

Brandgefahr von E-Fahrzeugen

Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt BRAVA

Peter Sturm, Patrik Fößleitner
Technische Universität Graz



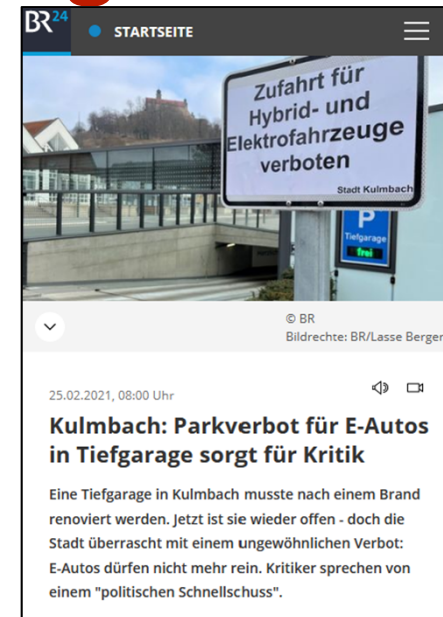
Brände von Elektrofahrzeugen



Quelle: <https://www.zeit.de/news/2021-05/03/hoher-schaden-nach-brand-eines-elektroautos>



Quelle: <https://vorarlberg.orf.at/stories/3096671/>



Quelle: <https://www.br.de/nachrichten/bayern/kulmbach-parkverbot-fuer-e-autos-in-tiefgarage-sorgt-fuer-kritik,SPwQJQV>

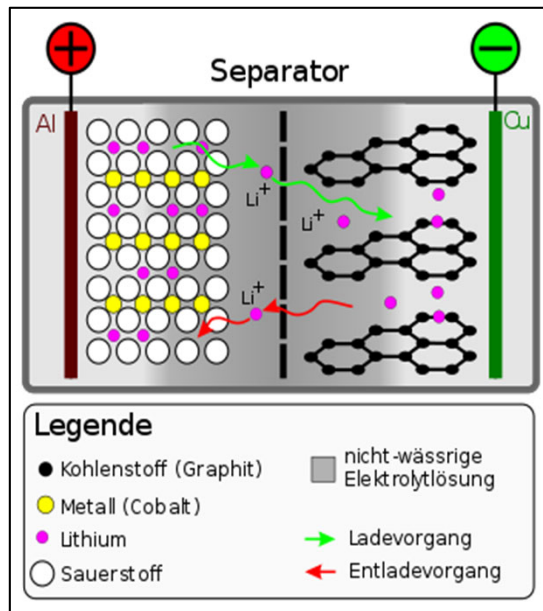
Brandursachen

- Aufgrund eines technischen Defekts
 - Ausgehend vom Fahrzeug
 - Ausgehend vom Energiespeicher
- Aufgrund einer Kollision
 - Brandüberschlag von anderem Fahrzeug
 - Brandentstehung aus dem Energiespeicher (Akku)



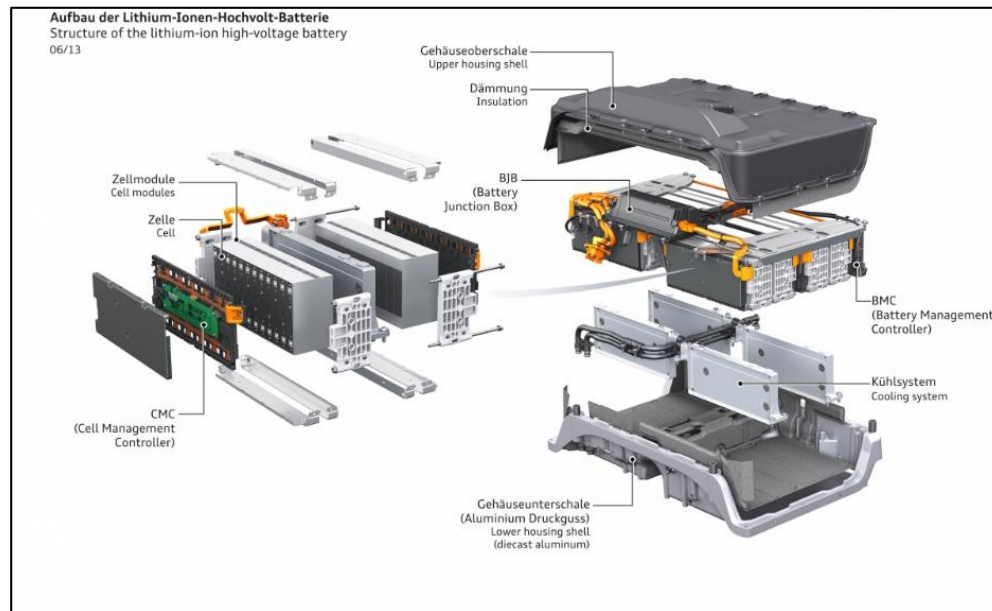
Aufbau Akkumulator (Batterie)

