

Technischer Schlussbericht Analyse Anflugtrajektorien Flughafen Zürich

GEOIDEE Yvo Weidmann, Bellariastrasse 80, 8038 Zürich

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Zielsetzung und Methodik	2
Resultate	6
Leseanleitung Grafiken	8
Leseanleitung Karten	10
Herausforderungen und Probleme	11
Beispiele von abweichenden Flugtrajektorien.....	11
Qualitätssicherung	13
Vergleich der Anflüge auf die verschiedenen Pisten	13
Vergleich der Anflüge zu den verschiedenen Zeitenfenster	14
Ideen und Empfehlung.....	14
Datenquellen, Programmiersprache und Datenbanken.....	16
Präsentationen.....	17
Anhang A: Detaillierte Grafiken	18
Südanflug Piste 34.....	18
Ostanflug Piste 28	20
Nordanflug Piste 14	22
Nordanflug Piste 16	24
Anhang B: Detaillierte Karten	26

Zusammenfassung

Für eine objektive und qualitative Aussage über die Anflugtrajektorien auf die verschiedenen Pisten des Flughafens Zürich wurde eine Methodik entwickelt, welche die einzelnen Flugbewegungen räumlich darstellen und analysieren kann. Sie erlaubt eine Beurteilung, wie gut die definierten Anflugregimes von den Piloten eingehalten werden.

Im Rahmen dieses Projektes wurden die Flugdaten zwischen Februar 2019 bis und mit Januar 2020 ausgewertet. Dieses Zeitfenster entspricht ziemlich genau dem Maximum der Flugbewegungen auf dem Flughafen Zürich vor der Corona-Pandemie 2020 bis 2022.

Die Resultate zeigen, der deutlich grösste Teil der Flugbewegungen befolgt die vorgeschriebene Anflugsgeometrie auf die beiden Pisten 28 und 34 hinsichtlich dem Bodenabstand und der horizontalen Lage. In den allermeisten Fällen finden Abflüge deutlich über dem geforderten Bodenabstand statt.

Vereinzelte Anflüge unterschreiten die Anflugsgeometrie leicht zu Beginn des Anfluges (bis rund 15km vor der Piste). In den anschliessenden 14km bis zum Aufsetzen auf der Piste folgen die Anflüge praktisch ausnahmslos der vorgeschriebenen Anflugsgeometrie.

In den analysierten Daten sind verschiedentlich Anflugtrajektorien ersichtlich, welche sich deutlich von der vorgeschriebenen Anflugsgeometrie unterscheiden. Die meisten dieser Ausnahmen lassen sich auf spezielle Flüge (z.B. Kalibrationsflüge für das Instrumentenlandesystem) zurückführen und dürfen bei der Betrachtung der Einhaltung der Anflugsgeometrie nicht mit in die Betrachtung einbezogen werden.

Zielsetzung und Methodik

Das Ziel dieser Arbeit war, eine Methodik zu entwickeln, welche eine möglichst objektive Beurteilung der Anflugsgeometrien auf die verschiedenen Pisten des Flughafens Zürich erlaubt.

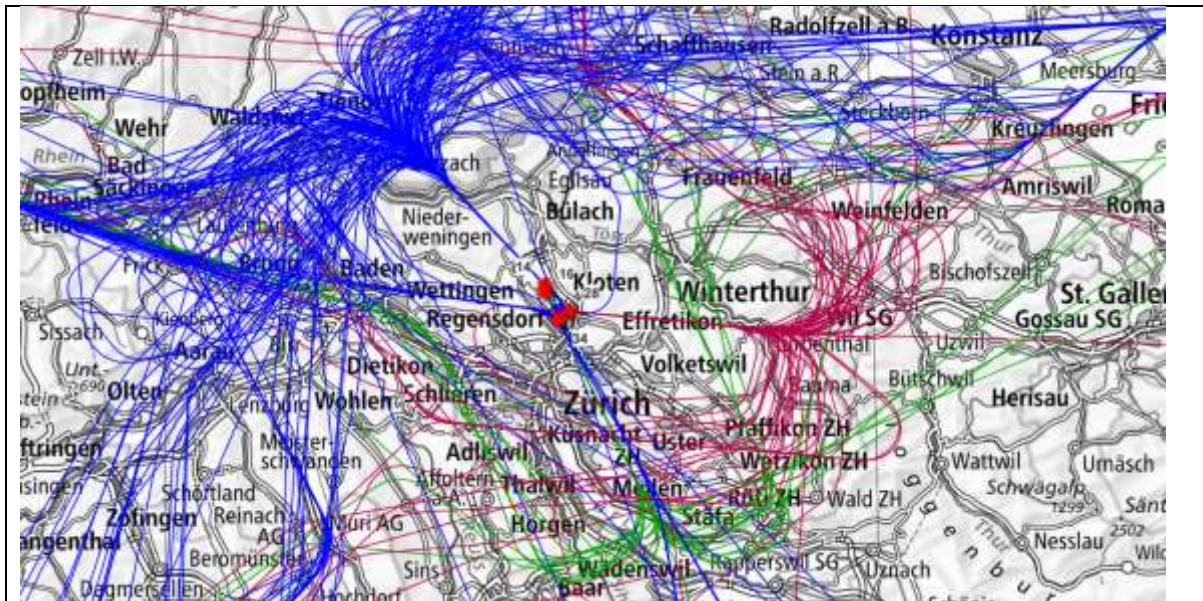
Die erarbeitete Methodik basiert auf den ADS-B / Mode S Transponderdaten, welche die geografische Lage und Höhe sowie die Kennung jedes Flugzeuges enthalten. Das entwickelte Vorgehen analysiert diese Daten in Kombination mit einem digitalen Höhenmodell und errechnet den Bodenabstand jedes Flugzeuges im Verlauf seines Anfluges. Die so berechneten Daten stehen in verschiedenen grafischen und kartografischen Ansichten zur Verfügung.

