

## Realisierbarkeitsstudie zur Verwendung von NaNiCl-Hochtemperaturbatterien (ZEBRA) im TWIKE

---



An der Vereinsversammlung des TWIKE Klub vom 14. April 2007 in Freiburg i. Br. wurde beschlossen die Rahmenbedingungen zum Einsatz der ZEBRA-Batterie von MES-DEA (CH-6855 Stabio TI) für das TWIKE genauer abzuklären. Die Batterie würde eine Reichweite von über 110 km ermöglichen, bei einer hohen Lebensdauer-Erwartung.

Das Resultat der Studie zeigt, dass es grundsätzlich möglich ist, die Batterie im TWIKE einzusetzen. Ob sie sich im Einzelfall für ein bestimmtes Fahrzeug eignet, muss jeweils abgeklärt werden (Motorentyp und Einsatzbereich). Zum Anschluss der Batterie an die bestehende TWIKE-Elektronik ist ein kleines Gerät notwendig, die dazu entwickelt werden muss.

### Inhalt

1	Batterietechnik .....	2
2	Einbau im TWIKE .....	5
3	Marktabklärung und Einsatzprofil .....	6
4	Kosten und Energiebilanz.....	7
5	Produktions- und Vertriebskonzept.....	8
6	Zusammenfassung und Fazit .....	9
7	Anhang .....	10

# 1 Batterietechnik

---

Bisher wurden NiCd-Zellen mit einer Kapazität von bis zu 3 x 3.6 Ah (C-Zellen) oder 2 x 5 Ah (D-Zellen) im TWIKE eingesetzt. Tests mit NiMH-Zellen verliefen bisher nicht zufriedenstellend (Stand Sommer 2007). Eine einzelne ZEBRA-Batterie mit 25 Ah Kapazität würde dagegen rund eine Verdoppelung der bisherigen Reichweiten versprechen. Allerdings weist die ZEBRA-Technologie einige Unterschiede zur bisher im TWIKE eingesetzten NiCd-Batterie auf, die im folgenden nach Themen zusammengestellt sind.

## 1.1 Kapazität und Reichweite

Für das TWIKE am ehesten geeignet erachten wir die ZEBRA-Zellen des neuen Typs ML8X mit nominal **25 Ah** Kapazität, wobei empfohlen wird, nur 80% davon regelmässig zu nutzen – die 20%-Reserve sollte nur in Notfällen ausgeschöpft werden.

Damit ist die täglich nutzbare Kapazität 20 Ah. Bei einer durchschnittlichen Entladespannung von 330 V (bei sparsamer Fahrweise) wäre dies 6.4 kWh, bei sportlicher Fahrweise wird sich das Spannungsniveau wegen des hohen Innenwiderstandes tiefer bewegen, im Minimum bei 280 V, sodass dann nur 5.6 kWh zur Verfügung stehen.

Das TWIKE braucht im Schnitt 15 Ah pro 100 km (6.7 km/Ah) oder bei 340 V Entladespannung rund 5.1 kWh pro 100 km. Damit wären im Alltag Reichweiten von 110–125 km, im Notfall bis 170 km möglich.

## 1.2 Temperatur-(Un-)Abhängigkeit

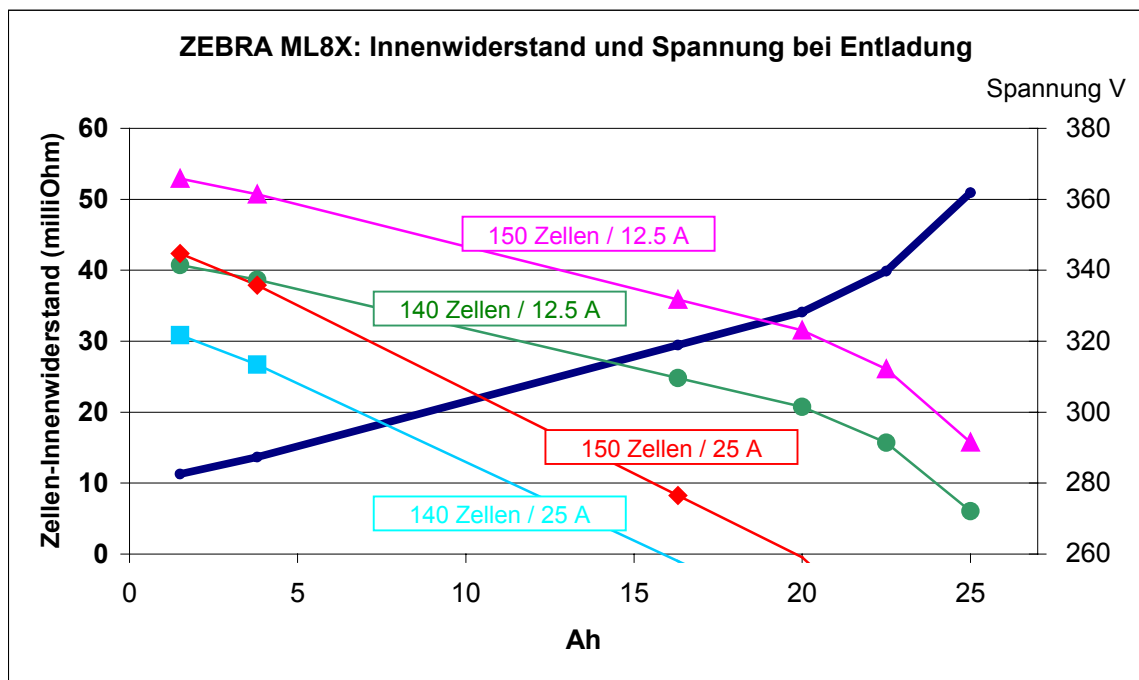
Da die Innentemperatur der Batterie auf 270 bis 350 °C stabilisiert wird, hat die Aussen-temperatur kaum einen Einfluss auf die Lade- und Entlade-Eigenschaften. Dies macht die Batterie ideal bei Einsätzen unter +10 °C oder über +40 °C, wo bei allen anderen Batterietypen eine zusätzliche aktive Batterieheizung, bzw. -kühlung notwendig wäre. Die Einsatzbedingungen im TWIKE und das relativ kleine Batterievolumen würden voraussichtlich eine Kühlung der ZEBRA-Batterie nicht notwendig machen. Dies ist ein Vorteil bezüglich Standby-Verlusten und der Einbaugrösse der Batterie, da es keine Lüfter und Luftführungskanäle braucht.