Zelle



Wikimedia Foundation Inc., „Lithium-Ionen-Akkumulator,“ 2021. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator>

Zelle → Module → “Pack”



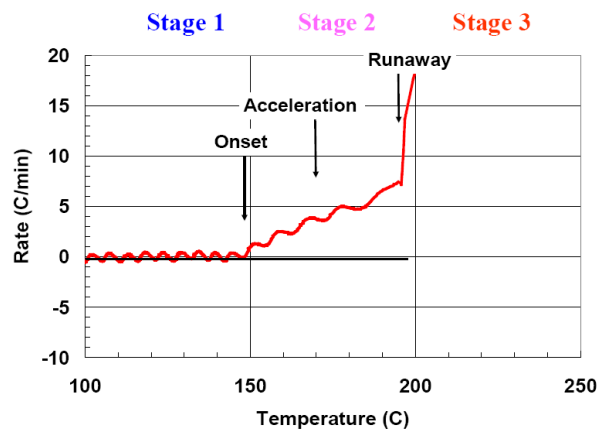
AUDI AG, „Audi A3 Sportback e-tron,“ 2021. [Online]. Available: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/hybrid-technologies/audi-a3-e-tron_en

Energiespeicher (Li-Ion Technologie)

- Brandursache
 - Elektrische, thermische oder mechanische Überbelastung kann zur Schädigung des Separators zwischen Anode und Kathode des Akkumulators (Batterie) führen
 - Kurzschluss resultiert zu einer lokalen Temperaturerhöhung → Verdampfung brennbarer Substanzen → lokaler Brand
 - Thermisches Durchgehen (thermal runaway) führt mit dem im Elektrolyten gespeicherten Sauerstoff zum Selbsterhalt des Brandes, Löschen kaum möglich

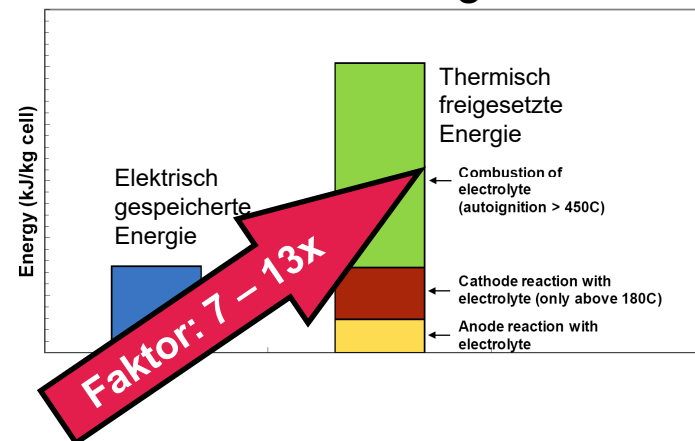


Thermal Runaway



Quelle: D. H. Doughty, "A General Discussion of Li Ion Battery Safety," The Electrochemical Society Interface, vol. Summer 2012, pp. 37-44