Der durch den Piloten einzuhalten Bodenabstand, respektive die Anflugtrajektorien auf die verschiedenen Pisten, wird in der Aeronautical Information Publication (AIP) der skyguide detailliert beschrieben.

Die ADS-B / Mode S Transponderdaten werden laufend von den einzelnen Flugzeugen ausgesendet und können von jedermann mit einer entsprechenden Antenne empfangen werden. In einem weltweiten Zusammenschluss von Freiwilligen werden diese Daten global gesammelt und gespeichert. Über das *OpenSky-Network* (<https://opensky-network.org/>) werden diese Daten online zur Verfügung gestellt. Neben den aktuellen Flugbewegungen können auch Daten aus dem Archiv bezogen werden. Dieses Archiv steht Wissenschaftlern und Behörden frei zur Verfügung. Für dieses Projekt konnten die Archivdaten frei bezogen werden.

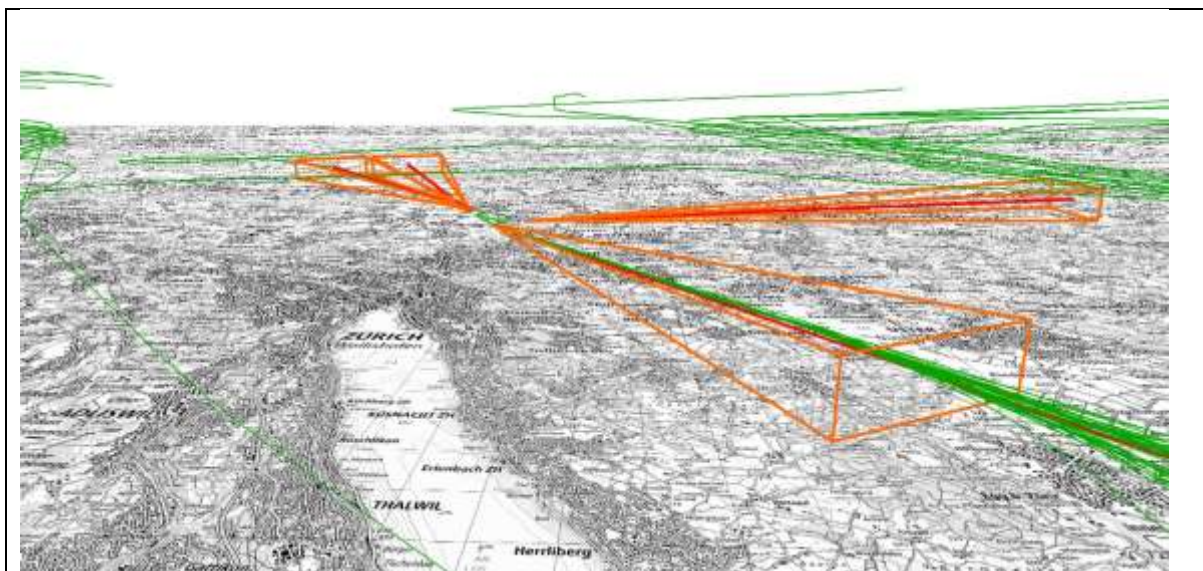
Über eine eigens geschriebene Software wurden sämtliche Flugbewegungen welche den Flughafen Zürich als Ziel, respektive als Start hatten, für den Zeitraum Februar 2019 bis und mit Januar 2020 aus dem OpenSky-Network-Archiv bezogen und in einer eigenen Datenbank gespeichert.

Über verschiedene geometrische Operationen wurde jeder Anflug einer Piste zugeordnet. Diese Zuordnung kann nicht aus den Rohdaten erfolgen, da die Information der anzufliegenden Piste nicht in den ADS-B / Mode S Transponderdaten vorliegen.

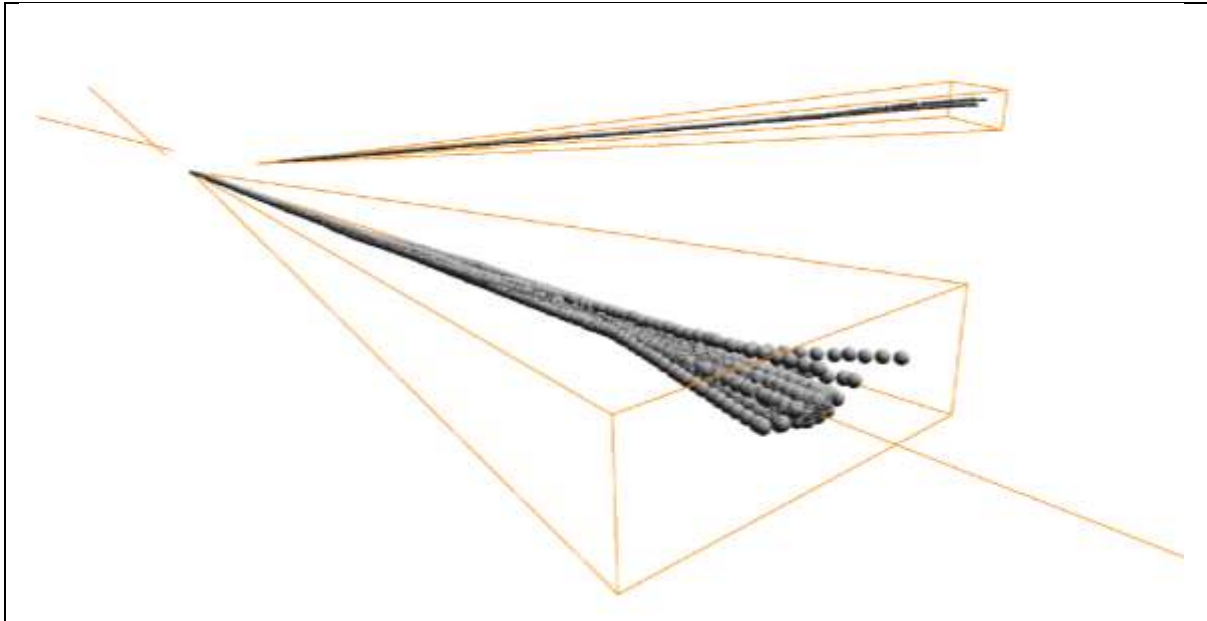


Geometrische Zuordnung der verschiedenen Anflüge zu den jeweilig genutzten Landepisten über den Landepunkt am Pistenanfang (rote Sterne)

