

Abbrandversuche für 54mm-, 38mm- und 29mm-Hybridmotoren

Treffen auf der Roten Jahne am 09.04.2022

Offizieller Flugtag der AGM

Ziel war das Messen des Schubes von 12 Motoren, davon 11 Hybrid-Motoren und einem Feststoff-Motor. Wir haben an diesem Tag aber nur 8 Hybrid- und 2 Feststoffmotoren testen können. Dieses Dokument beinhaltet die Zusammenfassung, Konfiguration und den Vergleich der 7 erfolgreich gezündeten Hybrid-Motoren. Ein originaler Contrail-Motor zündete leider nicht, so dass dazu keine Messergebnisse vorliegen.

54mm-Motoren

Alle drei getesteten 54mm-Motoren wurden in der gleichen Motorkonfiguration gemessen:

1. Düse: „slow“
2. Injector: 3/16“
3. Grainlänge: 12“
4. Motorlänge: 28“

Diese Konfiguration entspricht einem Contrail J-245 Black Gold Motor mit den folgenden Daten:

1. N₂O Tankinhalt: 530cm³
2. Mittlerer Schub: 245N
3. Spitzenschub: 681N
4. Impuls: 644Ns
5. Brennzeit: 2,62s

Ralf's Paraffin/Epoxid-Mischung ohne Wirbelkammer (Motor-1)

Es ist zu erkennen, dass das Durchzünden des Motors verzögert erfolgt. Im Video ist zu erkennen, dass der Grain schon brennt, aber noch keinen Schub erzeugt (schwarzer Rauch für die ersten 200ms).

Im Video ist auch zu erkennen, dass ab 1,9s der Schub sprunghaft geringer ausfällt (kleinere Flamme sowie geringere Abbrandgeräusche).

Die Messergebnisse sind aber sehr gut bzgl. des Schubes, Impulses und Brenndauer:

1. Mittlerer Schub: 265N
2. Spitzenschub: 430N (außer Zündpeak mit 510N)
3. Impuls: 742NS, was einem **J-265** entspricht
4. Brenndauer: 2,8s

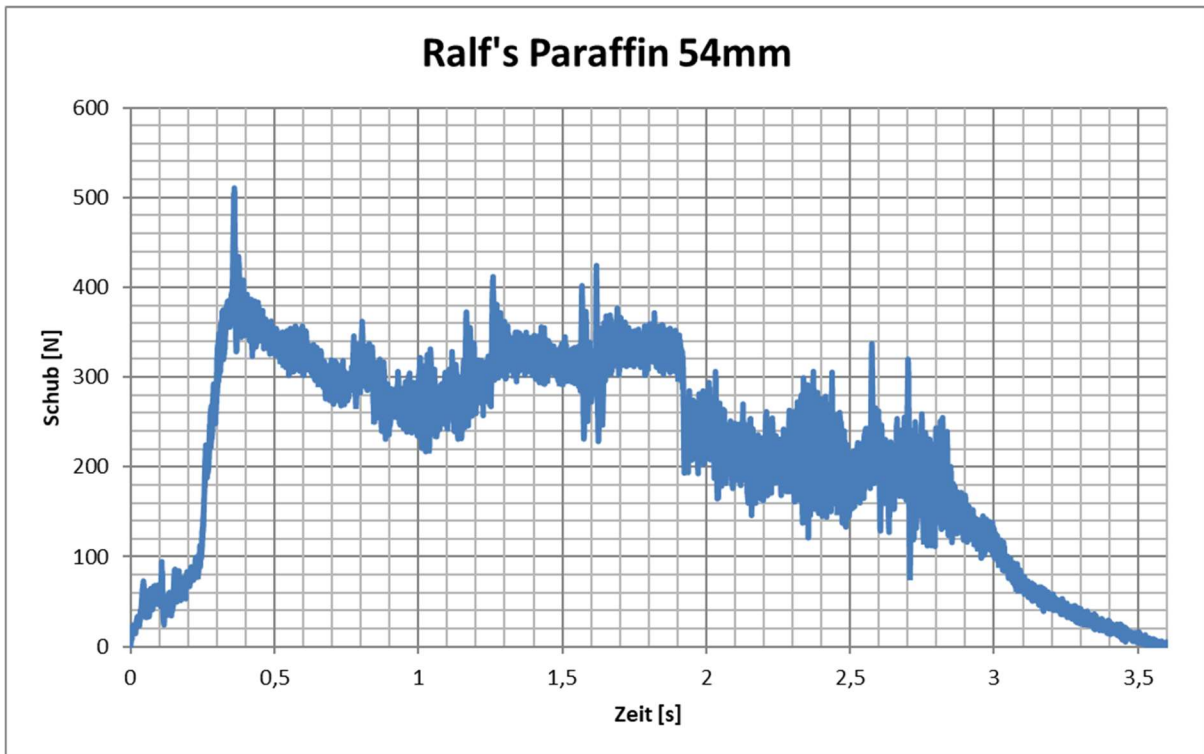


Abbildung 1: Schubkurve des 54mm Motors mit Paraffin/Epoxy-Mischung ohne Wirbelkammer

