



AMSTEIN+WALTHERT



21.02.2019, ITA-COSUF Utrecht

# Electric Mobility: New Risks In Underground Facilities?

Results of a Swiss Research Project

[urs.welte@amstein-walthert.ch](mailto:urs.welte@amstein-walthert.ch)

# Did you know?

Brand eines Elektrofahrzeuges nach Unfall  
Gepestet von Feuerwehr der Stadt Landeck  
510.165 Anrufe



Die Feuerwehr musste während dem Einsatz schweren Atemschutz tragen. Außerdem schien der Brand nicht enden zu wollen - das **Model S entzündete sich immer wieder**. Doch dann wendeten die Einsatzkräfte **keinen Trick an**: Sie druchtrennten die **Stromzufuhr der Lithiumbatterien**. Erst nach dem Kappen der Leitung zu den Hochleistungsbatterien konnte das Feuer letztlich gestoppt werden.

20 minuten  
Zürich  
MONTAG  
18. SEPTEMBER 2017

Aufbau  
Untercut statt Glatze –  
Feeniger tragen Toupet

Schweiz  
Schweizer Armee bot  
Jihadist für RS auf

Schluss  
sich  
liten profitiert

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

Verdammte richtig, ich bin Rapperin: Danielle Bregoli unterschrieb bei Atlantic Records.

**Feuerwehr fürchtet sich vor Tesla-Crashes**

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

ZÜRICH. Diesen Sommer brannte in Emmensee LU ein Tesla nach einem Unfall komplett aus. Für die Feuerwehr war die Situation neu – und gefährlich: Bei Elektro-Motoren besteht Stromschlaggefahr. Zudem können giftige Gase entstehen. Weil die Zahl der Elektro-Autos in der Schweiz laufend steigt, werden Feuerwehreinheiten in Kursen entsprechend geschult.

«Es herrschte **Unsicherheit**, als klar war, dass es ein E-Auto ist»

**Tunnel Safety?**

**Akku ist die mögliche Ursache für Brand bei einem tödlichen Tesla-Unfall im Tessin**

**Worst-Case für die Feuerwehr: Tesla-Brand**

**So gefährlich ist es, ein Elektroauto zu löschen**

**Should Battery Fires Drive Electric Cars Off the Road?**

Of the more than 150,000 car fires in the U.S. this year, one got all the attention



AMSTEIN+WALTHER



# Motivation

# Goals

- Scientific analysis of characteristics of electric vehicle fires in road tunnels
- Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and a conventional internal combustion engine vehicle
- Illustration of expected risk based consequences for future road tunnel operations

**New Methods and  
Worst-Case-Approach**



# Hypothesis

«Compared to conventional vehicles,  
electric vehicles lead to **increased fire hazards in road tunnels** due  
to their energy storage»



**Experiment**

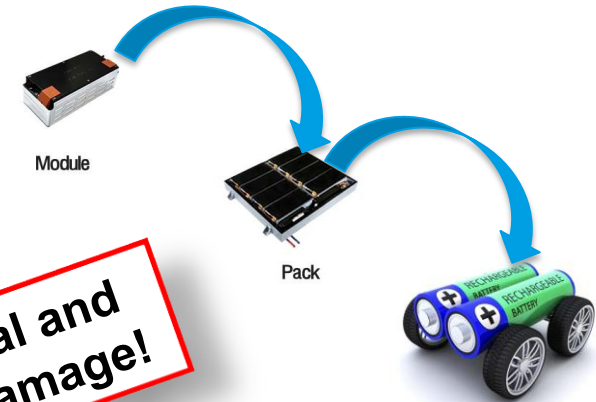
# Experiment



# Approach

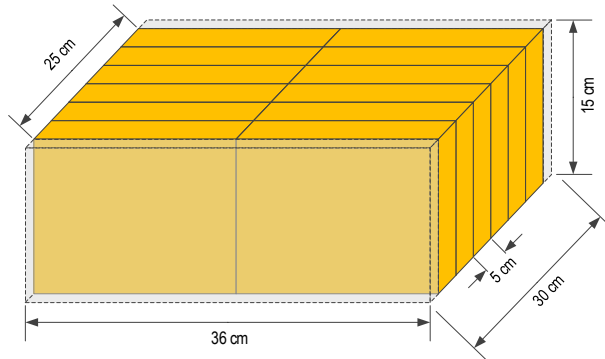


- Focus on battery
- Test of detached battery modules
- Scaling up the results to vehicle
- Special attention to gas emissions



