**Jan Kadel**

# Mission Stratosphäre

## Ein Höhenflug des TECHNOclub professional

Es ist ein lauer Frühlingsmorgen am 17. Mai, dem Internationalen Museumstag. Kurz nach Öffnung herrscht schon reger Betrieb im TECHNOSEUM, die Feldbahn rattert ihre erste Runde durch den Museumspark. Doch noch etwas anderes passiert heute vor den Türen des Museums: Ein Dutzend Jugendlicher wuselt geschäftig zwischen dem Eingang und einem kleinen Hügel im Park hin und her. In ihren Händen tragen sie Kisten voller Elektronik, Werkzeuge und Checklisten, während sich auf dem Hügel bereits ein etwa zwei Meter großer, weißer Ballon gegen den Himmel wölbt. Mit diesem starten die Jugendlichen des TECHNOclub professional in wenigen Minuten eine Sonde in die Stratosphäre, um dort wissenschaftliche Messungen vorzunehmen. Der Tag wird spannend, denn neben der generellen Aufregung über diese Mission wissen sie noch nicht, dass sie den Kontakt zur Sonde für mehrere Stunden verlieren werden – und sie dann ganz woanders wiederfinden, als erwartet.

### Ein Jahr Vorbereitungen

Jedes Schuljahr formiert sich am TECHNOSEUM der TECHNOclub professional für fortgeschrittene Nachwuchsforscherinnen und -forscher ab der 8. Klasse. In wöchentlichen Treffen können die Jugendlichen hier experimentieren, eigene Projekte umsetzen und dabei die Grundlagen naturwissenschaftlichen Arbeitens kennenlernen. Angeleitet und begleitet werden sie dabei durch fachlich versierte Betreuungskräfte und Ehrenamtliche des Museums. Dank der Unterstützung durch den Rotary