Ralf's Paraffin/Epoxid-Mischung mit Wirbelkammer (Motor-5)

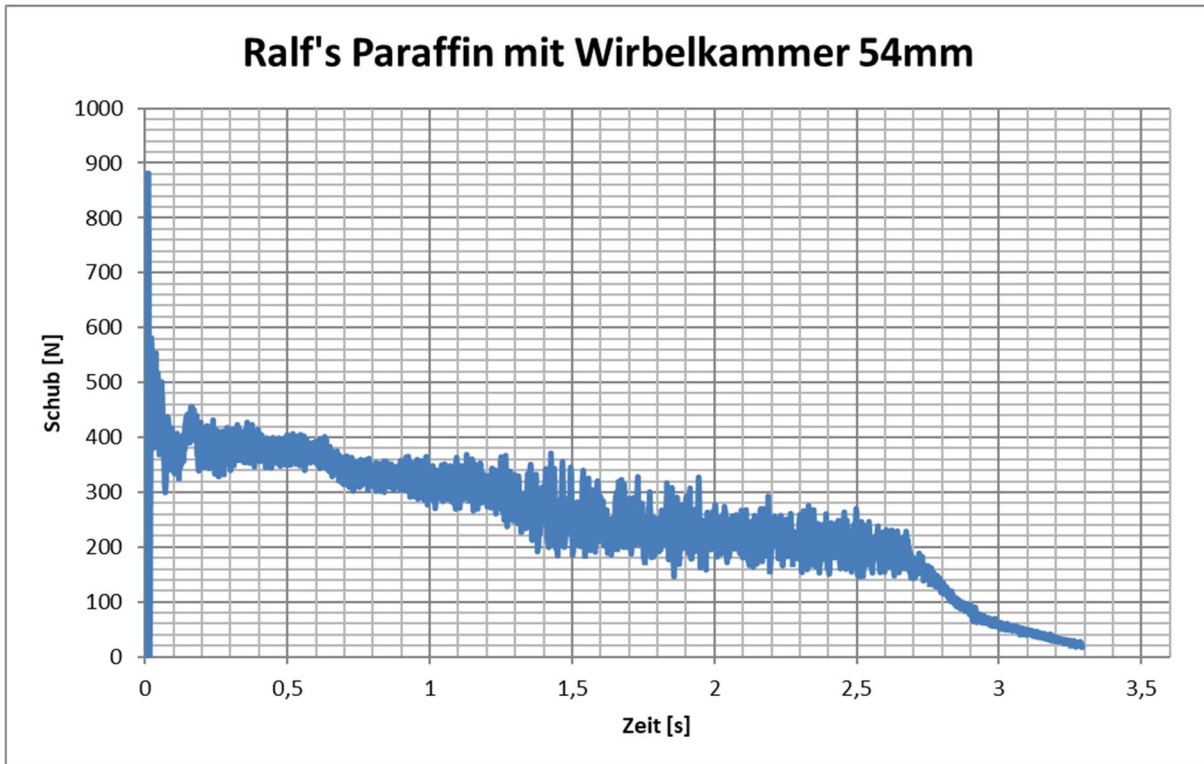


Abbildung 2: Schubkurve des 54mm Motors mit Paraffin/Epoxid-Mischung mit Wirbelkammer

Diesmal zündete der Motor sofort mit einem erkennbaren Zünd-Peak bis nah an die Begrenzung des Messsystems (890N - anderes Zündverfahren?). Die Verbrennung ist wesentlich gleichmäßiger mit ebenfalls guten Messergebnissen:

1. Mittlerer Schub: 282N
2. Spitzenschub: 600N (außer Zündpeak mit 880N)
3. Impuls: 803Ns, was einem **J-282** entspricht
4. Brenndauer: 2,85s

Bitumen-Gain (Motor-2)

Der Motor mit Bitumen-Grain ist eine Contrail-Re-Fill-Variante. Er zeigt leider keinen vergleichbaren Schub/Impuls wie die anderen beiden getesteten Motoren oder dem Contrail-Motor:

1. Mittlerer Schub: 207N
2. Spitzenschub: 550N (außer Zündpeak mit 880N)
3. Impuls: 569Ns, was einem **I-207** entspricht
4. Brenndauer: 2,75s