**Mechanical and thermal damage!**

# Test Material



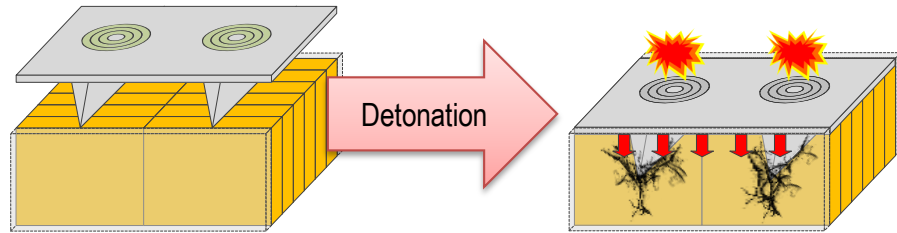
Module (4.14 kWh)

Characteristic	Description	
Number of cells	96 cells in 8 modules	
Electrode active material	Anode: Graphite	Cathode: LiNiMnCoO <sub>2</sub>
Electrolyte	Lithium hexafluorophosphate (LiPF <sub>6</sub> )	
Energy (gross/net)	33.182 / 27.2 kWh	
Specific energy (gross/net)	0.14 / 0.12 kWh/kg	
Thermal runaway	From 210 °C typical. High charge promotes thermal runaway.	

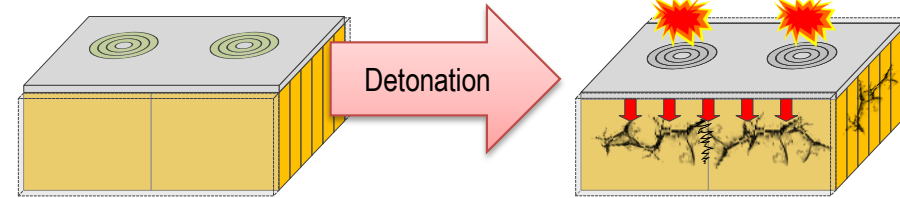
**New battery of a BEV!**



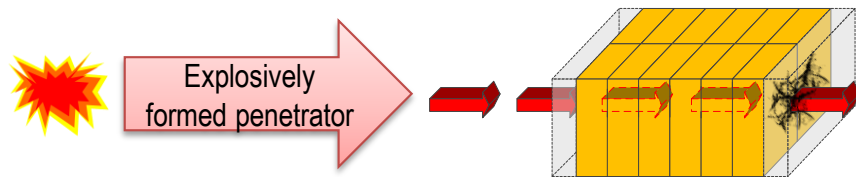
# Scenarios



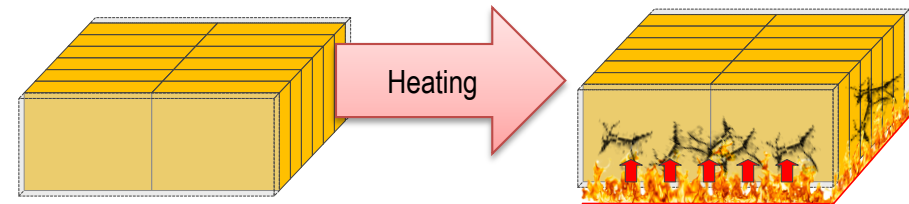
“Penetrating metal wedge”



“Blunt impact with structural damage”