Im Anschluss an die Zuordnung der Anflugtrajektorien zu den Pisten wurden die als Liniengeometrien vorliegenden Trajektorien in die einzelnen Stützpunkte aufgeteilt. Diese Reduktion von Liniengeometrien auf Punktgeometrien war notwendig, um einen genauen Verschnitt mit der Höhe des Geländes durchzuführen.



3D-Ansicht von Anflügen auf die Piste 34 (im Vordergrund) in Kombination mit einem Konus für die geometrische Selektion der Transponderdaten im Laufe des Anfluges



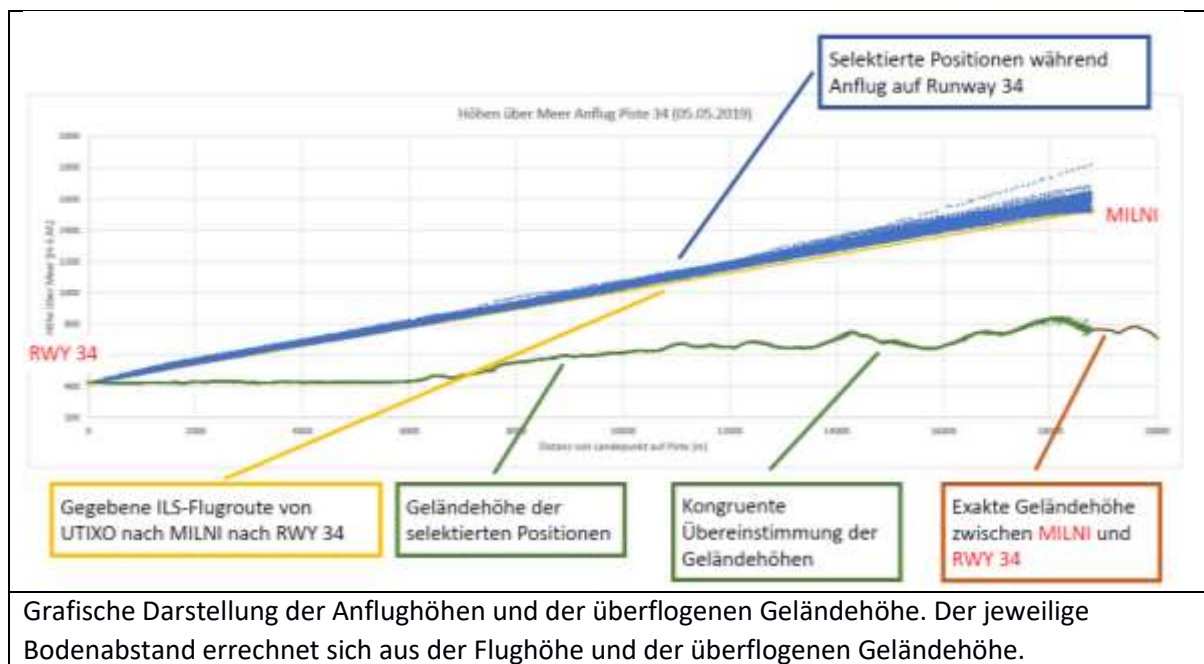
Reduktion der vorgängig selektierten Anflüge auf die einzelnen Datenpunkte der Transponderdaten für den anschliessenden Verschnitt mit dem Höhenmodell für die Berechnung des Bodenabstandes

Der oben beschriebene räumliche Verschnitt der einzelnen Punkte der Anflugtrajektorien mit dem Gelände, respektive mit dem digitalen Geländemodell¹, ist die zentrale Operation in der beschriebenen Methodik. Bei diesem Verschnitt wird für jeden einzelnen Datenpunkt der Anflugtrajektorien die Höhe über Meer des überflogenen Geländes berechnet. Und somit implizit der Bodenabstand des Flugzeuges an dieser Stelle.

Sowohl die berechneten Bodenabstände als auch die überflogenen Geländehöhen, wurden ebenfalls in der entwickelten Datenbank gespeichert. Die gespeicherten Daten stehen für die verschiedensten Analysen und Darstellungen zur Verfügung und können nach Belieben durchsucht und betrachtet werden.

¹ Ein digitales Geländemodell (DHM), https://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_H%C3%B6henmodell, beschreibt die Terrainhöhe über Meer als einzelne Rasterzellen. Im Projekt wurde das offizielle Höhenmodell swissALTI3D von swisstopo mit einer Grösse der Rasterzellen von 2m verwendet.

Für die geometrische / geografische Beurteilung der Anflugtrajektorien wurde eine Darstellung gewählt, welche die unzähligen Bodenabstände der Anflüge in Relation zur Landepiste setzt. Diese Darstellung ermöglicht einen schnellen Überblick über die Streuung der Anflüge im Vergleich zur geforderten Anflugsgeometrie.