Wärmefreisetzung Li-Ion Zelle



Quelle: D. H. Doughty, A. A. Pesaran "Vehicle Battery Safety Roadmap Guidance," National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA, NREL/SR-5400-54404, 2012

Brandereignisse E-Fahrzeuge



Kollision mit Leitschiene,
Bellinzona, 2018

Available: <https://www.heute.at/welt/news/story/Tesla-Lenker-verbrennt-in-eigenem-Fahrzeug-Akku-ueberhitzt-Bellinzona-Tessin-Schweiz-48799775>



Kollision mit Leitschiene,
Pians 2017

Feuerwehr der Stadt Landeck, „Brand eines Elektrofahrzeuges nach Unfall (Facebook-Video)“, 17. 10. 2017. [Online]. Available: <https://www.facebook.com/802617813183804/videos/1297901856988728/>

Verkehrsinfrastruktur-
forschung (VIF)
2018

Brandversuche von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen



Federal Ministry
Republic of Austria
Climate Action, Environment,
Energy, Mobility,
Innovation and Technology



Ergebnisse aus dem
Forschungsprojekt BRAFA



Quelle: TU Graz / Lünghammer

Ziele & Projektpartner

- **TU Graz | Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik**
 - Konsortialführung, Versuchsdurchführungen, Numerische Simulationen
- **TU Graz | Institut für Fahrzeugsicherheit**
 - Sicherheitsbetrachtung für Elektrofahrzeuge
- **ILF Consulting Engineers Austria GmbH**
 - Risikoanalyse für Straßentunnel
- **Österreichischer Bundesfeuerwehrverband**
 - Durchführung von Löschtechniken
- **MU Leoben | Chair of Subsurface Engineering**
 - Bereitstellung der Infrastruktur, Untersuchung Löschwasser + Betonkontaminierung

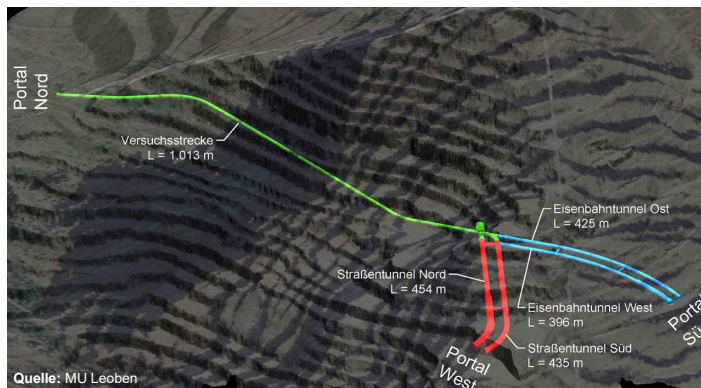


Versuchsort „Zentrum am Berg“

- Forschungseinrichtung am Erzberg
- 2 Straßentunnel, 2 Eisenbahntunnel
- Unterirdische Versuchsflächen (4km)