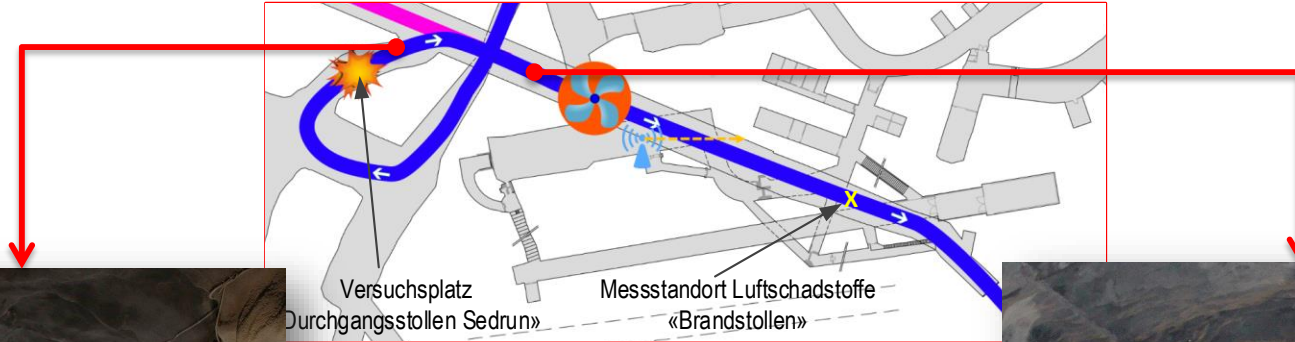


“Central, end-to-end penetration”



“Constant, thermal stress”

# Location



- No dilution by fresh air
- $\approx 84 \text{ m}^3/\text{s}$
- Road tunnel dimensions
- Safety measures





## Results and Discussion

# Visual Parameters



“Penetrating metal wedge”



“Blunt impact with structural damage”



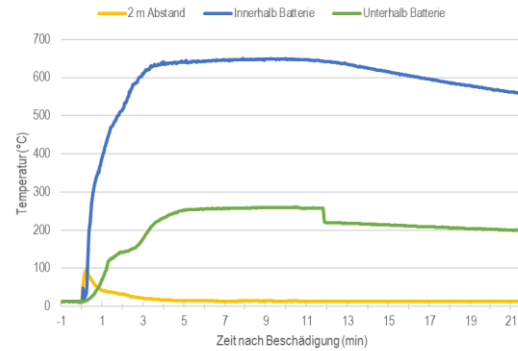
“Central, end-to-end penetration”



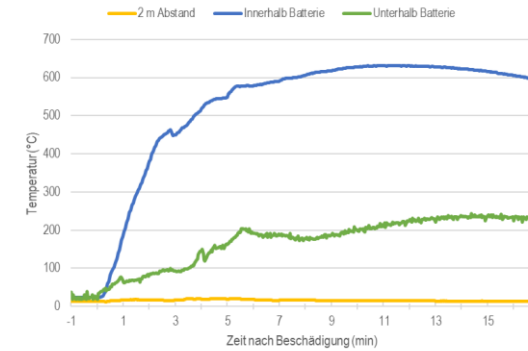
“Constant, thermal stress”



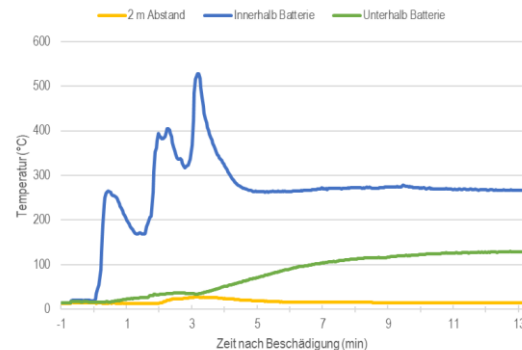
# Thermal Parameters



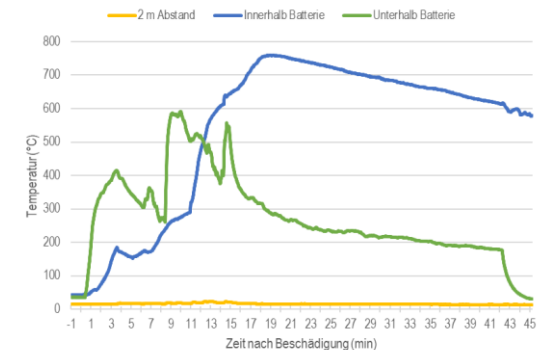
“Penetrating metal wedge”



“Blunt impact with structural damage”



“Central, end-to-end penetration”



“Constant, thermal stress”