Grafische Darstellung der Anflughöhen und der überflogenen Geländehöhe. Der jeweilige Bodenabstand errechnet sich aus der Flughöhe und der überflogenen Geländehöhe.

Die beschriebene Methodik ist grundsätzlich nicht spezifisch für den Flughafen Zürich ausgelegt. Mit dieser Methodik, Datenbank und Programmierung lassen sich die Flugbewegungen von beliebigen Flughäfen speichern, analysieren und darstellen.

Resultate

Das zentrale Augenmerk der Datensammlung und -analyse richtete sich auf die Anflüge der beiden Pisten 28 und 34. Diese beiden Pisten standen auch im Fokus bei der Qualitätssicherung und Gegenüberstellung der Daten mit den Angaben der Flughafen Zürich AG.

Basierend auf den gesammelten Daten und durchgeführten Analysen können für die beiden Pisten 28 und 34 die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- Der Leitstrahl des Instrumentenlandesystems (ILS) wird in den allermeisten Fällen sehr gut eingehalten.
- Mehrheitlich befinden sich die Flugzeuge im Anflug über dem Leitstrahl und führen einen leicht steileren Anflug als die geforderten 3.3° (Piste 34) durch.
- Vereinzelt werden Anflüge bis 14km vor der Piste 34 tiefer durchgeführt. Diese schwenken aber spätestens Zumikon (14km bis Piste 34) ebenfalls auf den Leitstrahl ein.
- Vereinzelte Ausreiser in den Daten können erklärt werden (z.B. vermutlich Flüge für die Kalibration der Landeprozedur).

Hinsichtlich der quantitativen Verteilung der Anflüge auf die verschiedenen Pisten können die Daten des Lärmbulletins der Flughafen Zürich AG sowie die analysierten Daten von OpenSky-Network verwendet werden.

Die nachfolgende Tabelle fasst die Anzahl und die prozentuale Verteilung der Anflüge auf die vier Pisten 14, 16, 28 und 34 zusammen:

Zeitfenster	Piste 14		Piste 16		Piste 28		Piste 34	
Monat	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Februar 2019	7'419	77.7	7	0.1	1'326	13.9	794	8.3
März 2019	5'201	48.5	3	0.0	4'758	44.4	759	7.1
April 2019	8'350	73.6	2	0.0	1'800	15.9	1'197	10.5
Mai 2019	8'311	69.4	10	0.1	2'234	18.7	1'415	11.8
Juni 2019	8'635	71.9	9	0.1	2'226	18.5	1'137	9.5
Juli 2019	9'348	74.6	1	0.0	2'136	17.0	1'046	8.3
August 2019	9'489	77.4	1	0.0	1'840	15.0	926	7.6
September 2019	8'798	73.7	1	0.0	2'135	17.9	1'000	8.4
Oktober 2019	8'786	74.4	4	0.0	2'029	17.2	986	8.4
November 2019	7'492	76.8	4	0.0	1'530	15.7	731	7.5
Dezember 2019	6'572	66.0	6	0.1	2'520	25.3	857	8.6
Januar 2020	7'989	79.7	7	0.1	1'172	11.7	856	8.5
Summe	96'390	72.0	55	0.0	25'706	19.2	11'704	8.7

In der nachfolgenden Tabelle werden die Anzahl Anflüge nach Nordanflug (Pisten 14 und 16) und nach Südanflug (Pisten 28 und 34) gruppiert und ausgewertet:

Zeitfenster	Nordanflug		Südanflug	
Monat	Anzahl	%	Anzahl	%
Februar 2019	7'426	77.8	2'120	22.2
März 2019	5'204	48.5	5'517	51.5
April 2019	8'352	73.6	2'997	26.4
Mai 2019	8'321	69.5	3'649	30.5

Juni 2019	8'644	72.0	3'363	28.0
Juli 2019	9'349	74.6	3'182	25.4
August 2019	9'490	77.4	2'766	22.6
September 2019	8'799	73.7	3'135	26.3
Oktober 2019	8'790	74.5	3'015	25.5
November 2019	7'496	76.8	2'261	23.2
Dezember 2019	6'578	66.1	3'377	33.9
Januar 2020	7'996	79.8	2'028	20.2
Summe	96'445	72.1	37'410	27.9

Im Schnitt wurden im Zeitfenster Februar 2019 bis Januar 2020 rund 28% aller Anflüge über die beiden Südpisten 28 und 34 abgewickelt.