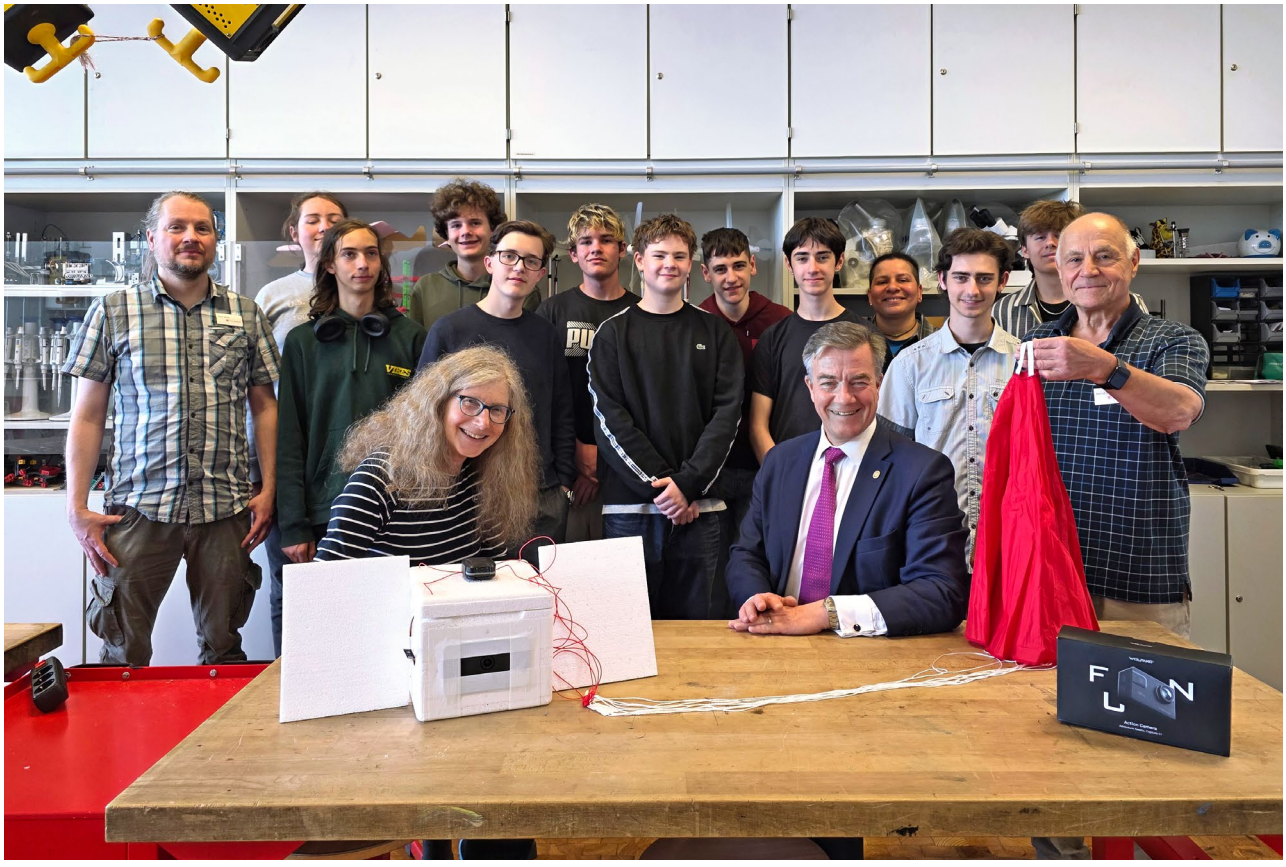

*Abb. 1*
**Anke Neuhaus und Jobst-Friedrich von Unger (Rotary Club Heidelberg-Schloss) mit dem TECHNOclub professional**
*Foto: Jan Kadel*

Club Heidelberg-Schloss war es dieses Jahr möglich, die benötigten Materialien für ein so großes Projekt wie einen Stratosphärenflug zu besorgen. »Diese Aktion führt deutlich über unsere regelmäßige Projektarbeit hinaus«, betont Dr. Anke Neuhaus, Leiterin des Laboratoriums. »Sie zeigt mit modernen Methoden, wie wissenschaftliches Arbeiten funktioniert und erfordert dafür viel Vorbereitung und Teamarbeit.«

So hatte sich der Club bereits seit letztem Oktober mit den Grundlagen des Aufbaus der Stratosphäre vertraut gemacht und die sich daraus ergebenden Anforderungen für eine solche Mission abgeleitet. Aufgeteilt in Kleingruppen bereiteten die Jugendlichen dann in konzentrierter Detailarbeit alles für den Flug vor. Dabei gab es auch organisatorisch einiges zu erledigen, denn nicht nur musste der Flug beim Luftfahrt-Bundesamt registriert werden, auch Rücksprachen mit dem nahegelegenen Flugplatz Mannheim waren notwendig.

In der Woche vor dem geplanten Start an Christi Himmelfahrt freute sich der Club über den Besuch von Dr. Jobst-Friedrich von Unger, dem vormaligen Präsidenten des Rotary Club Heidelberg-Schloss und Initiator der Förderpartnerschaft mit dem TECHNOSEUM. Stolz präsentierten die Jugendlichen ihre Sonde und stellten den erwarteten Verlauf der Mission vor, während von Unger Einblicke in die letzten Vorbereitungen erhaschen und viel Erfolg wünschen konnte. »Der TECHNOclub professional richtet sich an naturwissenschaftlich-technisch besonders interessierte junge Menschen, die auf hohem Niveau tüfteln – und dafür ein Labor benötigen, das besonders gut ausgestattet ist. Uns begeistert, dass das TECHNOSEUM in seinem Labor Möglichkeiten schafft, die sich eine einzelne Schule kaum leisten könnte. Auf diesem Weg können alle Kinder und Jugendlichen der Region von diesem Angebot profitieren«, fasst von Unger seinen Eindruck zusammen (Abb. 1).

Auch wenn alles planmäßig fertig war, musste dann kurzfristig das Startdatum verschoben werden. Am angedachten Termin war die Wetterprognose zu schlecht – bei erwartetem Regen hätte der Ballon Probleme, die erhoffte Flughöhe zu erreichen, und dichte Wolkendecken würden die Sonde bei den geplanten Luftaufnahmen

behindern. Deshalb entschieden die Clubmitglieder gemeinsam, es lieber zu einem Zeitpunkt zu versuchen, an dem das Wetter etwas stabiler sein sollte. Kurzfristig angepasste Terminkalender und eine erneute Rücksprache mit dem Tower des Flugplatzes Mannheim machten es möglich, dass Sonntagmorgen alles auf Start stand.