Quelle: TU Graz / IVT



Quelle: MU Leoben



Quelle: TU Graz / IVT

Brandversuche

- Einzelne Batteriezellen
- Module
- Battery packs
- Fahrzeuge



Fahrzeugversuche - Experimente

- Serie von **5 Fahrzeugversuchen**

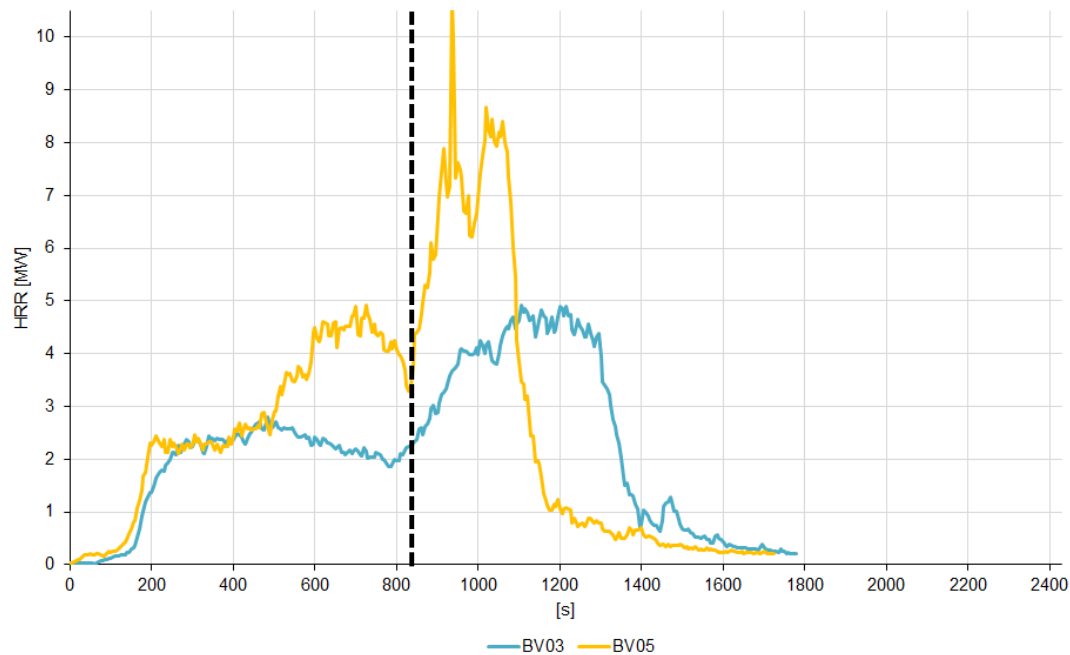
Versuch	Fahrzeug- klasse	Fahrzeugtyp	Batterietyp/ Kraftstoff	Entzündung	Anmerkung
BV01	Kompakt- wagen	BEV Baujahr 2020	Ca. 80 kWh, NMC	Auslösung eines Kurzschlusses in der Batterie durch NaCl _{aq} Flutung	Einsatz Löschdecke
BV02	Klein- transporter	BEV Baujahr 2016	24 kWh, LMO	Externe Wärmezufuhr Batterie (Gasbrenner auf Batterieunterboden)	
BV03	SUV	ICEV Baujahr 2020	Diesel	Befuerung des Innenraums	
BV04	Klein- transporter	ICEV Baujahr 2010	Diesel	Befuerung des Motorraums	
BV05	SUV	BEV Baujahr 2020	Ca. 80 kWh, NMC	Befuerung des Innenraums; nach 10 Minuten Zündung Batterie durch NaCl _{aq} Flutung	Einsatz Löschlanze

Fahrzeugversuche - Ergebnisse



Fahrzeugversuche - Ergebnisse

Wärmefreisetzungsrates: Versuch BV03 (ICEV) vs. BV05 (BEV)



Fahrzeugversuche - Ergebnisse

- Absolutmengen an Gasemissionen

Test-Nr.	CO ^②	CO ^③	CO ₂ ^③	NO _x ^③	Bemerkung
BV01	4 530 g	6 377 g *	228 kg *	581 g *	BEV
BV02	Keine Gasmessungen durchgeführt				
BV03	4359 g	7341 g	405 kg	1137 g	ICE/Diesel
BV04	1643 g	2526 g	246 kg	633 g	ICE/Diesel
BV05	9904 g	14835 g	638 kg	1600 g	BEV