## 1.3 Innenwiderstand und Spannung

Die ZEBRA-Batterie (NaNiCl) hat 8–12 mOhm Innenwiderstand pro Zelle. Bei der NiCd-Batterie sind es 3–5 mOhm bzw. bei Parallelschaltung von 2 oder 3 Blöcken weniger als 3 mOhm. Daher ist bei der ZEBRA-Batterie der Spannungsabfall bei einer bestimmten Strombelastung grösser. Allerdings braucht es wegen der höheren Zellspannung bei NaNiCl nur die Hälfte der Zellen, sodass der Unterschied bei der Gesamtbatterie nicht mehr so gross ist, wie man es auf den ersten Blick erwartet.

Bei einer minimalen Fahrspannung im TWIKE von 280 V bei einem Strom von 20 A müssen 140 oder 150 ZEBRA-Zellen verwendet werden. Die Leerlaufspannung ist über den gesamten Entladeverlauf fast konstant bei 2.58 V pro Zelle und liegt dann bei 361 bzw. 387 V, die Ladespannung für eine Schnellladung bei 399 V bzw. 428 V.

Die nachfolgende Grafik zeigt einerseits den Innenwiderstand einer Zelle (dicke Kurve), der im Laufe der Entladung ansteigt, und andererseits die Batteriespannung (dünne Kurven), die während der Entladung abnimmt. Die Zahl der Zellen (140 oder 150) und der Entladestrom (12.5 oder 25 A) wurden bei den dünnen Kurven der Batteriespannung variiert. Zu beachten ist, dass höchstens 20 Ah (80% der Kapazität) genutzt werden sollten.



Innenwiderstand (dicke Kurve, Legende links) und Spannungsverlauf (dünne Kurven, Legende rechts)

Der hohe Innenwiderstand führt dazu, dass mit zunehmender Entladung die nutzbare Leistung abnimmt, d.h. anstatt der 7.0 kW bei 350 V / 20 A sind es nur noch 5.6 kW bei 280 V / 20 A (also 20% weniger). Bei den Grell/Rüetschi-Motoren führt die tiefe Spannung dazu, dass der Kippunkt bereits früher erreicht wird als bei den NiCd-Batterien, da dieser Punkt von der Motorspannung abhängig ist. Fahrzeuge mit Grell/Rüetschi-Motoren und der 11.7:1-Übersetzung (die meisten Fahrzeuge ab der Seriennummer TW 520) werden daher die in den TWIKE-Unterlagen angegebenen 85 km/h nur bei voller Batterie erreichen, da bei Geschwindigkeiten von über 70 km/h nur noch 16 A bei 280 V bzw. 4.5 kW Leistung zur Verfügung steht.

#### 1.4 Ladeverhalten und Rekuperation

Die Batteriespannung bei Rekuperation (bis 20 A) ist nicht so kritisch, da der Innenwiderstand bei kurzen Stromspitzen kleiner ist, d.h. die Batterie kurzfristig mehr Strom aufnimmt bevor die Spannung ansteigt. Eine Schnellladung mit 6 A (1/4 C) Batteriestrom (bzw. 16 A Netzstrom) ist unproblematisch. Die maximale zulässige Ladespannung der TWIKE-Elektronik ist 435 V.

Da man im Alltag die Batterie normalerweise immer voll lädt, muss man beachten, dass mit vollen Batterien keine Rekuperation möglich ist.