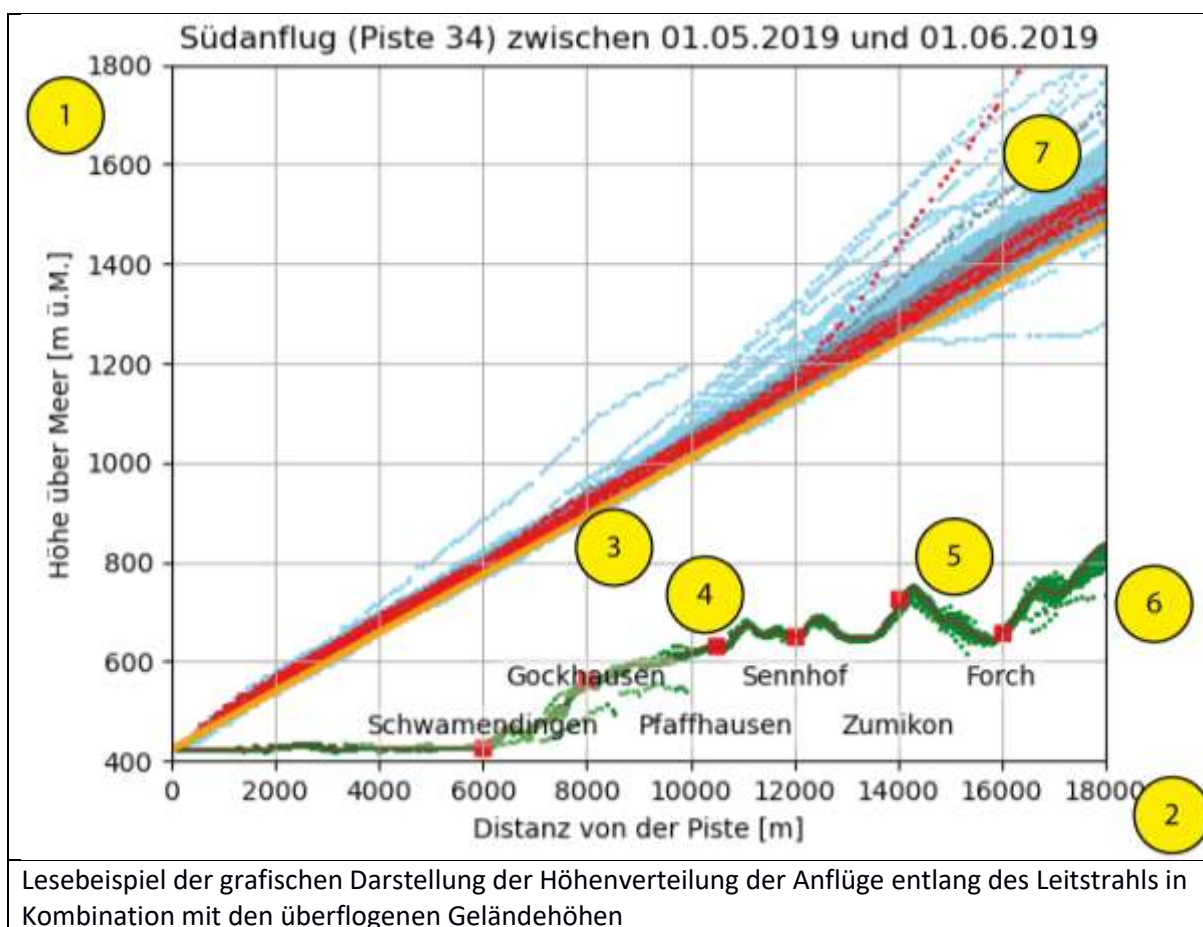
Leseanleitung Grafiken

Um die sehr umfangreichen Daten mehr oder minder einfach interpretieren zu können, wurde eine Darstellung entwickelt, welche die Flughöhe der Flugzeuge im Landeanflug in Relation zum überflogenen Gelände stellt. Um die Daten in einem zeitlichen Kontext einzuordnen können, wurde für eine Grafik jeweils den Zeitraum von einem Kalendermonat gewählt.

Die Darstellung der Flughöhe über dem Gelände gibt die Höhenverteilung der verschiedenen Anflüge auf die jeweiligen Pisten wieder. Dabei werden sämtliche Anflüge auf eine Piste über einen gesamten Monat hinweg zusammengefasst.

Somit verfolgt die Darstellung das Ziel, die Variabilität/Streuung sämtlicher Anflüge in der Höhe wiederzugeben. Dies in Relation zum vorgegebenen Landestrahl des Instrumentenlandesystem (ILS) und dem Gelände welches überflogen wird.

Anschliessend ein Beispiel einer solchen Grafik mit entsprechenden Erläuterungen.



Die nummerierten Positionen beschreiben die folgenden Eigenschaften:

1. Höhe über Meer: Höhe der einzelnen Datenpunkte der Flieger und des überflogenen Geländes über Meer.
2. Distanz von der Piste: Horizontale Distanz zwischen dem Beginn der Piste (0m) entlang des vorgegebenen Leitstrahls des ILS.
3. Orange Linie, Leitstrahl: Durch die Aeronautical Information Publication (AIP) vorgegebener Anflug, respektive Gleitstrahl des ILS.

4. Rote Quadrate, Ortschaften und Siedlungen: Ungefähre Lage des Zentrums wichtiger Ortschaften und Siedlungen, welche sich direkt unter oder in unmittelbarer Nähe des Leitstrahls befinden. Die Lage der Ortschaften wurde rechtwinklig zum Leitstrahl projiziert.
5. Braune Linie, Geländehöhe: Höhe des Geländes welches vom Leitstrahl überstrichen wird. Diese Linie entspricht dem indirekten Bodenabstand eines Flugzeuges, falls dieses sich exakt auf dem Leitstrahl befindet.
6. Grüne Punkte, Geländehöhe: Höhe des Geländes, über welchem sich die einzelnen Flugzeuge, während dem Anflug befanden.
7. Vertikale Positionen Flugzeuge: Höhe über Meer der einzelnen Flugzeuge während dem Landeanflugs. Die Datenpunkte sind nach den unterschiedlichen Tageszeiten eingefärbt:
 - a. Hellblau: Anflüge zwischen 06:00 und 23:00.
 - b. Dunkelgrau: Anflüge, Late-Arrivals, zwischen 23:00 und 23:30.
 - c. Rot: Anflüge während der Nacht zwischen 23:30 und 06:00.

Die als Beispiel dargestellte Grafik kann wie folgt interpretiert werden:

- Generell folgen die Flugzeuge sehr genau dem Leitstrahl des ILS, respektive befinden sich mehrheitlich über dem vorgegebenen Leitstrahl.
- Nur ein Flugzeug flog tiefer als üblich auf den Leitstrahl zu und schwenkte rund 14km vor der Piste auf diesen ein.
- Der Bodenabstand der einzelnen Flugzeuge (Differenz zwischen der Höhe der Flugzeuge (blaue, graue und rote Datenpunkte) und dem Gelände (grüne Datenpunkte und braune Linie)) wurde nicht nennenswert unterschritten.