**Der Countdown läuft**

So kommt es also zum Morgen des Internationalen Museumstages. Das Ballon-Team ist mit zwei großen Druckluftflaschen voll Helium bereits dabei, den Ballon langsam und kontrolliert aufzublasen. Die Jugendlichen haben ausgerechnet, dass gut 4.000 Liter nötig sind, um die ungefähr ein Kilogramm schwere Sonde mit der vorgesehenen Steigrate von fünf Metern pro Sekunde aufsteigen zu lassen. Insgesamt dauert das Füllen daher etwa eine halbe Stunde. Immer mehrere Hände halten den Ballon, damit er nicht versehentlich davonfliegt, jeder Handgriff wird mit den anderen abgesprochen. Alle tragen weiße Stoffhandschuhe, um sicherzustellen, dass kein Fingernagel oder ähnliches das empfindliche Latex des Ballons beschädigt – denn schon kleine Risse könnten die gesamte Mission gefährden. Das Sonden-Team führt parallel dazu alle elektronischen Bestandteile der Sonde zusammen, überprüft ihre Einsatzfähigkeit und schließt sie in der kleinen Styroporbox an, welche die Messgeräte vor den extremen Temperaturbedingungen während des Fluges schützen soll (Abb. 2, 3).

Das Team arbeitet konzentriert und zielgerichtet, denn es ziehen immer mehr Wolken auf und bestenfalls sollte der Ballon aufsteigen, bevor der Himmel gänzlich bedeckt ist. Gut vorbereitete Checklisten helfen: Kamera – an, externe Batterie – angeschlossen, Aufnahme – läuft, Kamera – fixiert, Linse – geputzt… So werden unter anderem zwei Kameras, ein Thermometer, ein Barometer sowie mehrere GPS- und Positionssender in die kleine weiße Sonde eingesetzt und mit einem zentralen Tracker verbunden, der die Daten sammelt. Dann versiegeln die Jugendlichen die Sonde. Von außen ist sie mit einem großen Aufkleber versehen, der eventuelle Finderinnen und Finder bittet, das TECHNOSEUM zu kontaktieren, um das Wissenschaftsexperi-

*Abb. 2*
**Letzte Vorbereitungen vor dem Start**
*Foto: Jan Kadel*

*Abb. 3*
**Letzte Vorbereitungen vor dem Start**
*Foto: Jan Kadel*

ment zurück zu seinen Forschenden zu bringen. Schließlich wird sie an einem roten Fallschirm und dieser am Ballon befestigt, der inzwischen fertig aufgeblasen, verknotet und mit einer Leine am Boden fixiert ist. Dann erfolgt noch einmal Rücksprache mit dem Tower des nahegelegenen Flugplatzes Mannheim und nachdem der Start einer Privatmaschine abgewartet ist, kann es losgehen (Abb. 4).

Feierlich zählen die Jugendlichen und ihre Gruppenbetreuenden herunter. Zehn, neun, acht – etwas abseits des Hügels hat sich eine Gruppe Interessierter versammelt: Museumsbesuchende und Eltern, Vorführtechniker und TECHNOscouts. Sieben, sechs, fünf – sind wirklich alle Punkte abgehakt? Monate der Vorbereitung für diesen Moment. Vier, drei, zwei – eine Böe erfasst den Ballon und drückt ihn bereits seitwärts. Eins – das Seil wird gekappt, der Ballon steigt auf, zieht den Fallschirm und die Sonde hinter sich gen Himmel, freudiger Applaus begleitet ihn. Schnell wird er kleiner und mit abgeschirmten Augen und Feldstechern verfolgen ihn alle gebannt auf seinem Weg. »Es war ein besonderes Erlebnis, zu sehen, wie der Ballon mit der Sonde dran in den Wolken verschwindet«, erinnert sich später Jannes (10. Klasse) an den Moment.

Kaum ist der Ballon nicht mehr auszumachen, werden Handys und Laptops gezückt, denn die zwei Positionssender an Bord können live verfolgt werden – zumindest theoretisch, denn der GPS-basierte Sender, eben noch dreifach getestet, verliert bereits wenige Augenblicke nach dem Start den Kontakt. Aber der zweite Sender, über eine Mobilfunkkarte, funktioniert wie geplant und so kann die stetig aktualisierte Position der Sonde auf einer Karte verfolgt werden. Deshalb machen die Jugendlichen des TECHNOclubs sich auf den Weg ins Foyer des Museums, wo sie einen großen Bildschirm vorbereitet haben, um den aktuellen Stand des Fluges für die Besuchenden aufzuzeigen. Außerdem haben sie eine Präsentation über die Planung und Erwartungen der Mission dabei und während nebenbei noch die Startvorrichtungen abgebaut und aufgeräumt werden, führen die Clubmitglieder so bereits Gespräche mit Interessierten.

