

HEIßER, SCHNELLER, STÄRKER

ARIS Perseus gelingt mit Messtechnik von Kistler Proof of Concept für RDRE (Rotating Detonation Rocket Engine)



Thomas Ebnöther, Noah Giger und Simi Wespi (v.l.n.r.) von ARIS Perseus vor dem mobilen Prüfstand für die Tests ihrer Rotating Detonation Rocket Engine (RDRE).

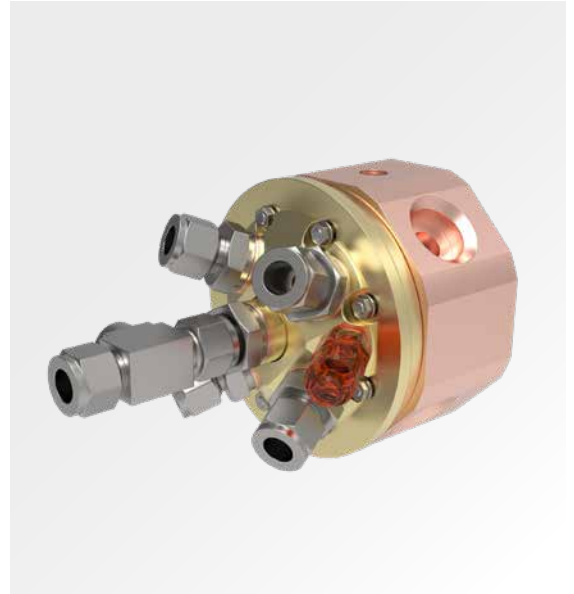
In weniger als einem Jahr gelang es Schweizer Maschinenbaustudenten, eine Rotating Detonation Rocket Engine zu bauen und zu feuern. Messtechnik von Kistler für Kurzzeitdynamik zeigt die Anwesenheit von Detonationswellen, wie sie für einen RDRE-Raketenantrieb charakteristisch sind. Ein großer Erfolg für ARIS Perseus, der gegen viele Widerstände erkämpft wurde – die nächsten Schritte sind bereits in Planung.

Es war kein leichter Weg, den Thomas Ebnöther, Noah Giger, Simi Wespi und das gesamte Team erfolgreich zurückgelegt haben. Angetrieben von der Idee, einen revolutionären Raketenantrieb zu bauen, mussten die Studierenden (ETH Zürich, Ostschweizer Fachhochschule) zunächst einen herben Rückschlag hinnehmen: Im Frühjahr 2024 wurde ihr Antrag auf Gewährung eines Fokusprojekts zunächst abgelehnt – „zu komplex, zu gefährlich, zu teuer“. Aufgeben war jedoch keine Option, und so gelang es Ihnen, ARIS (die „Akademische Raumfahrt Initiative Schweiz“) zu überzeugen, dort als Sonderprojekt anzudocken. ARIS ist eine 2017 gegründete Organisation der ETH Zürich, die mittlerweile über 400 Studierende für anspruchsvolle Projekte in den Bereichen Raketenbau, Robotik und Satellitentechnik vereint. Darunter ist zum Beispiel ein autonomer Tauchroboter, der in der Meeres- und Klimaforschung eingesetzt werden kann – auch extraterrestrisch, zum Beispiel in den Eismeer des Saturnmondes Enceladus. Seit Oktober 2021 ist auch Kistler als Hauptsponsor mit an Bord, um mit geeigneter Messtechnik Erfolge wie den Schweizer Höhenrekord der HELVETIA-Rakete von ARIS zu unterstützen.

Auf dem Weg zum Raketenantrieb der Zukunft

Als Sonderprojekt startete ARIS Perseus – benannt nach dem antiken griechischen Helden, der sprichwörtlich wurde für seine Beharrlichkeit – unter erschwerten Bedingungen: keine Anerkennung als Studienleistung (d.h. keine ECTS-Punkte), gerade mal 1.000 Schweizer Franken Startkapital und dazu noch ein sehr enger Zeithorizont: „Der für die Tests unerlässliche Liquid Rocket Engine (LRE)-Trailer – ein mobiler Prüfstand mit dem nötigen technischen Equipment – war bereits für Dezember 2024 für ein anderes ARIS-Projekt fest eingeplant“, erinnert sich Simi Wespi, Gründer und Projektmanager von ARIS Perseus.

In dieser schwierigen Situation entschieden sich die ‚Perseiden‘, auf einen Aufsatz amerikanischer Wissenschaftler zurückzugreifen, den Ebnöther in seiner Bachelorarbeit durchdrungen hatte. „Auf diese Weise gelang es uns, das Ganze fassbar und planbar zu machen“, erinnert sich Wespi. Das Ziel: mit eng begrenzten Ressourcen eine Rotating Detonation Rocket Engine (RDRE) zu bauen und so lange zu feuern, bis ein stabiler Zustand erreicht sein würde. „Zum Glück fanden wir schnell die nötigen Sponsoren. Nach und nach gelang es uns, auch innerhalb von ARIS zu überzeugen und uns den Stellenwert eines regulären Projekts zu erkämpfen“, berichtet Wespi stolz.