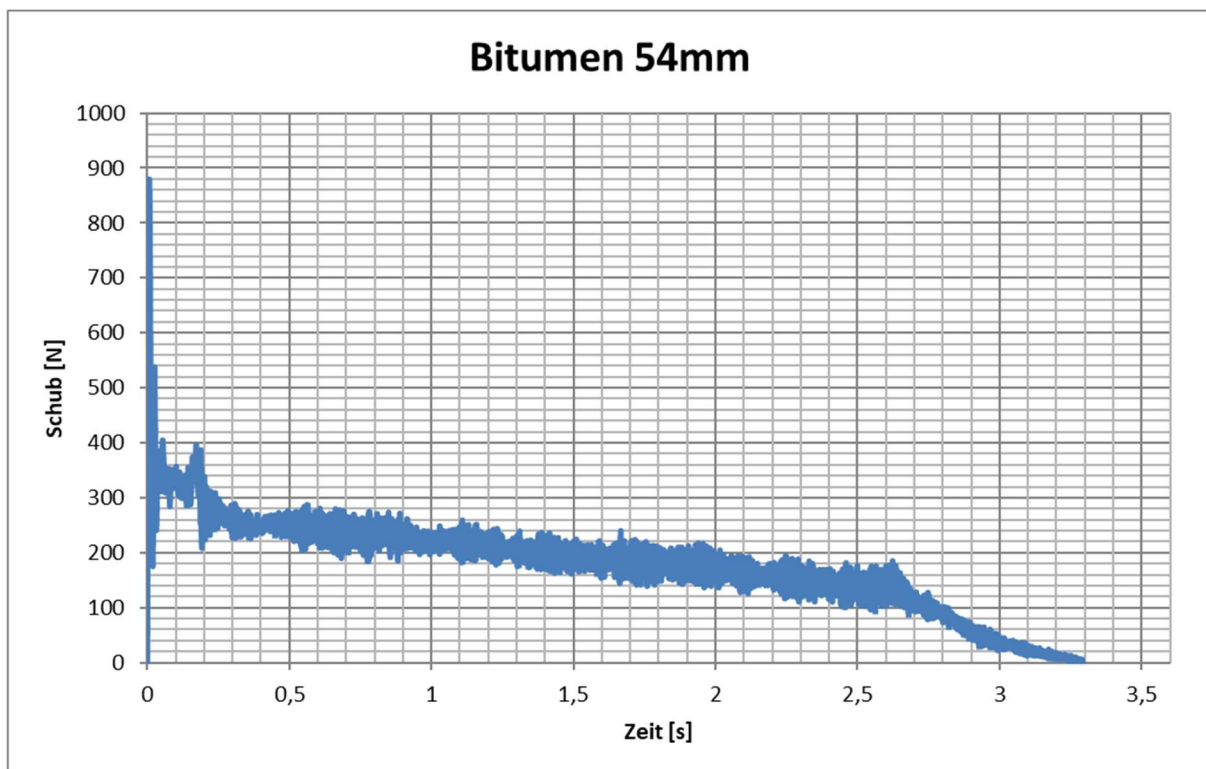


Abbildung 3: Schubkurve des 54mm Motors mit Bitumen-Re-fill

Für einen besseren Vergleich wurden die drei Motoren in einer gleichen Skalierung in einem Diagramm dargestellt.