*Abb. 4*
**Der Ballon und der rote Fallschirm vor dem bewölkten Himmel, kurz vor dem Start**
*Foto: Jan Kadel*

Regelmäßige Updates zeigen, wie der Ballon samt Sonde zunächst über Seckenheim und Ladenburg in Richtung Odenwald getrieben wird und dort dann nordwärts schwebt. Dies entspricht auch ungefähr der Flugroute, die bereits vor dem Start anhand von Winddaten und der erwarteten Flughöhe berechnet wurde. Geplant ist, dass der Ballon so aufsteigt, bis er ungefähr eine Höhe von 36 Kilometern erreicht, mitten in der Stratosphäre, also jener Atmosphärenschicht, die sich ungefähr zwischen zehn und 50 Kilometern über der Erdoberfläche erstreckt. Hier kommt es zu extremen Temperaturen und auch der Luftdruck sinkt enorm. Das sorgt dafür, dass der Überdruck des Heliums im Inneren des Ballons diesen zum Platzen bringt und die Sonde am Fallschirm zurück zur Erde fällt. Ungefähr drei Stunden sollte der gesamte Flug dauern, bis die Sonde in einem Radius von etwa 100 Kilometern Luftlinie vom Startpunkt wieder landet – heute voraussichtlich etwas südlich von Darmstadt (Abb. 5).

Doch nach ungefähr einer Stunde geht auch das zweite Positionssignal verloren, und der Kontakt kann vom Boden aus auch nicht wiederhergestellt werden. Irgendwo hinter Weinheim im Odenwald in unbekannter Höhe ist somit die letzte bekannte Position des Ballons. Folgt man der Prognose ist das auch noch kein Grund zur Sorge, denn die Sonde dürfte inzwischen auf über 15 Kilometer Höhe gestiegen sein und es ist gut möglich, dass sie hier schlichtweg keinen Kontakt mehr zum Mobilfunknetz hat, mit dem die Daten übermittelt werden. Da der Verlauf bis hierhin sehr nah der berechneten Route war, beschließt das Recovery-Team, sich auf Verdacht auf den Weg zu machen und zu hoffen, das Signal wiederzuerlangen, wenn die Sonde landet. »Noch mache ich mir wenig Sorgen«, sagt Jonathan (11. Klasse), »die Sonde wird schon ›lebendig‹ zu uns zurückkommen und einige Daten aufgezeichnet haben.«