#### 1.5 Ladung über den TWIKE-Umrichter

Der TWIKE-Umrichter kann einen Ladestrom zur Verfügung stellen, allerdings ist dieser *nicht* potentialgetrennt vom Netz. Dies entspricht nicht den Anforderungen des ZEBRA-Handbuches. Nach Rücksprache mit Dr. Cord Dustmann von MES-DEA ist dies nur ein Problem der Isolationsüberwachung. Mit einer kleinen Softwareänderung könnte die Überwachung während der Ladung ausgeschaltet werden. Von den Kosten her wäre diese Lösung einem separaten Ladegerät vorzuziehen (das 1000-2000 CHF Mehrkosten bringen würde, je nach Ladeleistung).

Ein Interface müsste programmiert werden, welches die Daten der Batterie (CAN-Bus und weitere digitale und analoge Signalleitungen) interpretiert und in entsprechende Protokolle der RS-485-Schnittstelle des TWIKE umwandelt. Die Lade-Sollleistung kann auch direkt über einen PWM-Ausgang (Pin 12) gesteuert werden. Das Interface müsste dies dann in das

entsprechende Signal für den TWIKE-Umrichter wandeln. Das Ladezustand-Signal (SOC) ist auch als PWM-Signal an PIN 13 verfügbar. Dieses könnte man auch in einen entsprechenden Wert für eine Anzeige, bzw. für die Reichweitenberechnung des Umrichters aufbereiten.

## **1.6 Aufstarten bei kalter Batterie**

Da die Batterie im kalten Zustand keine Spannung abgibt, muss das Bordnetz und damit auch das Batterie-Management-Interface (BMI) direkt vom Netz her oder über eine separate 12 V-Batterie versorgt werden können. Es muss eine separate 12 V-Speisung vorgesehen werden, die das BMI versorgt, sobald Netzspannung vorhanden ist, damit dieses die Batterieheizung aktivieren und später die Hauptrelais schliessen kann, sobald die Betriebstemperatur erreicht ist (dauert rund 24 Std.). Erst dann darf die Batterie eine Ladespannung erhalten. Bei einer kalten Batterie könnten schon kleine Ladeströme wegen des hohen Innenwiderstandes zu hohen Spannungen und Beschädigungen führen.

## **1.7 Elektrische Modifikationen am TWIKE**

Neben der ZEBRA-Batterie müssen im TWIKE die folgenden Komponenten ergänzt werden:

a) 12 V-Batterie zur Versorgung des Batterie-Management-Systems (BMS) beim Aufstarten: Die ZEBRA-Batterie kann in gewissen Fällen die Batteriezellen komplett abtrennen, sodass für den DC/DC-Wandler keine Speisung mehr zur Verfügung steht. Die 12 V-Batterie muss dann das System wieder aufstarten können.

b) 12 V-Speisung ab Netz für den Aufstartvorgang bei Tiefentladung: Da die erforderliche Leistung nur für das BMS reichen muss, ist ein kleines Standard-12V-Netzteil ausreichend. Die Batterieheizung wird direkt vom Netz gespiesen.

c) Interface CAN auf RS-485 mit Datenumsetzung bzw. Simulation einer bisherigen TWIKE-Batterie. Ein Microcontroller muss für diese Funktion programmiert werden. Er muss die Daten des ZEBRA-BMS in die Informationen der TWIKE-Schnittstelle wandeln. Die Software kann so konzipiert werden, dass sie zu der bestehenden TWIKE-Umrichtersoftware (z.B. Version 5.30) kompatibel ist. Die Anzeigen für Kapazität und Reichweite könnten damit auf dem heutigen TWIKE-Display erfolgen. Auch die Ladesteuerung kann über die Funktionen des Umrichters und der RS-485-Schnittstelle gemacht werden.

Die Antriebselektronik und Bordelektrik kann so wie heute belassen werden. Allfällige zusätzliche Komponenten (Entladelogik, Timerrelais) müssten entfernt werden, da diese nicht mehr benötigt werden und das BMS der ZEBRA-Batterie beeinflussen würden.

## **1.8 Lagerung, Inbetriebnahme, Bereitschaftsmodus, Ausserbetriebsetzung**

In kaltem Zustand ist die Batterie chemisch inaktiv, sodass sie ohne Schaden mehrere Jahre gelagert werden kann.

Zur Inbetriebnahme ist eine Aufheizung von ca. 12 Stunden und anschliessende Ladung erforderlich. Eine Abkaltung der Batterie ist daher höchstens dann sinnvoll, wenn sie mehrere Wochen nicht benutzt wird.

Im Bereitschaftsbetrieb ist die Batterie immer am Netz angeschlossen. Die Temperatur wird mit der internen Heizung auf konstantem Niveau gehalten. Der Energiebedarf im Standby ist ca. 50 W oder 1.2 kWh pro Tag. Dies entspricht etwa einer TWIKE-Fahrleistung von 20 km. Wird die Batterie täglich eingesetzt, so erwärmt sie sich durch den Innenwiderstand der Batteriezellen wie von selbst und braucht keine zusätzliche Heizenergie.

