

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Die Lithium-Ionen-Zelle	3
2.1.1	Der Thermal Runaway	6
2.1.2	Überhitzung als Auslösemechanismus des TR	8
2.2	Die „druckfeste Kapselung“ als Zündschutzart	9
2.2.1	Grundlagen	9
2.2.2	Druckentlastungselemente	10
2.2.3	Die Leckagerate	11
2.3	Grundlegende Kenngrößen von Brenngas-Luft-Gemischen	11
2.4	Energiebetrachtung	12
2.4.1	Mechanismen der Wärmeübertragung	13
2.4.2	Die Energiespeicherung	15
2.4.3	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	15
2.4.4	Das TNT-Äquivalent: freiwerdende Explosionsenergie	17
2.5	Mechanische Beanspruchungsanalyse	20
2.5.1	Erfassung der Materialdehnung	20
2.5.2	Statische und dynamische Druckmessung	21
2.6	Stand der Technik und Zielsetzung	22
3	Material und Methoden	25
3.1	Versuchsaufbau	25
3.1.1	Verwendetes Gehäuse „CUBEx“	28
3.1.2	Energiebetrachtung des Versuchsgehäuses	29
3.1.3	Eckdaten der Versuchszelle	31

3.1.4	Wärmeleitfähigkeiten und Wärmeübergangskoeffizienten	32
3.1.5	Zündfähige Gase	32
3.1.6	Druckabfalltests	33
3.1.7	Streckgitter als Druckentlastungselemente	33
3.1.8	Unsicherheiten der Messung von Temperatur und Druck	35
3.1.9	Zusammenfassung der relevanten Messunsicherheiten	36
3.2	Versuchsdurchführung und Auswertung	37
3.2.1	Vorbereitung und Durchführung des Versuchs	37
3.2.2	Auswertung	39
4	Ergebnisse und Diskussion	41
4.1	Einfluss der Variation von freiem Volumen und innerer Oberfläche	42
4.1.1	Betrachtung der Energieeinträge	43
4.1.2	Betrachtung der Energieverluste	45
4.1.3	Energiebilanz	47
4.1.4	Zusammenhang zum beobachteten Druck	49
4.1.5	Abweichung zur Literatur	52
4.1.6	Stärke des Thermal Runaway	54
4.2	Einfluss explosionsfähiger Gase	60
4.2.1	Vergleichsversuche ohne Zelle	61
4.2.2	Anmerkungen zu den Messdaten der H ₂ -Luft-Versuche	62
4.2.3	Energieeintrag	62
4.2.4	Zusammenhang von Energieeintrag und -verlust zum Druck	65
4.2.5	Weitere Kenngrößen	68
4.2.6	Überlagerung von Gasexplosion und Thermal Runaway	72
4.2.7	Zusammenfassung	73
4.3	Untersuchung verschiedener Druckentlastungselemente	74
4.3.1	Druckentlastung durch die Erhöhung der inneren Oberfläche	74
4.3.2	Druckentlastung durch Leckage	78
4.4	Überblick über alle Versuchsergebnisse	80
5	Zusammenfassung und Ausblick	83
	Literaturverzeichnis	87