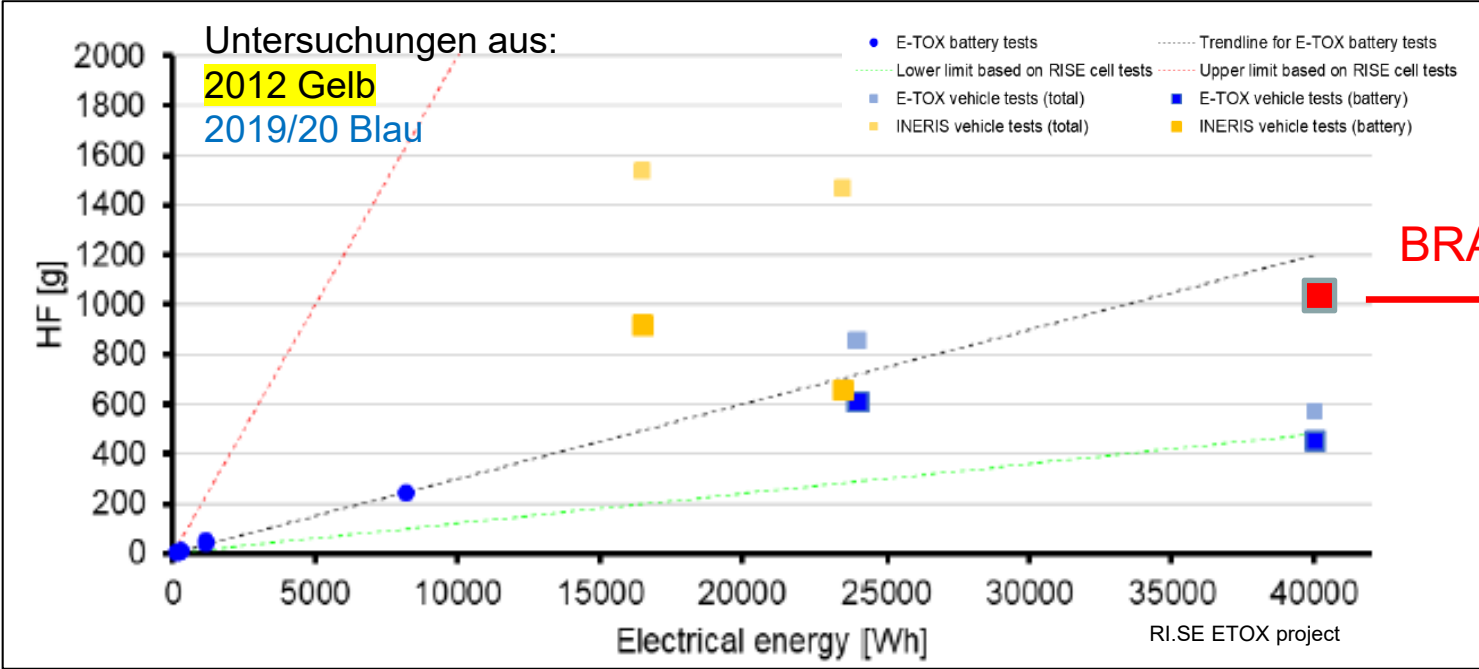
Test-Nr.	HCl incl. Cl- ^②	SO ₂ incl. SO ₄ - ^②	H ₃ PO ₄ incl. PO ₄ - ^②	HF incl. F- ^②	Bemerkung
BV01	1120 g	259 g	99 g	1333 g	BEV
BV02	Keine Gasmessungen durchgeführt				
BV03	1261 g	145 g	14 g	164 g	ICE/Diesel
BV04	121 g	88 g	n/a	<NG	ICE/Diesel
BV05	1409 g	175 g	n/a	1142 g	BEV

* teilweise Messausfall



Fahrzeugversuche - Ergebnisse

- Absolutmengen an Gasemissionen, unterschiedliche Technologie



BRAFA



Fahrzeugversuche - Ergebnisse

- Gaskonzentrationen in verschiedenen Höhen über Fahrbahn

Test-Nr.	HCl [mg/m ³]			SO ₂ [mg/m ³]			H ₃ PO ₄ [mg/m ³]			HF [mg/m ³]		
Location	②			②			②			②		
Height	6.4 m	4.8 m	1.6 m	6.4 m	4.8 m	1.6 m	6.4 m	4.8 m	1.6 m	6.4 m	4.8 m	1.6 m
BV01 (BEV)	61.8	31.0	4.4	2.8	14.3	1.5	2.5	1.3	0.3	38.4	10.3	13.5
BV02 (BEV)	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
BV03 (ICE)	61.2	32.1	0.9	0.9	3.0	0.5	0.1	0.1	0.1	8.3	3.2	0.7
BV04 (ICE)	n/a	6.3	n/a	n/a	3.7	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	*	n/a
BV05 (BEV)	18.8	35.0	2.6	0.5	9.3	0.7	n/a	n/a	n/a	17.3	20.1	5.3
IDLH-30	81			286			1092			27		
n/a = not analysed * = below detection limit												TU
Graz / BRAFA project												