## **1.9 Elektrische und thermische Sicherheit**

Die Batterien und das BMS wurden für den Fahrzeugeinsatz ausgelegt, sodass sie den heute üblichen Standards bezüglich Sicherheit, Störfestigkeit und Elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) entspricht. Wir gehen davon aus, dass die notwendigen Unterlagen für die Zulassung bzw. Ergänzung der TWIKE-Typengenehmigung vorhanden sind.

## 1.10 Lebensdauer

Die Batterie-Lebensdauer wird von MES-DEA mit kalendarisch mehr als 10 Jahren und eine Zyklenzahl von 1000-2000 angegeben.

Wenn eine ZEBRA-Zelle ausfällt, dann macht sie typischerweise einen Kurzschluss, d.h. die Batterie kann weiter eingesetzt werden bei einer um 2.58 V pro ausgefallene Zelle verminderten Gesamtspannung. Die untere Spannungsgrenze der Batterie wird damit schneller erreicht, so dass die bisherige Kapazität der übrigen Batteriezellen nicht mehr voll ausgenutzt werden kann.

Erfahrungen von Kunden, die die ZEBRA-Batterie in anderen Fahrzeugen einsetzen, sind nicht einheitlich. Einige hatten nach kurzer Zeit Probleme, die bei MES-DEA behoben wurden, bei den übrigen funktioniert das System einwandfrei.

## 2 Einbau im TWIKE

---

Der Platz im TWIKE für eine ZEBRA-Batterie sollte knapp reichen. Sie muss speziell befestigt und gesichert werden, da die Fahrzeugkonstruktion ursprünglich für eine modulare Batterie ausgelegt wurde.

Die Batteriezelle ML8X hat die Abmessung 36.5 x 36.5 mm (Grundfläche) x 150 mm (Höhe). Sie darf nur stehend verwendet werden. Die Isolationsbox hat eine Wanddicke von rund 3 cm, auf der Seite mit den Anschlusssteckern sind noch weitere 8 cm dazuzugeben. Bei 140 Zellen (besser bezüglich Kosten, Gewicht und Grösse) oder 150 Zellen (besser bezüglich Fahrleistungen) gibt das eine entsprechend grosse Box, deren genaue Abmessungen je nach Einbauort noch zu bestimmen sind.

### 2.1 Befestigung der Batterie am Chassis

Die Batterie muss in einem Block im Fahrzeug montiert werden, da sie nicht wie bei den heutigen NiCd in einzelne von Hand tragbare Blöcke unterteilt werden kann. Die Batterie muss daher von aussen mit einer Hilfsvorrichtung ins TWIKE eingeführt werden. Die Halterung der Batterie muss die Last von rund 70–80 kg sicher zu den Befestigungspunkten am Hauptchassis bringen.

Gemäss dem ZEBRA Battery Handbook muss das Batteriegehäuse mit Spanngurten auf einem horizontalen Rahmen aus 50 mm breiten Stahlprofilen befestigt und mit Polsterkissen ("fender cushions") gegen Beschädigungen geschützt werden. Dieser Rahmen muss dann die Kräfte auf die Montagepunkte des TWIKE übertragen, ohne das Batteriegehäuse zu berühren. Da die jetzigen Batterien an einem vertikalen Winkelblech "hängen" ist neu eine stabile Rahmenkonstruktion notwendig, welche die ZEBRA-Batterie tragen kann.

### 2.2 Schutz und Abdeckungen

Das Gehäuse der Batterie ist aus rostfreiem Stahlblech. Da schon leichte Beschädigungen dazu führen könnten, dass das Isolations-Vakuum verloren geht, sollte eine zusätzliche Aussenhülle als Schutz der Batterie vor Schmutz, Salzwasser und mechanischen Beschädigungen angebracht werden. Dies könnte eventuell in Zusammenhang mit der Rahmenhalterung als "Kiste" konzipiert werden.

### 2.3 Rückwärtskompatibilität zu den heutigen Batteriesystemen

Da die Batterie nicht in die bestehende Batteriewanne passt, muss diese mindestens teilweise weggeschnitten werden. Eine Trennwand muss den Innenraum und die Anschlusskasten-Schiene mit dem DC/DC-Wandler vor Schmutz und Feuchtigkeit schützen.

Bei einem Rückbau zu NiCd müsste eine neue Batteriewanne eingeklebt werden oder der Ausschnitt mit einem Einsatzteil wieder verschlossen werden. Sofern keine Modifikationen

am Winkelblech/Batterieträger gemacht werden, können die bisherigen NiCd-Batterien wieder an den dafür vorgesehenen Punkten befestigt werden.