# Chemical Parameters

Parameter	Test 1 («wedge»)	Test 2 («plate»)	Test 3' («puncture»)	Test 4 («fire»)
PH <sub>3</sub> [g]	< 0.4	---	< 0.4	---
F <sup>-</sup> as HF [g]	1.1	3.1	< 1	< 0.5
PO <sub>4</sub> -P as H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> [g]	< 1.5	< 1.5	11.3	< 1
Co [g]	457	567	190	364
Li [g]	107	124	42	92
Mn [g]	445	536	184	349
F <sup>-</sup> Aerosol [g]	152	160	68	126
NO [g]	< 1	1.1	< 1	1.5
NO <sub>2</sub> [g]	< 1	< 1	< 1	< 1
CO [g]	76	181	97	141
CO <sub>2</sub> [g]	8'500	6'000	2'000	7'800
TVOC [g]	20	196	93	32
Σ Aromate [g]	1.6	8.6	3.2	3.1
Benzene [g]	1.1	3	1.6	
Toluene [g]	0.2	1.1	0.5	
Xylene [g]	0.1	0.6	0.3	
Styrene [g]	0.1	3.0	0.5	
Duration	16 min	21 min	16 min	26 min

½ module!



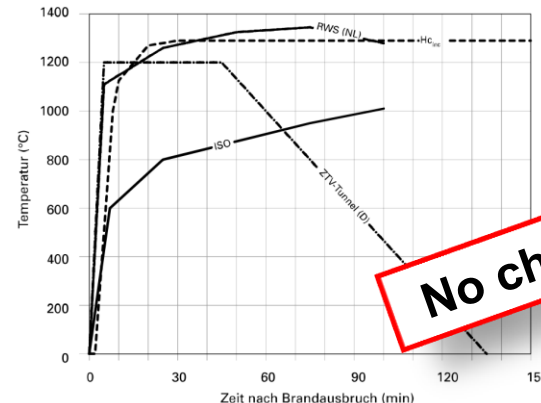
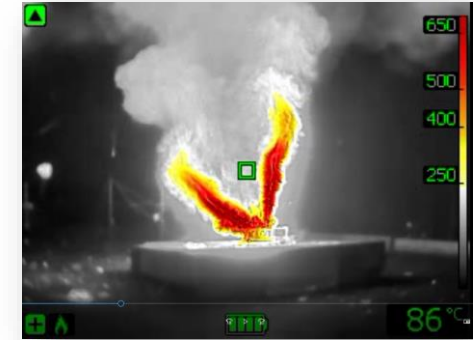
**Cause of damage  
has no influence!**

Never mentioned,  
surprisingly!



# Changing thermal hazards?

- Energy-rich fire sources and spectacular effects
- High temperatures will lead to vehicle fires
- But: “Vehicle fire remains a vehicle fire”
- Design standards still valid



**No changes expected!**



# Changing chemical hazards?

- Smoke is toxic anyways, but...
- ...new substances and potential contamination risks

Pollutant	Formula	Description <sup>a</sup>
Hydrogen fluoride	HF	colourless gas with pungent odor, very toxic
Phosphorus oxide fluoride	POF <sub>3</sub>	colourless, pungent smelling gas, undefined toxicity ([49])
Phosphoric acid	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	colourless and odourless solid or liquid, toxic
Volatile organic compounds	VOC	carbonaceous substances, typically present as gas
Monophosphane	PH <sub>3</sub>	flammable, toxic, colourless and odourless gas, very toxic
Heavy metal aerosols	Li, Co, Mn	Dusty residues in the air, very toxic

**Table 4:** Chemical hazards in a room with 1000 m<sup>3</sup> (≠ road tunnel)

Substance	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	IDLH-Value (mg/m <sup>3</sup> )	Q
Co	1'100	20	55
Li	300	0.5	600
Mn	1'100	500	2.2
F <sup>-</sup> Aerosol	400	250	1.6
CO <sub>2</sub>	121'000	72'000	1.68

Car parks?

**Tunnels: no changes expected!**  
**Other infrastructures: maybe!**



# Further implications?

- Safety equipment in tunnels sufficient!
- No extinguishing, only cooling: lots of water
- New potential hazards in underground infrastructures



**Further research!**



AMSTEIN+WALTHERT



Thank you for your  
attention.

[urs.welte@amstein-walthert.ch](mailto:urs.welte@amstein-walthert.ch)