Innovativer Raketenantrieb: Aufbau der Rotating Detonation Rocket Engine (RDRE) von ARIS Perseus mit Annulus (Ringraum) und Einlässen für die Brennstoffe.

Messtechnik von Kistler entscheidend für Proof of Concept

Bis dahin war es jedoch ein weiter Weg. Eine RDRE gilt zwar als vielversprechender Ansatz mit potenziell hohen Effizienzgewinnen. Doch die Kontrolle des Verbrennungsprozesses ist alles andere als einfach wegen der sich mit Überschall ausbreitenden Detonationswellen. „Entdeckt wurde das Phänomen beim Bau der Saturn-V-Rakete in den 1960er Jahren“, sagt Sebastian Nobs, Teammitglied Engine bei ARIS Perseus. „Damals ging es darum, die supersonischen Detonationswellen konstruktiv zu verhindern, was auch gelang. Doch irgendwann kam jemand auf die Idee, sie im Kreis laufen zu lassen, um die hohen Drücke auszunutzen.“

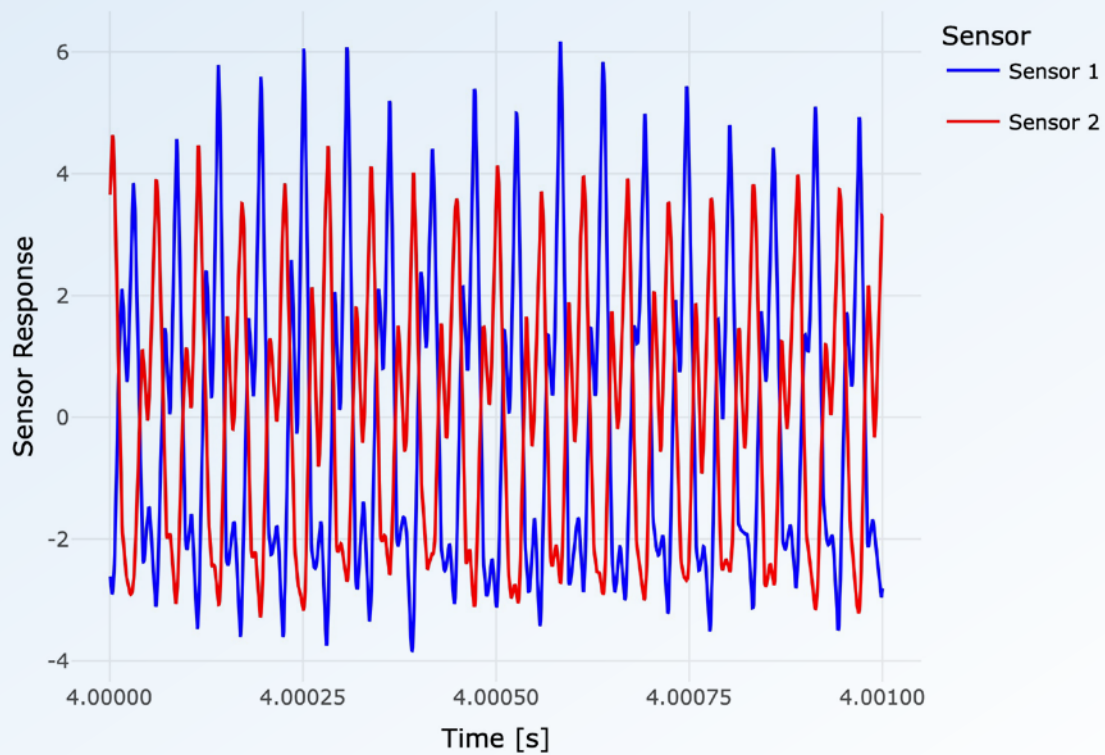
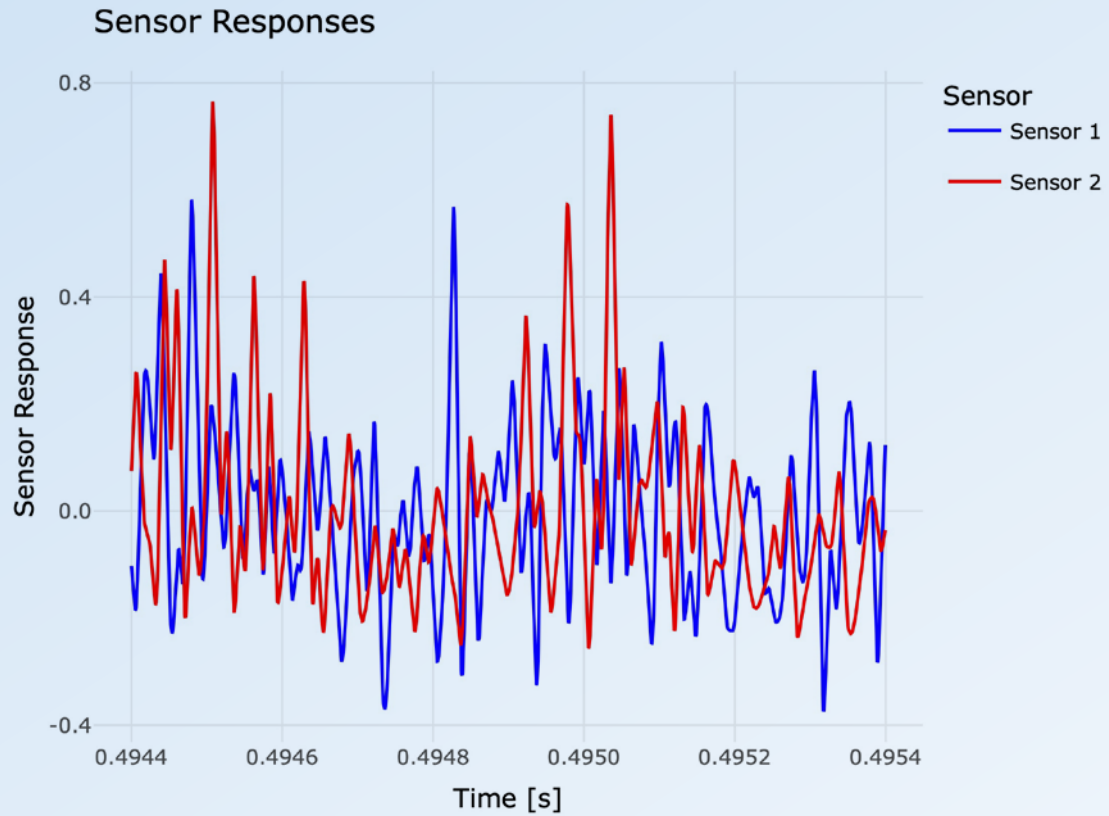
„Damals ging es darum, die supersonischen Detonationswellen konstruktiv zu verhindern, was auch gelang. Doch irgendwann kam jemand auf die Idee, sie im Kreis laufen zu lassen, um die hohen Drücke auszunutzen.“