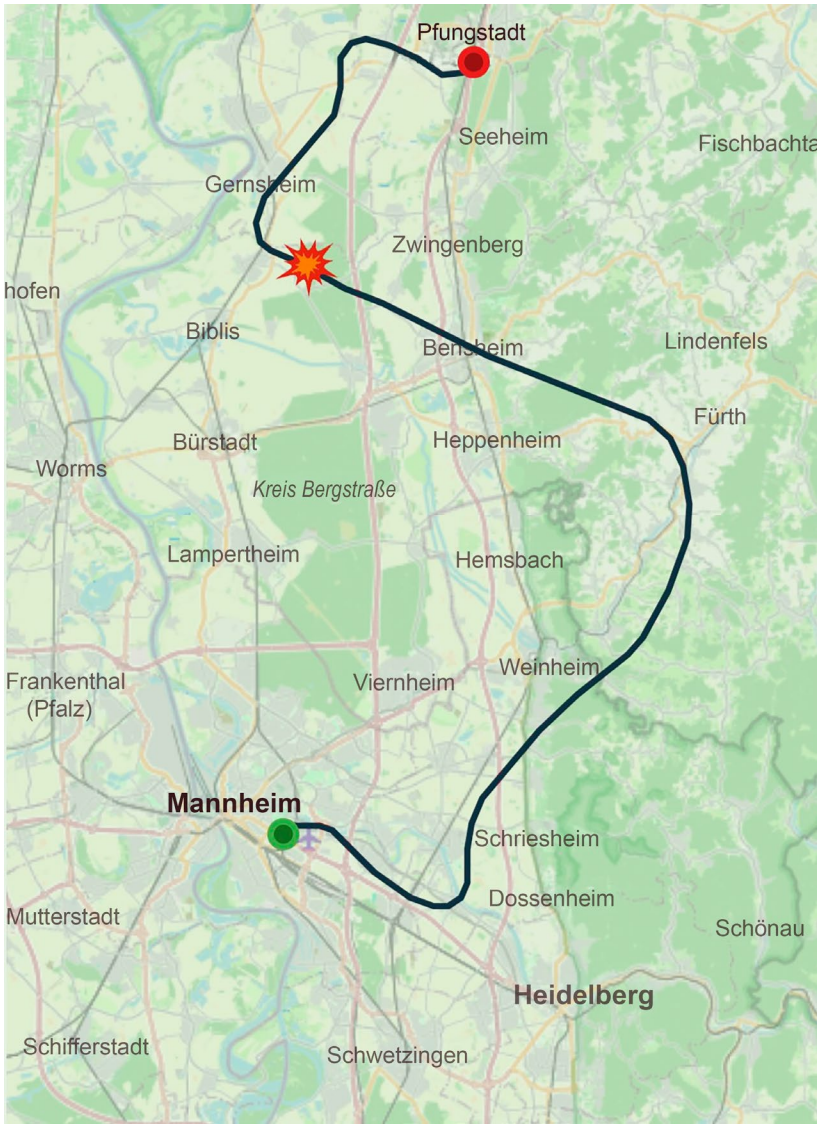


*Abb. 5*

**Die vorausberechnete Flugroute des Ballons mit Markierung des höchsten Punktes, an dem der Ballon platzen und die Sonde zurück zur Erde fallen sollte**

*Grafik: Jan Kadel*

**Suchen nach der Sonde**

Während der Großteil der Jugendlichen im Museum bleibt, um die Technik zu überwachen und die Präsentation im Foyer zu betreuen, fährt ein kleiner Trupp in Richtung Darmstadt. Wenn die Sonde nach einer Stunde Steigflug das Signal verloren hat, sollte sie es bei drei Stunden Flug rund eine weitere Stunde später, dann im Sinken, wieder erlangen. Ungeduldig blicken die Jugendlichen immer wieder auf den Tracker, in der Hoffnung, wieder aktuelle Standortdaten zu erhalten, doch die Sonde bleibt offline und erste Unsicherheit kommt auf.

Nochmal telefonieren sie mit der Basis im Museum, auch dort gibt es keine neuen Daten. Ohne Kontakt bleibt es bei Spekulationen über die Gründe, von Batterieversagen zu Softwarefehlern, aber eine klare Ursache kann so niemand diagnostizieren. »Es bleibt leider spannend, ob wir die Sonde wiederfinden«, fasst Liv (9. Klasse) zusammen, »aber im Moment können wir nicht viel machen außer abwarten und hoffen.« Trotzdem passen sie ein paar Variablen in der Berechnung der Flugroute an – was, wenn der Ballon schon früher geplatzt ist, was, wenn er länger für den Aufstieg gebraucht hat? Wenn auch mit kleinen Abweichungen, am Ende läuft es wieder und wieder auf dasselbe Gebiet für die Landung heraus.

Das Recovery-Team macht sich auf die Suche nach einem besseren Aussichtspunkt am Hang. Mit zugekniffenen Augen starren die Team-Mitglieder gegen die Sonne in den Himmel, in der Hoffnung, irgendwo vielleicht doch den kleinen roten Fallschirm zu entdecken und damit den Beweis zu erlangen, am richtigen Ort zu sein. Zwischenzeitlich diskutieren die Jugendlichen sogar eine Suche auf Verdacht, aber müssen schnell einsehen, dass das potenzielle Gebiet der Landung einfach zu groß und unübersichtlich ist, solange es nicht weiter eingegrenzt werden kann. Sie setzen sich eine Deadline und fällen eine gute Stunde nach der erwarteten Landung in Rücksprache mit der Basis dann die Entscheidung: Für den Moment muss die Sonde als verloren betrachtet werden. Ganz vielleicht findet sie jemand, der sie zurück ans Museum übermittelt, aber die Chancen stehen schlecht.

So macht sich das Team auf den Rückweg, enttäuscht, weil es seine Aufgabe nicht erfüllen konnte und ohne die Sonde natürlich keine Daten zum Auswerten vorliegen. »Das war's jetzt mit dem Projekt«, bemerkt Emil (9. Klasse) niedergeschlagen. Sie sind fünf Minuten schweigend unterwegs, da klingelt das Telefon, es ist noch einmal das Basis-Team: »Habt ihr den Tracker schon gecheckt? Die Sonde ist wieder aufgetaucht!« Und tatsächlich, der Punkt ist wieder auf der Karte, allerdings zwischen Mainz und Frankfurt am Main. Voller Euphorie und Tatendrang wird das Auto gewendet – egal, wo sie jetzt landen mag, alle sind entschlossen, auf jeden Fall mit der Sonde heimzukehren.