Löschtechniken

- Kühlen
- Eintauchen (Abrollcontainer)
- Löschlanze
- Löschdecke



Quelle: TU Graz / IVT

Löschtechnik: Kühlen

PKW: ca. **11m³** Löschwasser

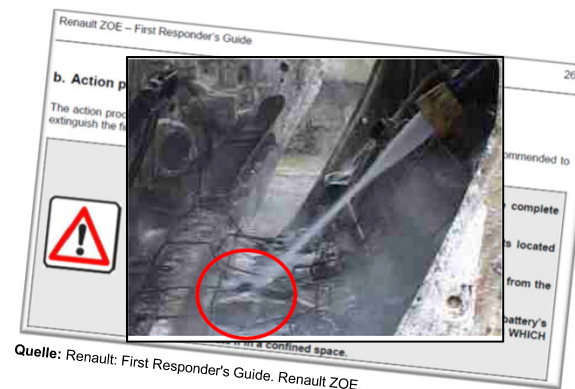
„Standard“-TLF2000: **2m³**

× Löschwasser muss direkt auf Batterie gerichtet sein

„Fireman-
Access“



Quelle: <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/fr/paroles-experts/un-partenariat-avec-les-pompiers-pour-la-surete-des-vehicules-electriques/>



Quelle: Renault: First Responder's Guide. Renault ZOE.

Löschtechnik: Löschanze

Anwendung: manuell oder pneumatisch

- ✓ Wenig Löschwasser
- ✓ Geringer Platzbedarf
- ✗ Position der Batterie ev. unbekannt



Quelle: BAS Vertriebs GmbH, E-Löschsystem: Elektrofahrzeugbrände sicher ablöschen mit dem E-Löschsystem. [Online]. Available: <https://www.bas-brandschutz.de/de/aktuelles/2020/e-loeschlanze.php>

Löschtechnik: Löschanze

BRAFA
Brandauswirkungen von Fahrzeugen
mit alternativen Antriebssystemen

Battery pack

 TU
Graz
Graz University of Technology

 ivt
Institut für
Verbrennungskraftmaschinen
und Thermodynamik

 vsi
Vehicle Safety Institute

 ILF
CONSULTING
ENGINEERS

 ÖBFV

 M
MONTAN
UNIVERSITÄT
LEOBNERD

 ASFINAG

 Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

 FFG
Forschung wirkt.