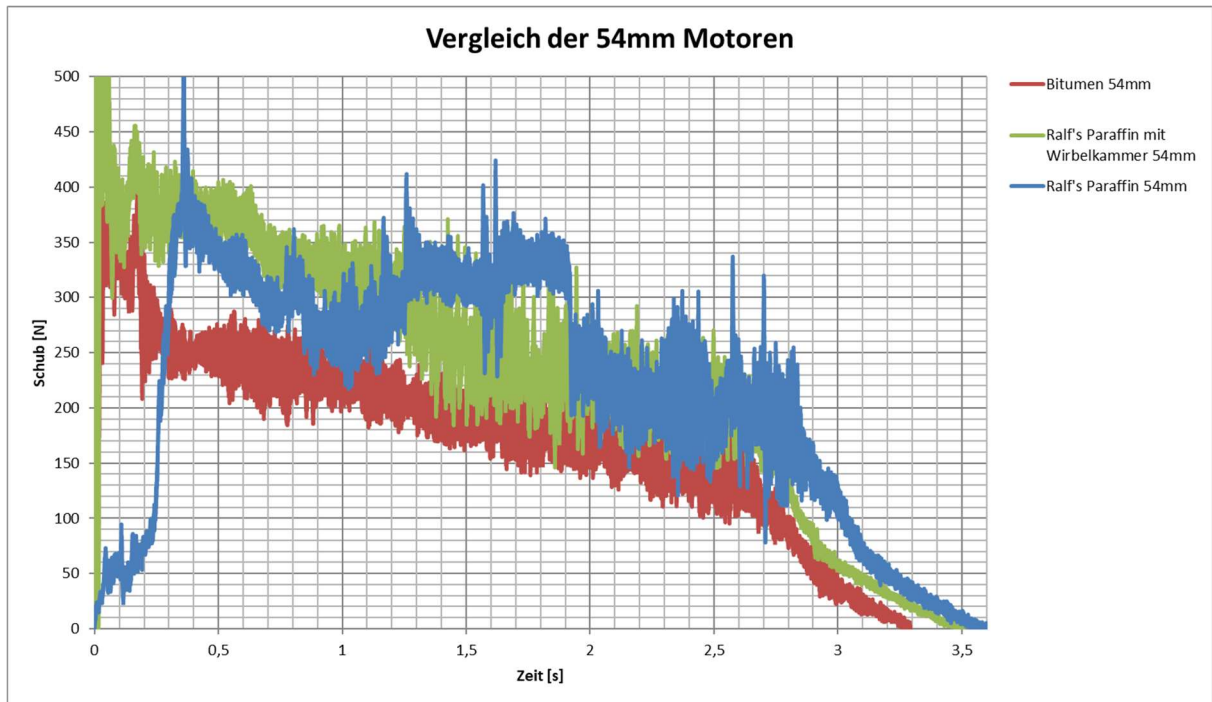


Abbildung 4: Vergleich der 54mm-Motoren

38mm-Motoren

Alle drei getesteten 38mm-Motoren wurden in der gleichen Motorkonfiguration gemessen:

1. Düse: „fast“
2. Injector: 1/4“
3. Grainlänge: 8“
4. Motorlänge: 36“

Damit sind die Ergebnisse mit den vorherigen Tests gerade der ABS-gedruckten Motoren vergleichbar. Es wurde lediglich ein Test (am 16.05.2021 an gleicher Stelle) mit PUR-Flex in einer anderen Konfiguration durchgeführt.

Diese Konfiguration entspricht einem Contrail **I-307HP** Motor mit den folgenden Daten:

1. N₂O Tankinhalt: 550cm³
2. Mittlerer Schub: 308N
3. Spitzenschub: 777N
4. Impuls: 573Ns
5. Brennzeit: 1,85s

ABS-Stern optimiert (konisch) (Motor-3)

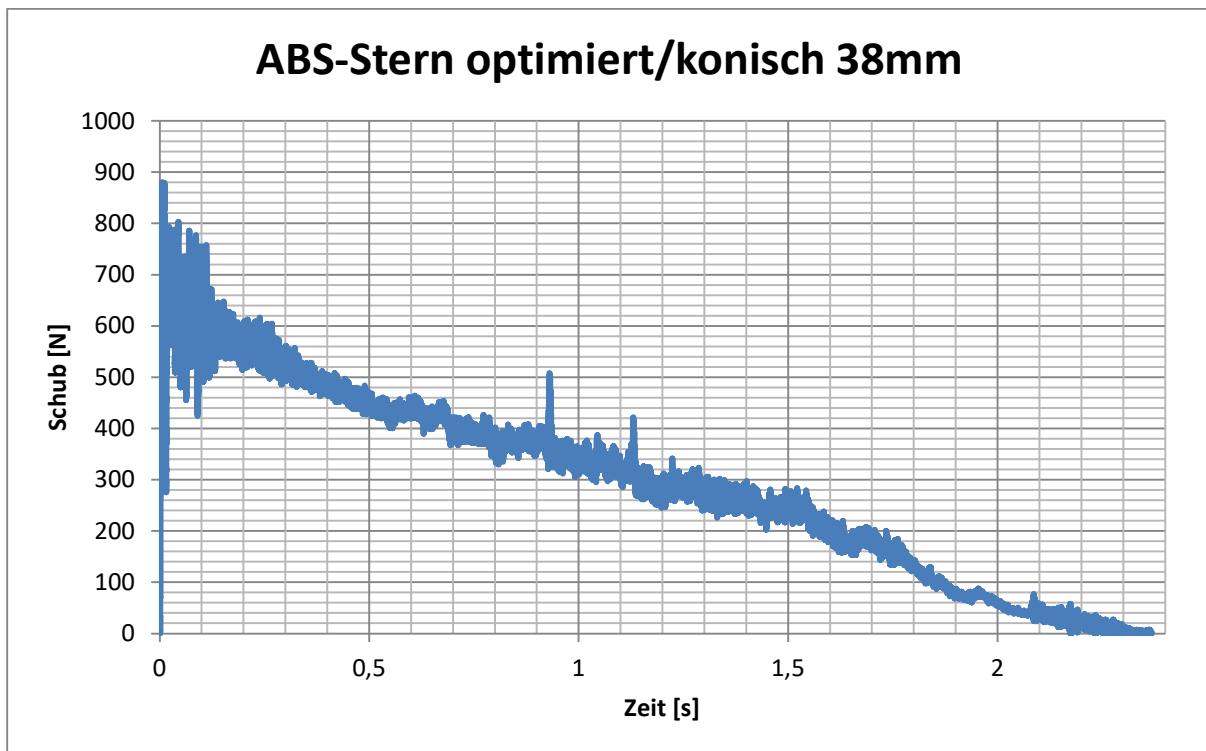


Abbildung 5: Gemessene Schubkurve des konischen ABS-gedruckten Motors

Das Video zeigt, dass der Zündvorgang (Streichholzzündung mit Vaseline) sehr lange bis zum Starten dauert. Während dessen ist ein Qualmen ohne jegliche Schuberzeugung zu beobachten.

