Der Motor besitzt eine sehr hohe Leistungsdichte und ist somit in der Lage große und langsam drehende Luftschrauben anzutreiben. Dabei gehen vom Motor zwei grundsätzliche Risiken aus:

- Die rotierende Luftschraube (siehe Luftschraube)
- Die Oberflächentemperatur <math><100^{\circ}\text{C}</math>



Es sollte vor einer direkten Berührung des Motors gewarnt werden. Leichte Verletzungsgefahr! In der Nähe befindliche Bauteile sollten einen Mindestabstand zu diesem Bauteil aufweisen.

Siehe auch die Bedienungsanleitung des Motors HPD

4. Die Steuerung:

Die elektrische Auslegung:

Die Auslegung der Spannungshöhe der Steuerung wurde bewusst auf max. 58,8V Gleichspannung ausgelegt, das entspricht der Ladeschlussspannung von 14 Zellen LiPo Akku's, in Reihe geschaltet. Mit dieser Auslegung ist die Obergrenze von 60V Gleichspannung, so wie sie nach DIN EN 61140 als SELV (Safety Extra Low Voltage) definiert ist, eingehalten.

SELV (früher „Schutzkleinspannung“) ist eine kleine elektrische Spannung, die aufgrund ihrer geringen Höhe und der Isolierung im Vergleich zu Stromkreisen höherer Spannung besonderen Schutz gegen einen elektrischen Schlag bietet.

Mit SELV betriebene Geräte, die selbst keine höheren Spannungen erzeugen, werden gemäß DIN EN 61140 (VDE 0140-1) mit der Schutzklasse III bezeichnet.


Die Spannung ist so klein, dass elektrische Körperströme im Normalfall ohne Folgen bleiben. Die Spannungsquelle kann entweder ein Generator sein, zum Beispiel ein Fahrraddynamo, oder eine Batterie.

Da es sich bei dem Motor um einen permanentmagneterregten Synchronmotor handelt, ist zum Betrieb ein Frequenzumrichter mit digitalen Eigenschaften und hoher Leistungsdichte unbedingt erforderlich. Dieser Frequenzumrichter im weiteren kurz mit DST(Drehzahlsteller) bezeichnet, erzeugt ein magnetisches Drehfeld, dem der Rotor des Motors folgt. Naturgemäß ergibt sich bei einer Störung am DST immer der sichere Zustand eines nicht mehr drehenden Motors.

Die übergeordnete Steuerung übernimmt dabei die Sollwertvorgabe und die permanente Überwachung von relevanten Betriebsgrößen. Die Steuerung ermöglicht somit den sicheren und komfortablen Betrieb des Motors und die Schnittstelle zum Bediener/Piloten.

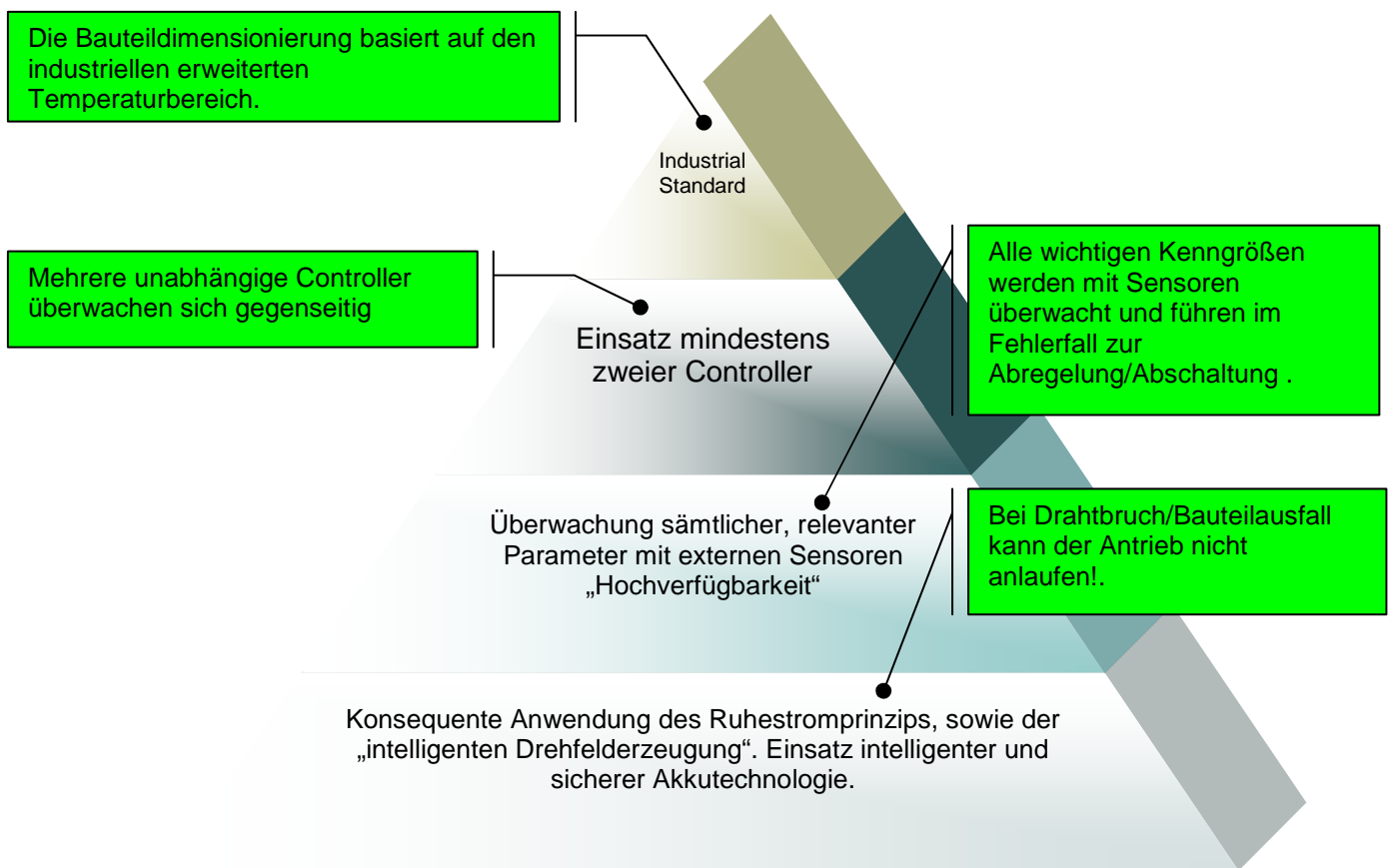
Die Steuerungskategorie ergibt sich aus der oben resultierende Risikobewertung und der Sicherheitspyramide im Folgenden.