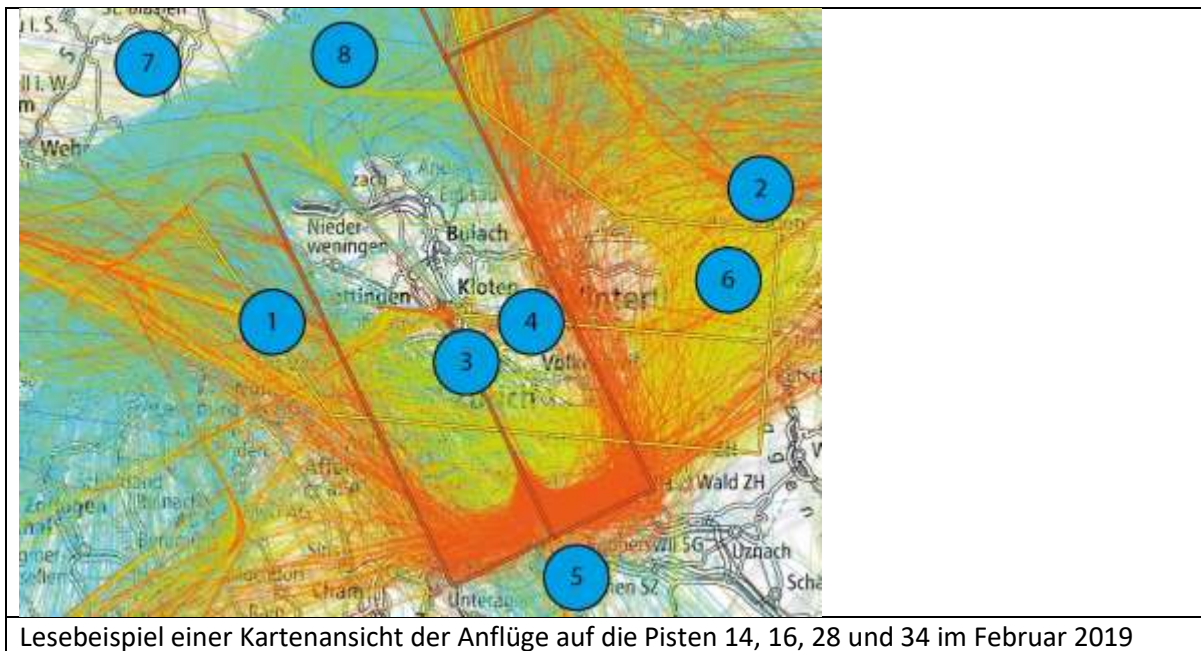
Leseanleitung Karten

Als Hilfsmittel, respektive Nebenprodukt, für das Verständnis der verschiedenen Pistenanflüge stehen auch verschiedene Kartenansichten zur Verfügung.

Im Gegensatz zum vorgängig vorgestellten Grafiktyp zeigen die Kartenausschnitt die Unterschiede der Anflüge in der Horizontalen.

Das Ziel der einzelnen Kartenansichten ist eine einfache Visualisierung der Anflüge im üblichen geografischen Raum. Dies ohne die weiteren Informationen zu Bodenabstand und Flughöhe.

Anschliessend ein Beispiel einer solchen Karte mit entsprechenden Erläuterungen.



Die nummerierten Positionen beschreiben die folgenden Eigenschaften:

1. Orange Linie: Anflug zum Leitstrahl der Piste 34 gemäss der Aeronautical Information Publication (AIP).
2. Gelbe Linie: Anflug zum Leitstrahl der Piste 28 gemäss der Aeronautical Information Publication (AIP).
3. Orange Linie: Leitstrahl auf die Piste 34.
4. Gelbe Linie: Leitstrahl auf die Piste 28.
5. Orange Linien: Geflogene Anflüge auf die Pisten 34.
6. Gelbe Linien: Geflogene Anflüge auf die Pisten 28.
7. Cyan Linien: Geflogene Anflüge auf die Pisten 14.
8. Blaue Linien: Geflogene Anflüge auf die Pisten 16.

Herausforderungen und Probleme

Bei der Realisierung des vorliegenden Projektes stellten sich einige Herausforderungen. Zum einen die Herausforderungen technischer Art, um die sehr grossen Datenmengen zu beziehen und zu verarbeiten.

Zum anderen administrativer Art, um einen entsprechenden Zugriff auf die benötigten Archivdaten zu erhalten. Der Zugriff auf die Archivdaten von OpenSky-Network steht gemäss den «General Terms of Use & Data License Agreement»² für die folgenden Nutzern zur Verfügung:

- non-profit research
- non-profit education
- commercial internal testing and evaluation of the data
- government purposes

Erst nach mehrfachen und langwierigen Nachfragen wurde ein entsprechender Datenzugriff auf die Daten gewährt. Dies, obschon es sich beim FLUGLÄRMFORUM SÜD um government purposes handelt. Die Problematik des Datenzugriffes könnte über eine eigene Datensammlung von Echtzeitdaten (siehe Abschnitt «Ideen und Empfehlung») umgangen werden.