1. Mittlerer Schub: 366N
2. Spitzenschub: 880N
3. Impuls: 677Ns, was einem (kleinen) **J-366** entspricht
4. Brenndauer: 1,85s

Der Leistungsvergleich mit Contrail zeigt einen wesentlich besseren Schub (+60N). Auch bei dem Vergleich mit dem ABS-Stern ohne konische Optimierung ist hier ein höherer Schub erkennbar (siehe Vergleich der ABS-Motoren).

ABS-Stern optimiert (Schikanen) (Motor-4)

Die Zündung erfolgt mit Hagen's Pre-Heater. Die im Video sichtbar verzögerte Zündung und das Qualmen bis zum Durchstarten des Motors ist also erwartet. Auch hier wird in dieser Zeit kein messbarer Schub erzeugt.

Dieser Motor zeigt gerade im Bereich der ersten 1,2s einen höheren Schub (+50...100N zwischen 0,15...0,85s). Danach gleicht er sich der Kurve des konisch optimierten Motors an.

1. Mittlerer Schub: 394N
2. Spitzenschub: 880N
3. Impuls: 730Ns, **J-394** entspricht
4. Brenndauer: 1,85s

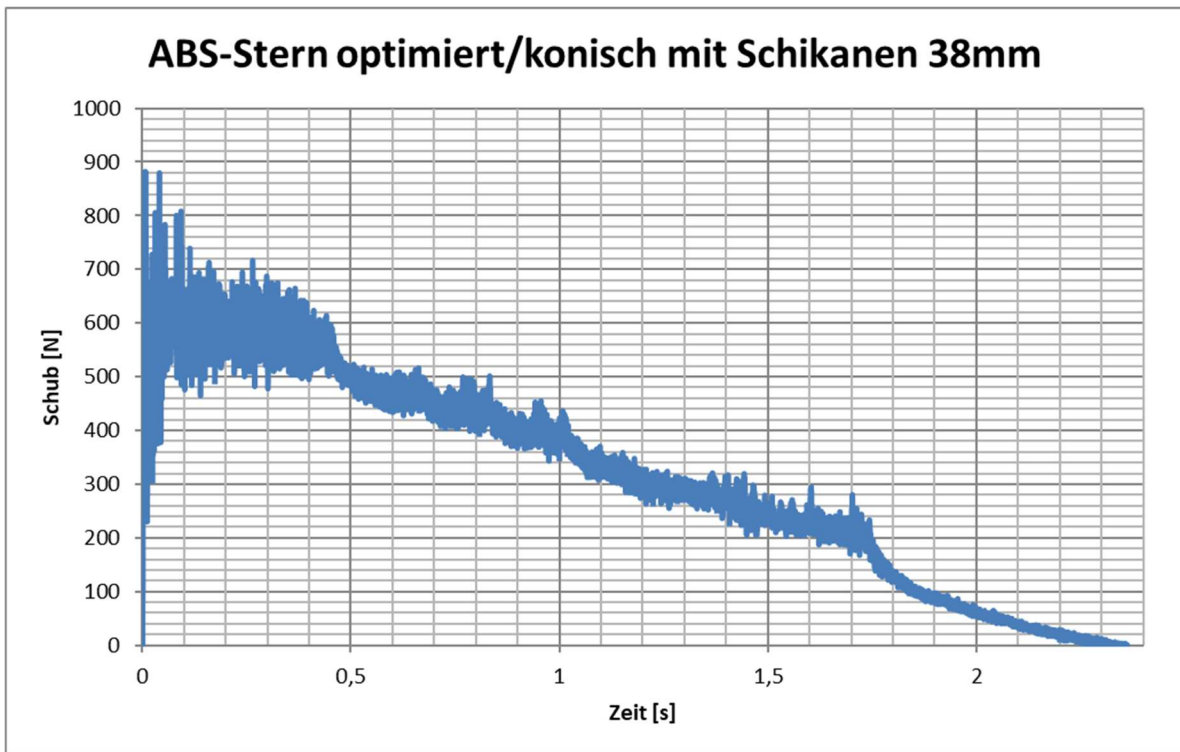


Abbildung 6: Gemessene Schubkurve des konischen ABS-gedruckten Motors mit Schikanen