Sebastian Nobs, Teammitglied Engine bei ARIS Perseus.

Analog zum theoretischen Entwurf bauten die ‚Perseiden‘ ihren Raketenantrieb, der hauptsächlich aus einem Annulus (Ringraum) mit Einlässen für Brennstoff und Oxidationsmittel besteht. Über eine Bohrung an der Oberseite wird das Gasgemisch vom sogenannten Pre-Detonator entzündet. „Dann dauert es etwa 0,6 Sekunden, bis ein dynamisch-stabiler Zustand erreicht ist“, erklärt Wespi. „Wir entschieden uns deshalb, eine Sekunde lang zu feuern, um die Detonationswellen messen und aufzeichnen zu können und damit den Proof of Concept zu erbringen.“ Für die Messung der Detonationswellen nutzt ARIS Perseus Drucksensoren 601CAA von Kistler: Dank einer Eigenfrequenz von 215 kHz sind diese in der Lage, die hochdynamischen Vorgänge in der Brennkammer bei etwa 20 kHz präzise zu erfassen. Für die Datenerfassung nötig ist darüber hinaus ein sogenannter Transientenrekorder für Kurzzeitdynamik, der die Sensorsignale hochfrequent erfassen und aufzeichnen kann. Zum Einsatz kommt hier der 2529A, eine Kooperation von Elsys und Kistler für hochdynamische Ladungs-, Spannungs- und IEPE-Signale mit Frequenzen bis 500 kHz.

Die Diagramme (siehe Bild Seite 4) zeigen die unterschiedlichen RDRE-Druckprofile für Deflagration (unregelmäßig) und Detonation (gleichmäßig): Bei einer Detonation (erreicht nach etwa 0,6 Sekunden) entsteht ein stabiles Muster, das von den zwei im 90°-Winkel angebrachten Drucksensoren von Kistler erfasst wird – der Proof of Concept ist damit gelungen. Nicolas Bartzsch, bei ARIS





Deflagration vs. Detonation: mit Messtechnik von Kistler erzeugte Druckprofile zeigen den Unterschied im Verbrennungsprozess und liefern damit den Proof of Concept für die RDRE von ARIS Perseus.