Gespannt werden die nun wieder regelmäßig aktualisierten Positionsdaten verfolgt, die Sonde bewegt sich gefährlich nahe zwischen Autobahn und Bahntrassen in der Einflugschneise des Flughafens Frankfurt. Dann endlich steht der Tracker für mehrere Minuten still – die Sonde ist also gelandet oder zumindest irgendwo verheddert. Und tatsächlich, direkt hinter der Schallschutzmauer zu Autobahn und ICE-Schnellstrecke in einem Brombeergestrüpp findet das Team nach einer halben Stunde ungeduldiger Autofahrt zuerst den auffällig roten Fallschirm mit Fragmenten des geplatzten Ballons und am Seil darunter, etwas ramponiert aber insgesamt intakt, die kleine weiße Box der Sonde. Euphorisch gibt das Recovery-Team die gute Nachricht an die Basis durch, sammelt alle Bestandteile ein und verpackt sie, so wie sie gefunden wurden, für die Rückfahrt. Die ersten Aufnahmen von der Fundstelle werden im Museum auf den Bildschirm im Foyer geladen, wo man jetzt gespannt auf die Rückkehr der Daten wartet.

**Aus den Daten lernen**

Die Ankunft der Sonde im Museum wird von allen Anwesenden gefeiert. Neugierig brechen die Clubmitglieder das Siegel und lesen die ersten Daten aus dem Tracker aus – nach all der Ungewissheit endlich handfeste Ergebnisse. Und die können sich sehen lassen:

Die Sonde hat eine maximale Höhe von 36.463 Metern erreicht und damit genau den Bereich der Stratosphäre erschlossen, den sich der Club vorgenommen hatte. Die Außentemperatur fiel dabei bis auf –52,8 °C, bei einem gemessenen minimalen Luftdruck von nur 4,2 Hektopascal – weniger als ein Zweihundertstel des Wertes am Boden. Ein UV-Index von über 10 zeigt, wie intensiv die Sonnenstrahlung dort oben ohne den Schutz durch die dichteren Lagen der Atmosphäre ist. Auch die Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen Extremwerten von fast gesättigten 90 Prozent beim Durchqueren der Wolkenschichten und nahezu trockenen 0,1 Prozent in großen Höhen (Abb. 6).

Doch wie bei allen wissenschaftlichen Projekten üblich, gibt es auch einige Ungereimtheiten, auf welche die Jugendlichen im Lauf ihrer nächsten Treffen bei der detaillierten Auswertung stoßen: So bleibt etwa unklar, warum der GPS-Tracker bereits kurz nach dem Start den Kontakt verlor. Insgesamt scheint der Tracker die ersten Minuten des Fluges nicht korrekt aufgezeichnet zu haben, denn nutzbare Daten setzen erst in einer Höhe von fünf Kilometern ein. Und, für viele besonders enttäuschend, die nach unten gerichtete Kamera ist bereits während der Startvorbereitungen wieder ausgegangen, vermutlich, weil beim Verschließen der Sonde etwas im Inneren auf das Display gekommen ist.

Und dann ist da noch die scheinbar beeindruckende Spitzengeschwindigkeit von 158 km/h, welche aus der Sonde ausgelesen wurde und eine Lektion über Statistiken vermittelt. Denn bei genauerem Hinsehen stellt sie sich als Datensatz von der Autofahrt auf dem Rückweg heraus, der von der noch versiegelten Sonde natürlich mitgemessen wurde. Bereinigt man die Daten entsprechend, lag die tatsächliche Höchstgeschwindigkeit während des Fluges bei ungefähr 70 km/h, was gut zu den erwarteten Windgeschwindigkeiten in den durchquerten Luftschichten passt.

Der Grund für den Kontaktabbruch scheint wirklich die große Höhe des Flugs gewesen zu sein. Aufgrund spezifischer Druckverhältnisse platzte der Ballon wohl nicht direkt beim Erreichen der errechneten Maximalhöhe, sondern trieb mit der Sonde für