Löschtechnik: Löschdecke

- ✓ Rauchausbreitung kurzzeitig verringert
- ✗ Schwierige Handhabung



Löschtechnik: Löschdecke

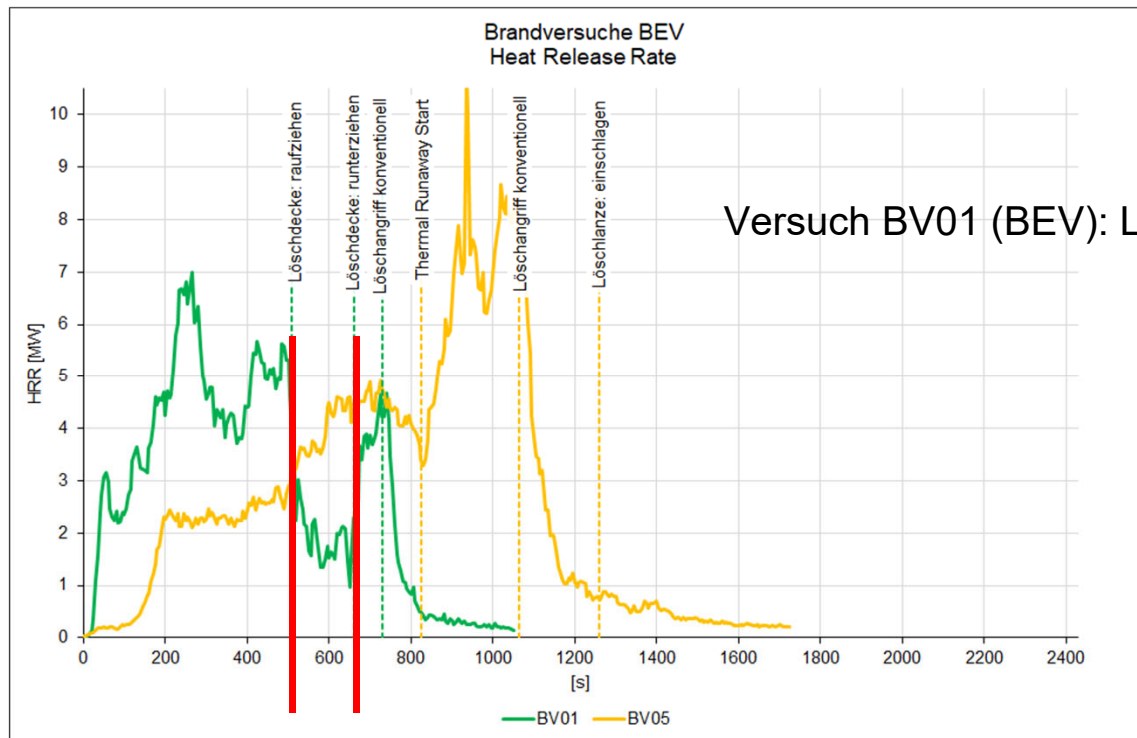
BRAFA
Brandauswirkungen von Fahrzeugen
mit alternativen Antriebssystemen
- BV01 -







Wärmefreisetzung – Löschdecke



Fazit

- Realbrandversuche mit
 - Batterie-Modulen, -Packs und Fahrzeugen (2 ICEV, 3 BEV)
- Vergleich Fahrzeugbrand ICEV vs. BEV:
 - Wärmefreisetzung: mittlere HRR gleich, max. HRR bei BEV größer
 - Saure Gase: Absolutmengen von HCl gleich, HF bei BEV naturgemäß höher (Konzentrationen unter IDLH-Werten)
 - Schwermetalle im Löschwasser: Grenzwertüberschreitung bei Nickel
- Untersuchung mehrerer Löschtechniken
 - Löschlanze – effektiv, aber nicht einfach handzuhaben
 - Löschdecke – wenn Batterie in Brand involviert kaum/keine Wirkung





Fahrzeug-Brandversuche von batterieelektrischen Fahrzeugen

Download Ergebnisbericht: <https://projekte.ffg.at/projekt/3290205>



Quelle: TU Graz / Lünghammer

Projektbeteiligte

Download Ergebnisbericht:

<https://projekte.ffg.at/projekt/3290205>

- **Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz**
Peter Sturm, Daniel Fruhwirt, Philip Leonhardt, Thomas Nöst
<https://ivt.tugraz.at>
- **Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH**
Patrik Fößleitner, Andrea Schirmer
<https://www.fvt.at>
- **Institut für Fahrzeugsicherheit, TU Graz**
Simon Heindl, Alexander Hödl
<https://www.tugraz.at/institute/vsi>
- **Chair of Subsurface Engineering, MU Leoben**
Robert Galler, Bernhard Reinwald, Robert Wenighofer
<https://www.unileoben.ac.at>
- **ILF Consulting Engineers GmbH**
Oliver Heger, Bernhard Kohl
<https://www.ilf.com>
- **Österreichischer Bundesfeuerwehrverband**
Stefan Krausbar, Alfred Reinwald
<https://www.bundesfeuerwehrverband.at>

- Besonderen Dank an Herrn Dr. Reinhard Ellinger (**Laboratorium für Umweltanalytik GmbH**)
für die Chemische Analyse der Versuche
<http://www.lua.co.at>