Perseus zuständig für Elektronik und Sensorik (DACS – Data Acquisition and Control Systems), berichtet: „Die Messtechnik von Kistler hat einwandfrei funktioniert und war sehr gut dokumentiert. Bei Fragen und Problemen konnten wir auch auf persönliche Unterstützung zählen, das war besonders hilfreich. Unter anderem galt es, zu starken Thermoschock zu verhindern, indem man die Drucksensoren mit Abstreifringen und Silikonpaste vor der Flammenfront schützt.“

Ziel: RDRE länger feuern und als echten Raketenantrieb nutzen

Das war jedoch nicht die einzige Herausforderung, die das zwischenzeitlich von drei auf elf Personen angewachsene Team zu bewältigen hatte: Neben dem Umbau des für Flüssigtreibstoffe ausgelegten mobilen Prüfstands – für die RDRE von ARIS Perseus wurden Sauerstoff und Methan in Gasform eingesetzt – ist hier vor allem das Sicherheitskonzept zu nennen: Nur durch minutiöse Planung, genauestens vorgeschriebene Rollen und Verantwortlichkeiten sowie die Einhaltung zahlreicher Vorschriften (Gasgeschwindigkeiten, Mindestabstände etc.) konnte der Erfolg sichergestellt werden. „Ohne entsprechende Manpower und seitenlange Protokolle und Dokumentationen geht da gar nichts“, erklärt Wespi. „Am Ende durften wir nicht nur auf dem Militärflugplatz am Hangar Dübendorf der ETH Zürich, sondern sogar auf dem öffentlich zugänglichen IPZ-Gelände (Innovationspark Zürich) testen.“

Der Erfolg gibt den Studierenden, von denen einige sogar Vollzeit am Projekt arbeiteten, recht: Das Folgeprojekt Pegasus wurde bereits von der ETH Zürich angenommen; auch das neue Team steht schon. Geplant ist dann, nach dem Umstieg auf Flüssigtreibstoffe eine Rotating Detonation Rocket Engine acht Sekunden lang zu feuern und damit mindestens 1 kN Schub zu erreichen. Wespi weiter: „Erforderlich sind dann eine Wasserkühlung sowie Druck- und Temperatursensoren. Gerne greifen wir erneut auf Messtechnik von Kistler zurück, mit der wir sehr gute Erfahrungen gemacht haben.“ Und auch der praktische Einsatz des innovativen Raketenantriebs – auf Deutsch manchmal auch Umlaufdetonationstriebwerk genannt – ist schon am Horizont: Im möglichen ARIS-Projekt „Andromeda“ visieren die Studierenden eine RDRE-getriebene Rakete an, die eine Flughöhe von drei Kilometern erreichen soll – es wäre ein weiterer, spektakulärer Weltrekord für ein Studierendenteam.

HOHEMPFINDLICH UND TROTZDEM SEHR ROBUST



Messtechnik macht den Unterschied: Selbst die robusten Drucksensoren 601CAA von Kistler kamen bei den RDRE-Tests von ARIS Perseus so manches Mal an ihre Grenzen.

Die piezoelektrischen (PE) Drucksensoren der Reihe 601C können dynamische Druckpulsationen präzise erfassen, auch unter Thermoschock –

dank folgender Eigenschaften:

- Kurze Ansprechzeit und hohe Eigenfrequenz
- Messbereiche von 1,5 bis 250 bar (22 bis 3626 psi)
- Betriebstemperaturbereich: –196 bis 350°C (–321 bis 662°F)
- Membrane optimiert für starke Temperaturschocks

Diese Drucksensoren von Kistler sind sowohl mit Ladungsausgang (PE) als auch als IEPE-Version (Integrated Electronics Piezo Electric) erhältlich.

KURZZEITDYNAMIK BEHERRSCHEN – FÜR ULTRASCHNELLE MESSUNGEN



Kurzzeitdynamik erfassen: Um die hochfrequenten Drucksignale aus dem Verbrennungsprozess im RDRE aufzuzeichnen, kommt der Transientenrekorder 2529A von Elsys und Kistler zum Einsatz.

Der von Elsys und Kistler entwickelte Transientenrekorder 2529A erlaubt die genaue Erfassung hochfrequenter Signale.

Die wichtigsten Features:

- Herausragende Bandbreiten und Abtastraten
- Flexibel umschaltbar zwischen Ladungs-, Spannungs- und IEPE-Signal
- Skalierbare Nutzung inkl. Datenerfassung (DAQ)
- Nutzbar mit Kistler Software sowie LabView, C++, C# und Python

**Wollen Sie mehr über unsere
Anwendungen erfahren?
Jetzt entdecken:**



www.kistler.com

Kistler Group
Eulachstrasse 22
8408 Winterthur
Schweiz
Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter **www.kistler.com**

Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf **www.kistler.com**

KISTLER
measure. analyze. innovate.