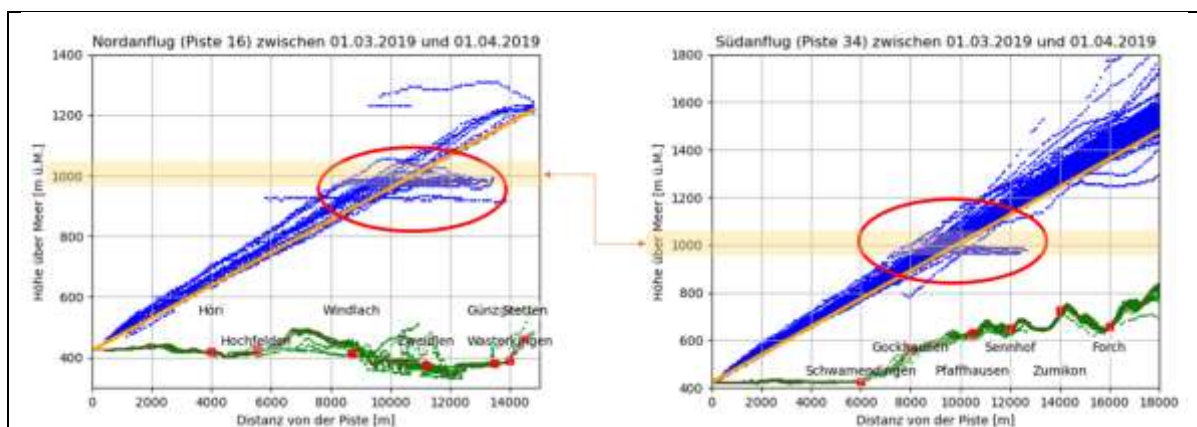
Für das aktuelle Projekt und die Betrachtung der Flugdaten zwischen Februar 2019 und Februar 2020 stellte das Archiv von OpenSky-Network die perfekte Grundlage für die Daten dar. Problematisch bei solchen Archivdaten ist die Verifikation von Ausreissern und Datenfehler.

Für die Verifikation von Ausreisser oder Datenfehler stehen nur sehr wenige Informationen zur Verfügung. Eine gezielte Plausibilitätsprüfung ist somit sehr schwierig, aufwendig oder gar unmöglich. Im folgenden Abschnitt werden einige wenige Beispiele von Ausreissern etwas näher betrachtet.

Beispiele von abweichenden Flugtrajektorien

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden gezielt einige abweichende Flugtrajektorien auf Plausibilität geprüft.

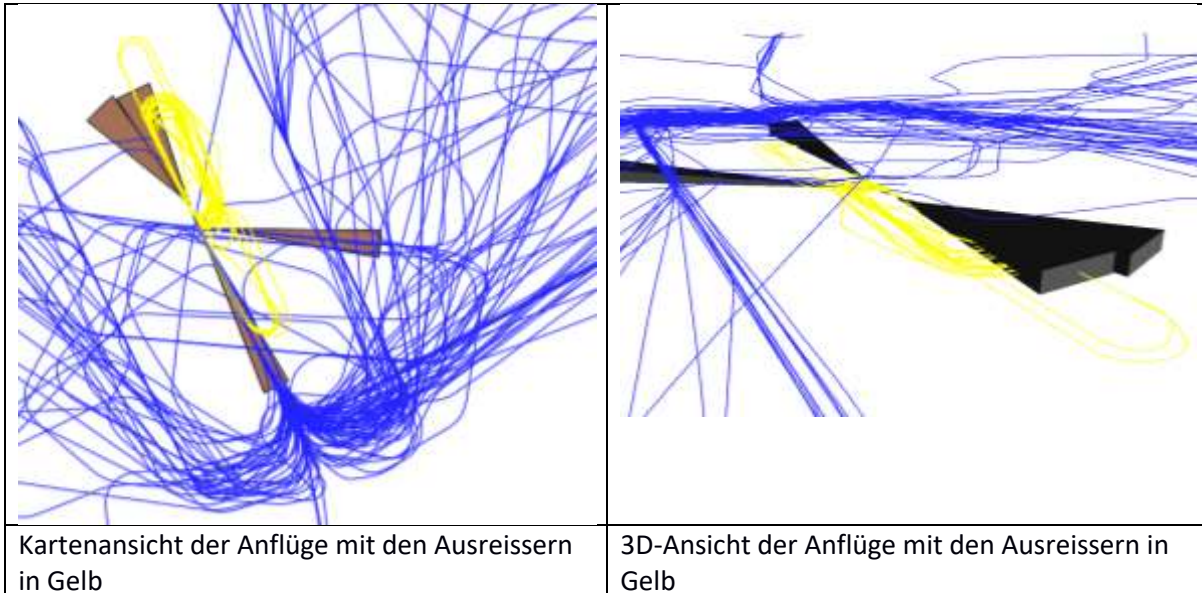
Für den Zeitraum März 2019 wurden bei den beiden Pisten 16 und 34 sehr auffällige Ausreisser festgestellt. Bei den beiden Pisten fanden jeweils rund 1000m ü.M. mehrfach Anflüge statt. Diese Anflüge entsprechen nicht dem üblichen Muster der Anflüge auf dem Leitstrahl des ILS.