## **2.4 Mechanische Sicherheitsaspekte**

Die Batterie verfügt – anders als die bisherigen Systeme – über ein stabiles, geschlossenes Gehäuse, das sich im Falle einer Kollision als Gesamtblock mit 70-80 kg verschieben wird. Die Unterbringung unterhalb des Chassis des TWIKE hat den Vorteil, dass sich der Block bei einem Frontalaufprall unter den Sitzen der Fahrer hindurch schieben wird. Bei einem Heckaufprall wird er sich losreißen und zu Boden fallen. Bei einem Überschlag muss sichergestellt sein, dass der Block die Fahrer nicht einklemmen kann.

Bei den bisherigen Systemen waren die Einzelzellen nur mit dünnen Laschen miteinander verbunden, die im Kollisionsfall auseinander gerissen werden. Damit sind die einzelnen Elemente nur noch wenige Kilogramm schwer und relativ ungefährlich. Die Gesamtspannung der Batterie wurde sofort mechanisch in kleinere Teilspannungen unterbrochen, daher gab es trotz der hohen Gesamtspannung bei Unfällen keine Gefährdung.

Bei der ZEBRA-Batterie kann das BMS die Spannungsversorgung komplett abtrennen. In welchen Fällen dies geschehen muss, sollte im Pflichtenheft und in Koordination mit den Zulassungsstellen geklärt werden. Im BMI sind die Eingänge für Not-Ausschalter und Crashesensoren vorgesehen

## **3 Marktabklärung und Einsatzprofil**

---

Ob sich eine bestimmte Batterie für ein Fahrzeug eignet, ist nicht nur eine technische Frage, sondern hängt wegen der Alterung und der Selbstentladung der Batterie auch von der täglichen Nutzung ab.

### **3.1 Einsatzbereich des Fahrzeuges**

Mit einer Kundenumfrage bei den heutigen TWIKE-Fahrern müsste man abklären, wie die aktuellen Einsatzprofile sind (z.B. Anteil tägliche Pendler mit km-Leistung pro Jahr, Freizeitfahrer, Gelegenheitsbenutzer), sowie das mögliche Einsatzpotential.

Eine solche Umfrage könnte im Rahmen der Vorbereitungen für den TWIKE-Anlass im September 2007 durchgeführt werden. Als Anreiz fürs Ausfüllen wäre ein spezieller Preis denkbar. Allgemein interessante Daten würden dann auf [www.twikeklub.ch](http://www.twikeklub.ch) zusammengefasst.

Inhaltlich könnte man z.B. folgende Daten erheben:

- TWIKE-Nummer, Baujahr, Anschaffungsjahr, Gesamtkilometer, km/Tag, km/Jahr, km/Fahrt
- Geschlecht, Alter, Ausbildung, Beruf, Haushaltsgrösse, Kinder, Tiere
- Einsatzbereich (z.B. Pendelverkehr, Stadt, Ebene, Gebirge), Anzahl Personen pro Fahrt, andere Fahrzeuge in Haushalt, Nutzung während den Jahreszeiten, Ferienfahrten, Einsatz der Pedalen, Tiertransporte, Kindersitze, Gepäck/Ausrüstung
- Bestes Erlebnis
- Persönliche Gründe für die Nutzung des TWIKE
- Preisvorstellung und Finanzierung von Fahrzeug/Batterie (Kauf, Leasing, Miete, Kosten/km)
- Was würden Sie anders machen, wenn Sie mehr als 100 km Reichweite hätten?

### 3.2 Einsatzgrenzen des Fahrzeuges

Bei den Verkaufsargumenten für die ZEBRA-Batterie muss man beachten, dass alleine die höhere Kapazität der Batterie das Einsatzpotential des TWIKE nur geringfügig erhöht. Folgende konzeptionelle Eigenschaften des TWIKE bleiben wie bisher:

a) Fahrleistungen: Bei längeren Fahrten mit Geschwindigkeiten über 70 km/h erwärmt sich der Motor stark (über 150 °C), was der Lebensdauer abträglich ist. Ebenfalls ist das Getriebe (Lagerungen und Zahnräder) stark beansprucht, so dass häufigere Revisionen notwendig sind. Die Zuleitungen und Verbindungen zum Motor und Elektronik sind wohl für kurze Lastspitzen bis 25 A ausgelegt, aber nicht für Dauerlast. Bei den Rüetschi-Motoren wird ab 50% Entladetiefe aufgrund des hohen Innenwiderstandes der Batterie die Spannung und damit die Leistung nicht mehr ausreichend sein, um 80 km/h zu erreichen. Der Einsatz auf Autobahnen ist daher auch mit der ZEBRA-Batterie höchstens für kurze Abschnitte möglich.

b) Wartung und Service: Bereits heute werden TWIKE mit über 20'000 km pro Jahr eingesetzt. Dies bedeutet jedoch auch, dass alle 3 Monate ein Service und Reifenwechsel nötig ist.

c) Komfort: Das TWIKE ist bezüglich Fahrgeräusche, Sitzkomfort, Heizung, Kühlung und Lüftung nicht darauf ausgelegt, dass man länger als eine Stunde damit unterwegs ist. Dies lässt sich teilweise mit Zubehör verbessern (Standheizung, Sitzpolster etc). Grundsätzlich ist das TWIKE jedoch für den Nahverkehr ausgelegt und optimiert.