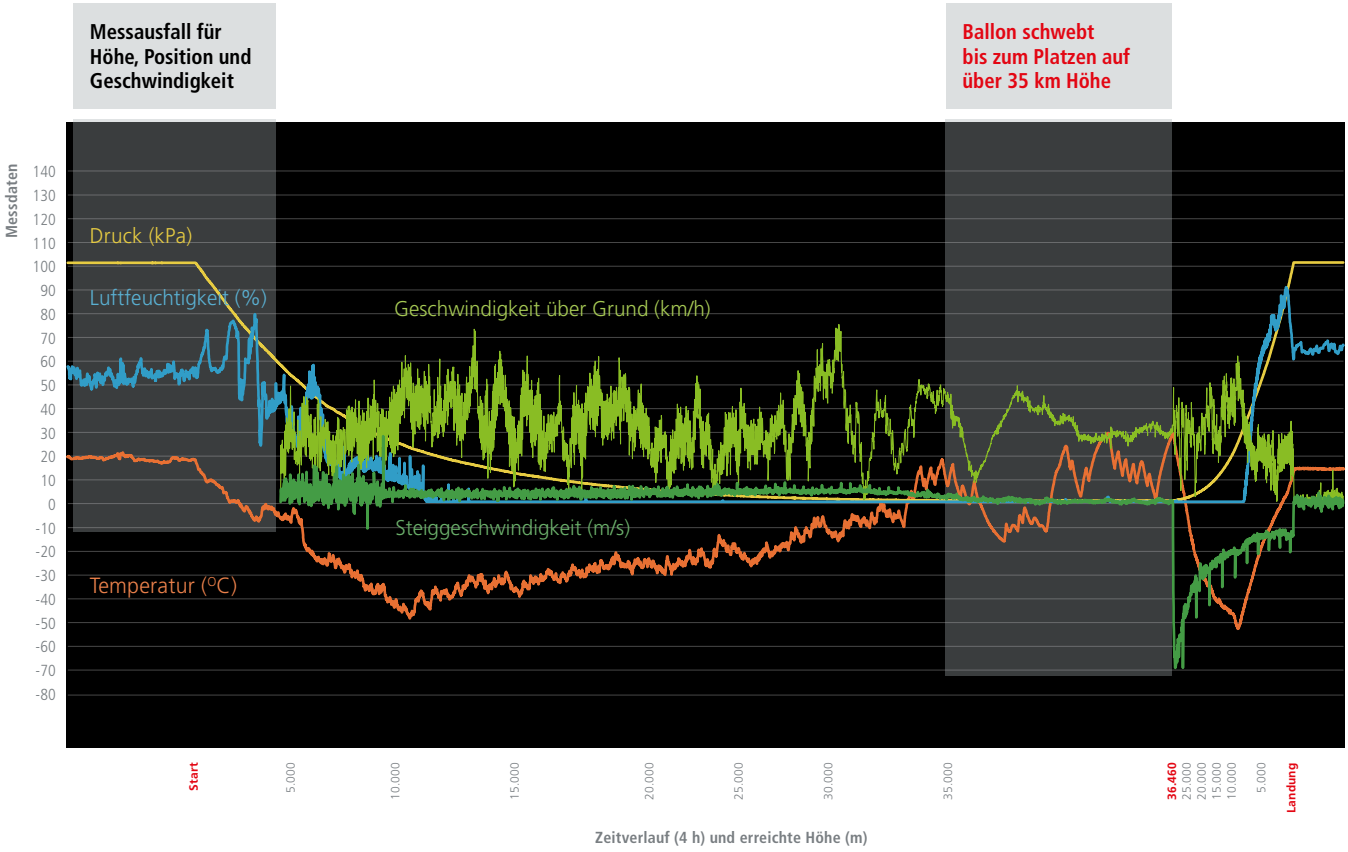


*Abb. 6*
**Die von der Sonde gesammelten Daten**
*Grafik: Bernd Baumann, Jan Kadel, Heike Morath*

etwas über eine Stunde umher. So wurde er vom Wind nicht nur deutlich weiter getrieben als gedacht, sondern es dauerte auch erheblich länger, bis die Sonde wieder auf einer passenden Höhe war, um sich mit dem Funknetz zu verbinden (Abb. 7).

So überwiegt am Ende klar der Erfolg: Die Sonde hat zuverlässig Daten zu Temperatur, Druck und Flugverlauf geliefert, welche akribisch wissenschaftlich ausgewertet und mit den Prognosen verglichen werden können. Die zweite Kamera konnte eindrucksvolle Aufnahmen vom Horizont und der sich vor dem All abzeichnenden Atmosphäre in großer Höhe einfangen (Abb. 8, 9). Und aus den kleinen Pannen lassen sich wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Missionen gewinnen.