Vergleich der ABS-gedruckten Motoren

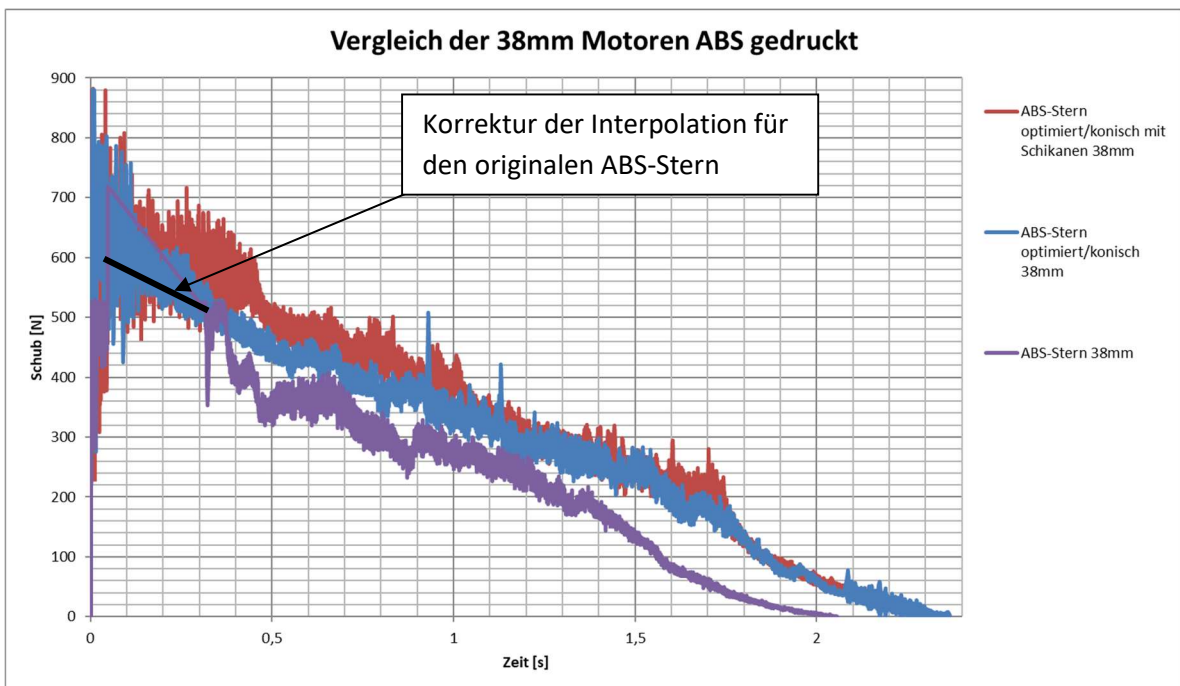


Abbildung 7: Vergleich der ABS-Stern-Motoren mit 1/4"-Injector und fast nozzle

Der Unsicherheitsbereich des in Manching getesteten Motors, der interpoliert (Begrenzung durch Einstellung des Messsystems) wurde, scheint zu falschen Annahmen zu führen. Der Spitzenschub ist zu hoch und nachfolgende Abfall der Kurve ist zu steil. Ohne diese Interpolation wird der mittlere Schub mit 340N berechnet (I-340). Die vorherige Auswertung/Annahme mit I-360 ist zu optimistisch. Nach Anpassung des Interpolationsfaktors (von 0,08 auf 0,03) und einem Spitzenschub von 600N wurde der mittlere Schub des nicht optimierten ABS-Sterns mit 346N berechnet (**I-346**).

PUR-Flex-S-Fe₂O₃ (Motor-6)