### 3.3 Alter der Fahrzeuge

Die ersten TWIKE III wurden 1995 hergestellt (rund 10 Prototypen), die Serie startete 1996/97 (weitere rund 190 Stück), ab 1999-2007 der Rest. Die ältesten Fahrzeuge sind 12 Jahre alt, rund 75% der Fahrzeugflotte sind älter als 5 Jahre. Da bei der ZEBRA-Batterie von einer längeren Haltbarkeit ausgegangen wird als bei den NiCd- und NiMH-Systemen könnte es sein, dass die erwartete Batterie-Lebensdauer länger ist als die Fahrzeug-Lebensdauer.

## 4 Kosten und Energiebilanz

---

Ist der Einsatz einer ZEBRA-Batterie rentabel? Der Aufwand für Entwicklung, Anschaffung und Einbau muss in einem günstigen Verhältnis zur Lebensdauer von Batterie und Fahrzeug stehen. Zudem sollte der Verbrauch pro gefahrener Kilometer im Rahmen liegen.

### 4.1 Kosten

Die Entwicklung und Programmierung einer Interface-Elektronik zur Verbindung des ZEBRA-CAN-Bus mit dem TWIKE-RS-485 und der übrigen Leitungen dürfte einen Entwicklungsaufwand von mindestens 500 Arbeitsstunden erfordern. Neben elektrischen Anforderungen sind die Interpretation der CAN-Daten, die Modellierung der Batteriedaten für den TWIKE-Umrichter, Betriebs- und Sicherheitsfragen zu lösen und Tests durchzuführen. Die Produktion einer 100er-Serie von noch prototypmässigen Interface-Schaltungen würde schätzungsweise rund 500 CHF/Stück kosten (reine Produktionskosten).

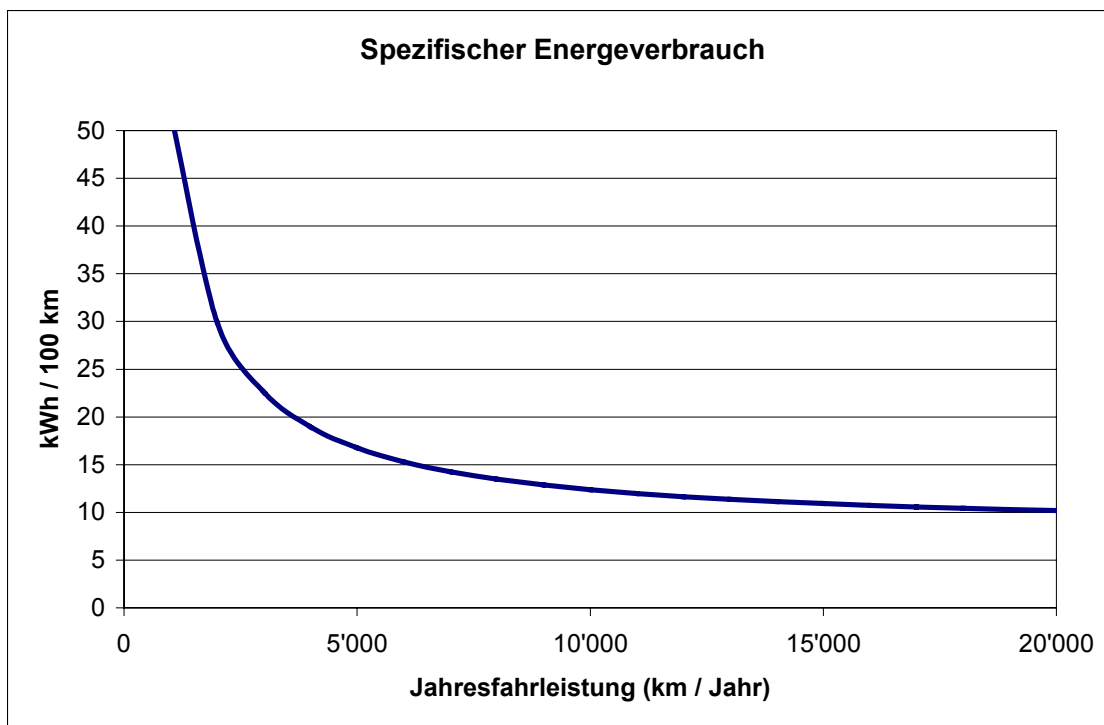
Die mechanische Konzeption benötigt zusätzlich schätzungsweise 100-200 Arbeitsstunden. Zu lösen sind die Änderungen am TWIKE, die Dimensionierung der ZEBRA-Batterie, die Halterung und Befestigung, die Abdeckungen, Abdichtungen und Kabelführungen.