Das Entscheidende an dem Projekt geschieht damit erst in den Wochen nach dem Flug, denn die Betreuenden liefern den Jugendlichen weder die Auswertungen der Daten noch fertige Antworten. Stattdessen machen sich die Teilnehmenden selbst auf die Suche nach Erklärungen, gleichen Messwerte ab, hinterfragen Auffälligkeiten und rekonstruieren Schritt für Schritt den tatsächlichen Verlauf ihrer Mission. So wird aus dem Stratosphärenflug weit mehr als ein technisches Experiment: Er wird zu einer echten wissenschaftlichen Erfahrung – mit all ihren Unsicherheiten, Überraschungen und daraus abgeleiteten Erkenntnissen. In diesem Sinne war die Mission ein voller Erfolg.

**Zum Autor**

Jan Kadel studierte Rhetorik und Philosophie in Tübingen und absolviert zurzeit sein Wissenschaftliches Volontariat am TECHNOSEUM. Er begleitete das Projekt Stratosphärenflug zur Dokumentation in der Öffentlichkeitsarbeit.

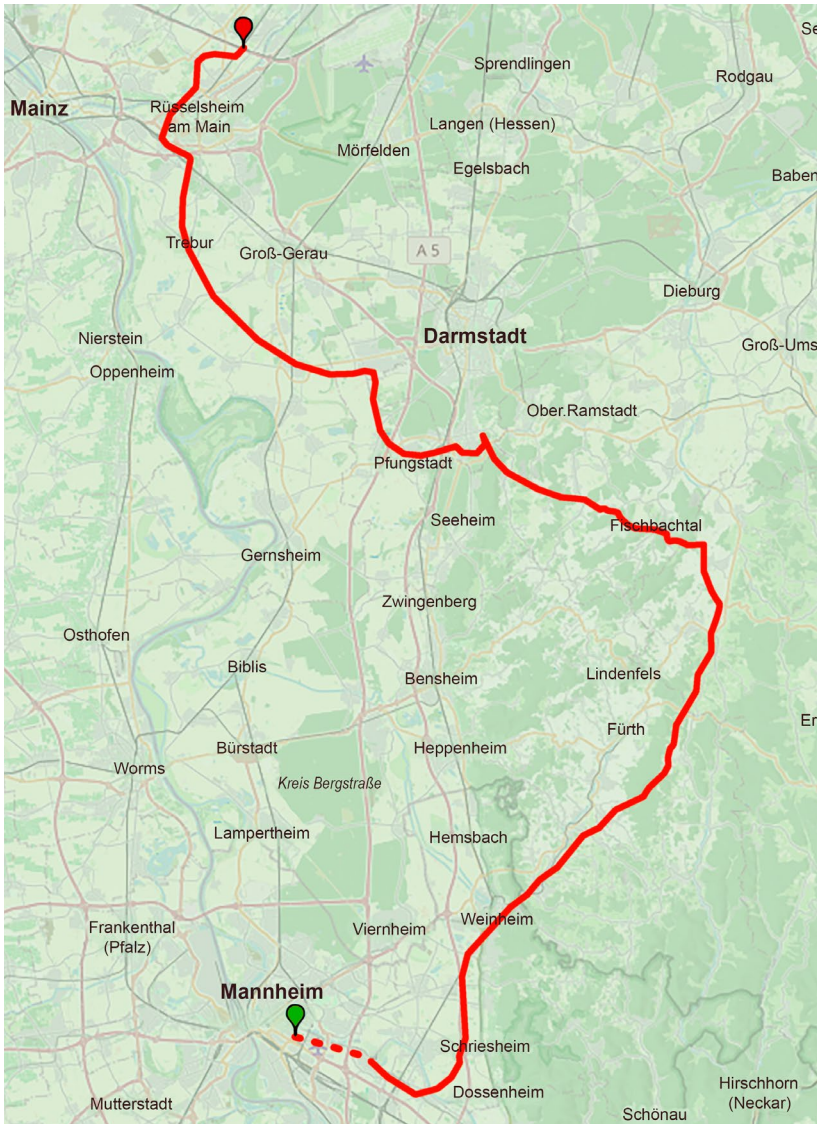


*Abb. 7*
**Die tatsächliche Flugroute der Sonde, ausgelesen aus den Positionsdaten**
*Grafik: Jan Kadel*

*Abb. 8*

**Aufnahmen der Sonde beim Aufstieg: Der Neckar in Richtung Odenwald mit Seckenheim, Ilvesheim und Ladenburg im Vordergrund**

*Foto: TECHNOclub professional*

*Abb. 9*
**Aufnahmen der Sonde vom höchsten Punkt des Fluges mit klar erkennbarem Atmosphärenverlauf am Horizont**
*Foto: TECHNOclub professional*