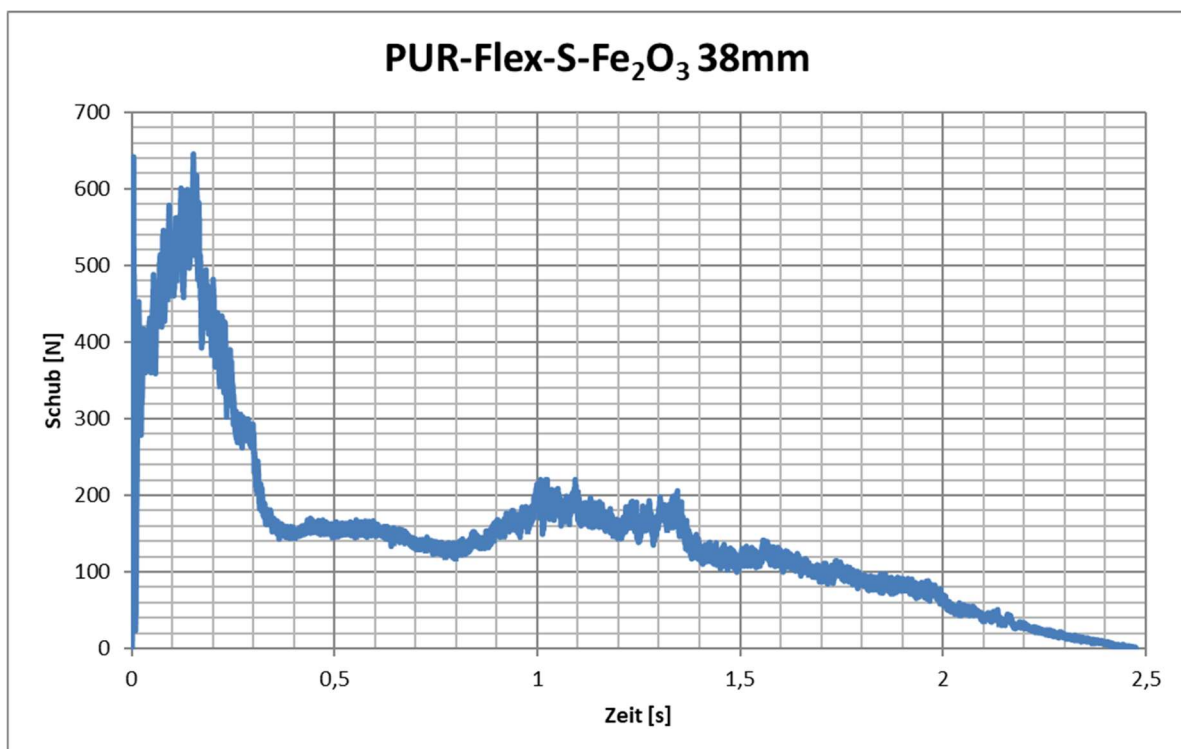


Abbildung 8: Gemessene Schubkurve des PUR-Flex-Motors

Schon der Test (siehe Video) mit Sound und Flamme hat gezeigt, dass der Motor nicht die gleiche Leistungsfähigkeit hat wie die ABS-gedruckten Motoren.

1. Mittlerer Schub: 155N
2. Spitzenschub: 640N
3. Impuls: 373Ns, I-155 entspricht
4. Brenndauer: 2s

Vergleich der PUR-Flex-Motoren

Die Kurve wurde mit den Ergebnissen aus Manching und vom letzten RJD verglichen. Leider wurde in Manching eine andere Motorkonfiguration verwendet:

1. Düse: „medium“
2. Injector: 3/16“

3. Grainlänge: 8“
4. Motorlänge: 36“

Das System musste umgestellt werden, da Füllschläuche in entsprechender Größe nicht mehr verfügbar waren.

Dadurch sollte aber nur die Brennzeit verlängert werden. Ein vergleichbarer Motor wäre **Contrail J-246HP** mit

1. Mittlerer Schub: 238N
2. Spitzenschub: 490N
3. Impuls: 673Ns
4. Brenndauer: 2,8s

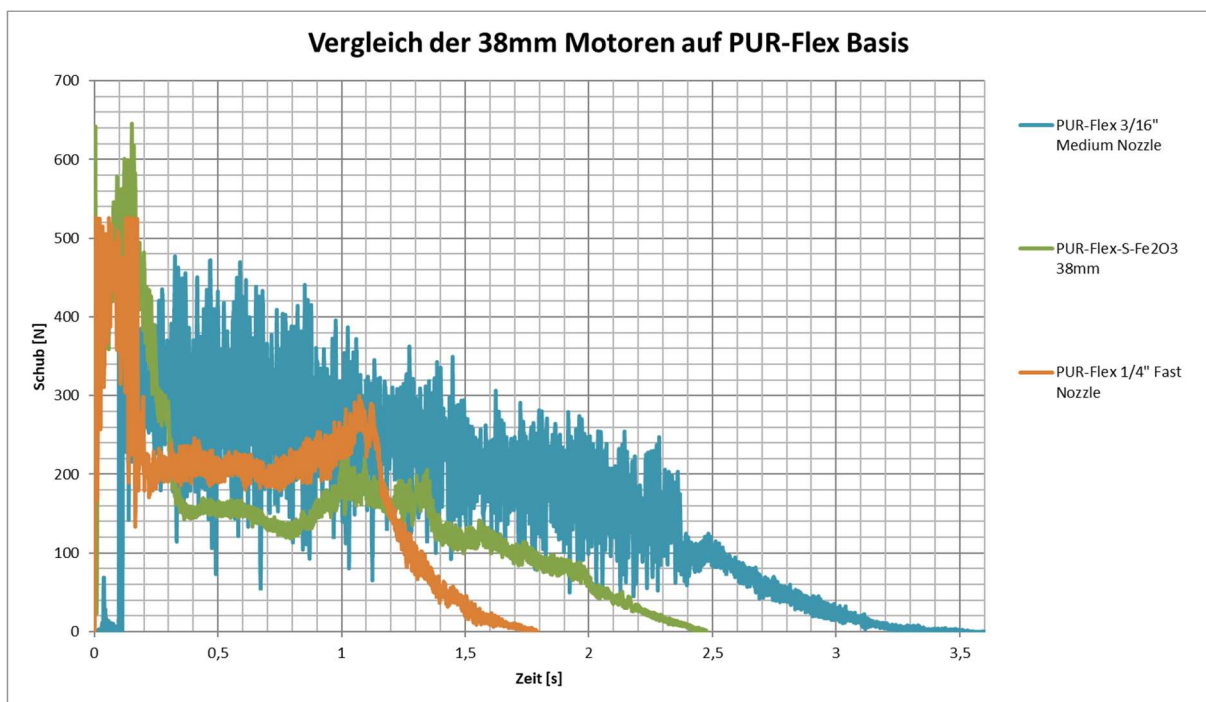


Abbildung 9: Vergleich aller getesteten PUR-Flex-Motoren

Leider hatte der beim RJD2021 getestete PUR-Flex-Titan-Motor keinen komplett gefüllten Tank. Bei der Zündung sollte aber auch die Wirkung des Titans beobachtet werden. Die Brenndauer ist durch den halb vollen Tank entsprechend verkürzt. Es ist aber sehr gut der ähnliche Schubverlauf bis etwa 1,1s zu erkennen.