Für den Einbau der Batterie ist pro Fahrzeug mit rund 1 Tag Arbeit zu rechnen, zuzüglich Montagematerial, Abdeckungen und Verbindungskabel.

Die Kalkulation der Kosten der ZEBRA-Batterie ab Lieferant MES-DEA, sowie der Aufwand für Vertriebs- und Kulanzleistungen muss noch gemacht werden.

## 4.2 Energiebilanz

Die Energiebilanz im Betrieb hängt vom Einsatzprofil ab. Grundsätzlich braucht die ZEBRA-Batterie im Standby zur Erhaltung der Systemtemperatur eine Grundleistung von rund 50 Watt, d.h. rund 1.2 kWh pro Tag oder 438 kWh pro Jahr. Das TWIKE-Fahrzeug braucht während der Fahrt rund 8 kWh pro 100 km. Dies ergibt folgenden Gesamtverbrauch:



Der Standby-Verbrauch hat bei Fahrleistungen über rund 8'000 km pro Jahr keinen grossen Einfluss mehr auf den Gesamtverbrauch. Bei knapp unterhalb 5'000 km pro Jahr ist der Standby-Verbrauch etwa gleich hoch wie der Energieverbrauch zum Fahren.

Wie bei anderen Batteriesystemen hängt der Gesamtverbrauch sehr stark vom Lademanagement und dem Alter der Batterie ab. Ein Leck in der Vakuumisolation würde den Standby-Verbrauch enorm erhöhen.

## 5 Produktions- und Vertriebskonzept

Um eine einzelne ZEBRA-Batterie in einem TWIKE zu testen ist es notwendig, bereits den Hauptteil der Entwicklungsarbeit zu leisten (Hardware-Prototyp des Interface und Programmierung). Um einen Entwicklungsentscheid zu fällen, muss man sich daher die Abwicklung der gesamten Serie bereits vorher genau überlegen.

### 5.1 Herstellung

Die Batterie wird aus den Standardzellen zu einem speziellen Block für das TWIKE zusammengebaut. Daher ist eine Produktions-Mindestmenge erforderlich. Das heute vorliegende Angebot geht von einer Mindestmenge von 100 Batterien aus.

Zur Optimierung der mechanischen und elektronischen Anpassungen und zur Markteinführung müsste eine erste Testserie von 5–10 Batterien gefertigt werden. Nach einer Testphase von 6–12 Monaten können dann monatliche Lieferchargen von 2–4 Batterien montiert werden, so dass die 100 Batterien über einen Zeitraum von 2–4 Jahren verkauft würden.

Die Batterie wird nur von einem einzigen Lieferanten weltweit gefertigt, geliefert und repariert. Eine Second Source ist beim ZEBRA-System nicht möglich, so dass bezüglich Preisverhandlungen, Liefertermine und Kulanzleistungen keine Konkurrenzangebote vorhanden sind. Preise und Leistungen müssen daher sehr genau vor Auftragsabwicklung langfristig festgelegt und abgesichert werden. Insbesondere muss sichergestellt sein, dass die notwendigen Informationen zum ZEBRA-BMS zur Verfügung stehen und bei der Entwicklung mit MES-DEA unkompliziert zusammengearbeitet werden kann.

## **5.2 Transport und Logistik**

Die Fertigung der Batterie erfolgt bei MES-DEA in Stabio im Südtessin. Der Umbau der TWIKE müsste von einem Spezialisten möglichst in der Nähe der Kunden erfolgen, damit die Kosten für den Transport der Fahrzeuge nicht zu gross ausfallen. Die Batterien sollten daher an diese TWIKE-Spezialisten ausgeliefert werden. Der Spezialist könnte dann sowohl die Fahrzeuge modifizieren, die Batterien einbauen, wie auch bei Garantiefällen und anderen Problemen die Reparaturen oder allfälligen Ersatz der Batterien vornehmen.

Reparaturen müssen in einer gut eingerichteten Werkstatt erfolgen, da für den Ausbau der Batterie Hebevorrichtungen und für die Fehleranalyse Spezialeinrichtungen notwendig sind.

## **5.3 Marktbearbeitung, Eingrenzung, Zuständigkeiten und Vertriebswege**

Die Wahl eines geeigneten Marktgebietes für die Einführung der Batterie ist wichtig. Die zukünftigen Fahrer der ZEBRA-Batterien sollten folgende Eigenschaften haben:

- Täglicher Einsatz mit mehr als 8000 km pro Jahr
- Anspruchsvolle Strecken und Fahrten bei jeder Witterung

Dadurch werden diese TWIKE alle 6 Monate einen Service brauchen, damit die Fahrzeuge auch mechanisch einwandfrei funktionieren. Damit der Aufwand für den Service tragbar bleibt sollten die TWIKE in der Nähe der Servicestation zu Hause sein.