Von der Steuerung geht prinzipiell folgendes Restrisiko aus:

 Bei einem Bauteilversagen kann der Motor in den sicheren „Aus-Zustand“ kommen, was bei einem Fluggerät einer Notlandesituation gleichkommt.

Das grundlegende Sicherheitskonzept der Steuerung für das elektrische Antriebssystem.

Die Sicherheitspyramide:



Siehe auch die Bedienungsanleitung der Steuerung


5. Das Batteriemanagementsystem:

Das Batteriemanagementsystem kurz BMS ist integraler Bestandteil eines Akkumulators. Das BMS hat dabei die Aufgabe den Akkumulator in jeder Phase des Betriebszustandes zu Überwachen und dafür zu sorgen, dass der Akkumulator innerhalb seiner Spezifikation betrieben und nicht überlastet wird. Zudem wird durch die Integration des BMS der Akkumulator transportfähig im Sinne der UN-Transportvorschriften.

Zu den elementaren Aufgaben des BMS gehören: Zellschutz, Ladekontrolle, Lastmanagement, Bestimmung des Ladezustandes, Bestimmung der Zellgesundheit, [Ausbalancieren](#) der Zellen, Historie, Authentifizierung und Identifizierung, Kommunikation und Thermomanagement.

Über das Akkumanagement hinaus übernimmt das BMS eine wesentliche Sicherheitsfunktion für das Antriebssystem, den aktiven Leistungsschalter (Powerswitch). Der Leistungsschalter gibt immer genau soviel Strom an das Antriebssystem frei, wie dies vom Akku fordert. Wird aufgrund eines Überlastungsfalls des Antriebs mehr Strom abgefordert als der Antriebssollwert vorgibt, schaltet das BMS den Laststrompfad innerhalb einer Latenzzeit $< 9\mu\text{s}$ ab. Das gleiche Überlastmanagement gilt für den Ladestrompfad. Beide Leistungsausgänge sind somit nicht nur kurzschlussicher, sondern sichern den Anwender vor den praktisch auftretenden Gefahren beim Einsatz von Hochleistungsakkus (z.B.: Fehlkommutierung, Wechselrichter Querschuss, Motorwindungschluss, Kurzschluss etc.)

Vom BMS geht prinzipiell ein Risiko aus:

 Bei einem Bauteilversagen kann der Motor in den sicheren „Aus-Zustand“ kommen, was bei einem Fluggerät einer Notlandesituation gleichkommt.

·
·

Siehe auch die Bedienungsanleitung des BMS

6. Der Akkumulator:

Der Akkumulator besteht aus mehreren in Serie und/oder parallel geschalteten Einzelzellen. Jede einzelne Zelle besitzt ein Sicherheitsventil, das bei einer Überlastung die Zelle vom Verband abtrennen wird.

Es sollte immer darauf geachtet werden, dass brennbare benachbarte Teile zum Drehzahlsteller und der Akkupack gegen thermische Fremdeinflüsse geschützt werden. Das heißt, dass der Akku in einem schwer entflammbar Material wie z.B. PE-Schaumstoff der Typenreihe XAC33FR gegen Stoßbelastung und in einem schwer entflammbar, stabilen Kasten aus z.B. GFK gegen mechanische Einflüsse geschützt untergebracht werden muss. Andere brennbare Stoffe sollten ebenfalls gegen direkte Flammeneinwirkung geschützt werden.


Vom Akku gehen zwei wesentliche Risiken aus:

- Brandgefahr bei mechanischer oder thermischer Einwirkung.

Bei mechanischer Beschädigung des Akkupacks, kann es zu Hitzeentwicklung oder einem Auslaufen des Elektrolytes kommen. Elektrolyt ist entflammbar. Im Falle eines Auslaufens des Elektrolytes, die Batterie sofort außer Reichweite des Feuers bringen.
Toxizität: Dämpfe, verursacht durch brennende Batterien, können zu Reizungen der Augen, Haut und Atemwege führen.

 Dieses Risiko kann durch ein stabiles Gehäuse und guter Dämmung nahezu auf 0 minimiert werden.

- Hohe Kurzschlussleistung

 Die Handhabung, der Transport und die hohe Kurzschlussleistung muss durch ein im Akkupack integriertes BMS kontrolliert und abgesichert werden.