Vielleicht benötigt der Treibstoff etwas mehr Druck in der Brennkammer oder die Reaktion muss hier langsamer Verlaufen, so dass man einen besseren Abbrand erhält?

Die Einschätzung war damals (medium nozzle, 3/16“):

1. Mittlerer Schub: 230N
2. Spitzenschub: 476N
3. Impuls: 550Ns, **I-230** entspricht
4. Brenndauer: 2,5s

29mm-Motor Contrail (Motor-9)

Dieser sehr kleine Motor hat noch keine Klassifizierung. Nach der Diskussion mit Contrail wurde er mit G-80 erwartet. Diese kleinen Motoren sollen mit einer äußerst langsamen Konfiguration verwendet werden:

1. Düse: „x-slow“
2. Vortex-Adapter CVNA#1
3. Injector: 1/8“
4. Grainlänge: 4“
5. Motorlänge: 12“
6. N₂O Tankinhalt: 70cm³

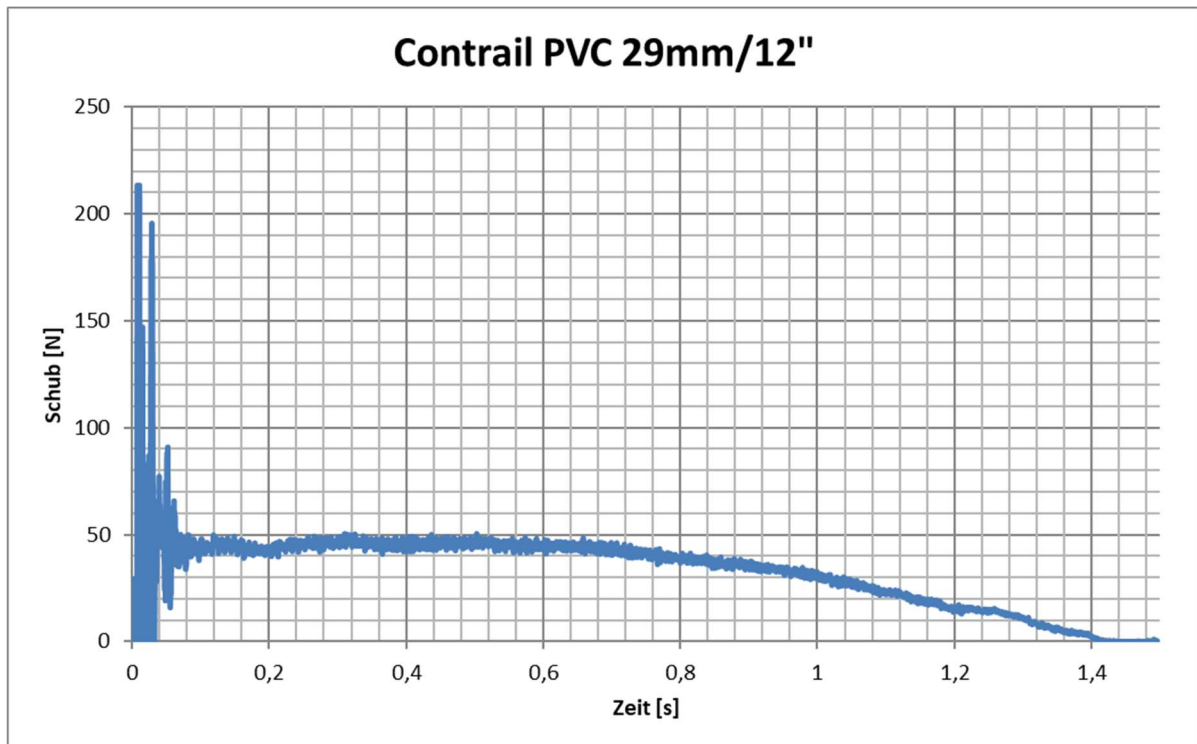


Abbildung 10: Der kleinste Contrail-Motor

Die Annahme von Contrail mit G-80 konnte nicht bestätigt werden:

1. Mittlerer Schub: 38N
2. Spitzenschub: 213N
3. Impuls: 49Ns, was einem **F-35** entsprechen würde
4. Brennzeit: 1,3s

Ob dieser Motor ob des Gewichtes genutzt werden kann, muss noch geprüft werden.