# **6 Zusammenfassung und Fazit**

---

Die Einführung der ZEBRA-Batterie erachten wir als grundsätzlich möglich. Es könnte das Kundensegment für das TWIKE erweitern. Kunden, die mehr als 50 km pro Tag oder über 8'000 km pro Jahr fahren hätten damit eine Batterie, die wesentlich mehr Reserven bietet gegenüber den heutigen Systemen.

Folgende Punkte müssen jedoch beachtet werden:

- Die Kosten für Umrüstung und Batterie und damit die Betriebskosten werden nicht tiefer liegen als heute. Mit Kosten von 2'000 bis 3'000 CHF pro Jahr muss gerechnet werden.
- Bezüglich Lebensdauer wird voraussichtlich nicht die Batteriezelle die entscheidende Komponente sein, sondern eher die mechanischen und elektrischen Komponenten des Batteriesystems, der Verbindungsschaltungen und des TWIKE.
- Für Einsätze von unter 5'000 km pro Jahr bringt die Batterie einen grossen Mehrverbrauch durch die Standby-Leistung von 50 Watt.
- Da die ZEBRA-Batterie – anders als NiCd – nach jeder Fahrt voll geladen werden kann und sollte, wird man sie im Normalfall täglich bzw. über Nacht an die Steckdose anschliessen. Somit ist ein Parkplatz mit Steckdose erforderlich.
- Bei Fahrzeugen mit Grell/Rüetschi-Motoren (tiefere Kippspannung) wird man aufgrund des hohen Innenwiderstandes der Batterie und dem damit verbundenen Spannungsabfall bei höheren Geschwindigkeiten je nach Ladezustand nur 50% der sonst üblichen Fahrleistung des TWIKE nutzen können. Dies betrifft rund 100-200 Fahrzeuge der Serie. Das bedeutet, dass man bei jedem einzelnen TWIKE abklären muss, wie es

technisch ausgerüstet ist (Motor und Getriebe) und welchen Energieverbrauch es hat. Erst dann kann man im Einzelfall beurteilen, welche Fahrleistungen mit einer ZEBRA-Batterie mit diesem Fahrzeug möglich sind.

- Da nur ein einziger Lieferant für die Batterie existiert, müssen klare Verträge über die Lieferkonditionen, Garantieabwicklung und Preise erstellt werden, bevor die Investitionen getätigt werden. Das Risiko für die Mindestserie von 100 Batterien (ca. 1 Mio. CHF Umsatz) muss abgesichert werden.
- Wenn eine Serie von 100 Batterien gebaut werden kann, betragen die Entwicklungskosten pro Batterie schätzungsweise 1000 CHF. Die neben der Batterie notwendigen Teile (Interface, Kabel, Halterungen, Abdeckungen) kosten rund 1000 CHF, der Einbau ebenfalls rund 1000 CHF.

## **7 Anhang**

---

### **7.1 Literatur**

Weitere Angaben zur Batterie (Chemie, Funktion, Sicherheit usw.) sind in den folgenden Dokumenten zu finden:

- Datenblatt "ZEBRA Elektrischer Energiespeicher" (Rev. 01 vom 3.6.2004)
- ZEBRA Battery Handbook for Vehicle Applications (MES-DEA, Rev. 1.3 vom 8.5.2006)

### **7.2 Kontakt**

dreifels ag  
Bahnhofstrasse 23  
CH-4450 Sissach  
061 973 23 33

peter.zeller@dreifels.ch  
www.dreifels.ch

### 7.3 Bewertungsmatrix

Um einen Entscheid zum ZEBRA-TWIKE-Projekt zu fällen sind eine Reihe von Faktoren zu berücksichtigen. Die folgende Skizze ist als Anregung gedacht.

Batterietyp	NaNiCl (ZEBRA)	NiCd	NiMH	Li-Ion / Li-Po
Kosten Entwicklung				
Kosten Material				
Kosten Einbau				
Einkaufspreis (total, pro kWh)				
max. erzielbarer Verkaufspreis				
Marge				
min. Anzahl Kunden / Seriengrösse				
min. Batteriegrösse (Blöcke, kWh)				
max. Batteriegrösse (Blöcke, kWh)				
max. Reichweite (km)				
Gewicht (kg)				
Volumen (L x B x H)				
Standby-Verluste (W), Selbstentladung				
Einschränkungen bei Fahrleistungen				
Einbau abhängig vom Fahrzeug-Baujahr				
Temperatur-Einsatzbereich (°C)				
Batterieheizung / -kühlung				
erwartete Lebensdauer (Jahre, km)				
Alterungsverhalten				
Entsorgung / Giftstoffe / Sicherheitsaspekte				
Verbreitung / Erfahrungen mit dieser Technologie				
Anzahl Lieferanten / Konkurrenz				
Austauschbarkeit mit anderen Systemen / Rückwärtskompatibilität				
Modularität / Handhabbarkeit / dezentrale Wartbarkeit				
Änderungen nötig an Chassis / Karosserie				
Entwicklungszeit (Mt.)				
zukünftiges Entwicklungspotential				
Sonstiges				