² <https://opensky-network.org/about/terms-of-use>

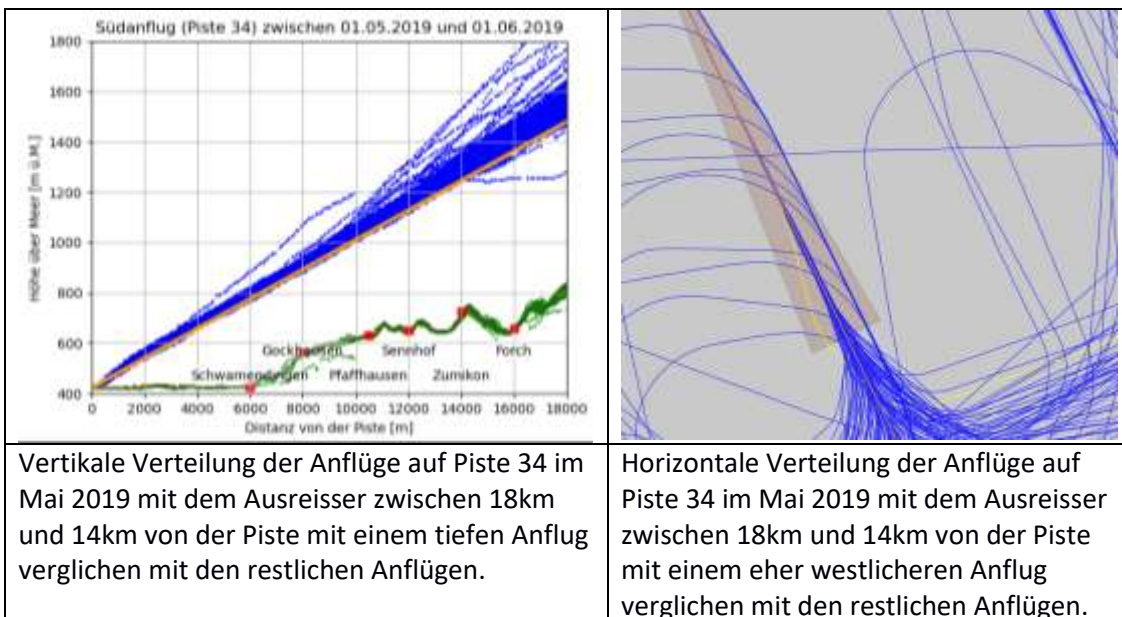
Gegenüberstellung der unüblichen Anflüge auf die Pisten 16 und 34

Eine nähere Betrachtung dieser Anflüge zeigte, dass es sich dabei um ein einzelnes Flugzeug handelt, welches zwischen dem 13. März 2019 22:00 und 14. März 2019 01:00 die beiden Pisten 16 und 34 mehrfach anflug. Die anschliessende Grafik zeigt die verschiedenen Anflüge am 13. März 2019 auf die Piste 34 (blau) und die unüblichen Flugmanöver zwischen 22:00 und 01:00 (gelb).



Über das Call-Sign des Flugzeuges konnte eruiert werden, dass es sich dabei um ein Flugzeug des Flight Calibration Service handelt. Der Flug, respektive die abweichenden Flugmanöver stammen somit mit grosser Wahrscheinlichkeit von einer Kalibration des Landesystems.

Vereinzelt schwenken Flugzeuge auf einer tieferen Höhe als üblich auf den Leitstrahl ein. Solche Flugmanöver sind in den Grafiken als einzelne Datenpunkte unterhalb des Leitstrahls zu erkennen.



Im aufgeführten Beispiel vom Mai 2019 schwenkt ein Flugzeug erst über Zumikon auf den Leitstrahl ein. Das entsprechende Flugzeug (HB-JCN, Airbus A220-300, SWISS) schwenkte von Osten her auf einer tieferen Flugbahn als üblich auf den Leitstrahl ein. Solche Manöver sind bis 14km vor der Piste

regelmässig zu erkennen. Solche Anflüge finden basierend auf den Entscheidungen der Fluglotsen statt.

Qualitätssicherung

In den von OpenSky-Network bezogenen Daten sind die angeflogenen Pisten nicht direkt ersichtlich. Diese müssen über aufwendige geometrische Operationen hergeleitet werden. Zudem besteht keine Garantie, dass die Daten von OpenSky-Network lückenfrei sind.

Um die Daten dennoch auf die Plausibilität prüfen zu können, wurden die bezogenen und interpretierten Daten mit den offiziellen Daten der Flughafen Zürich AG verglichen³.

Für die Prüfung wurden die beiden folgenden Vergleiche angestellt:

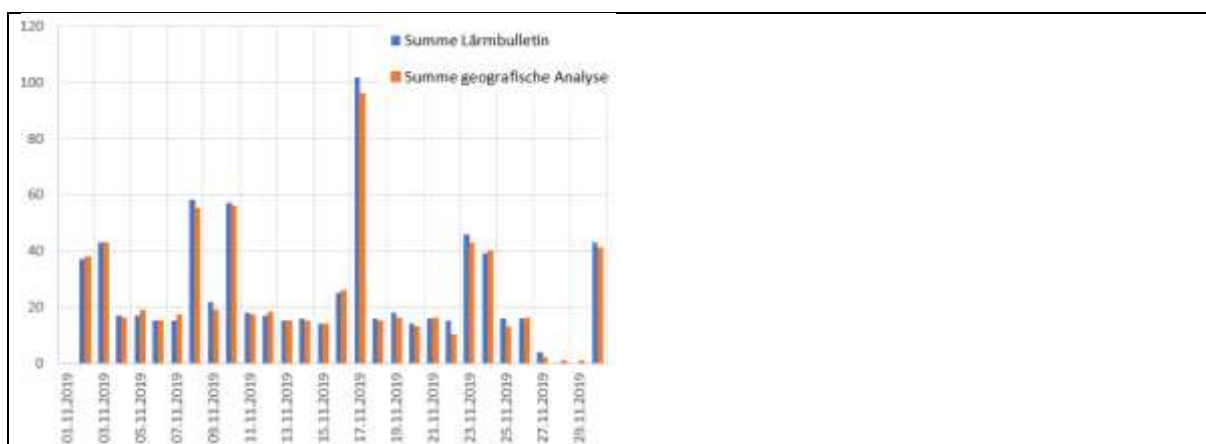
- Vergleich der Anflüge auf die verschiedenen Pisten
- Vergleich der Anflüge zu den verschiedenen Zeitefenster

Die Daten aus dem Lärmbulletin der Flughafen Zürich AG wurden strukturell so überarbeitet, dass diese problemlos in die Datenbank integriert und analysiert werden können.

Neben der Aufteilung der publizierten Anflüge auf die verschiedenen Pisten wurde auch die zeitliche Aufteilung in den beiden Zeitfenster 06:00 bis 22:00 sowie 22:00 bis 06:00 bei der Integration in die Datenbank berücksichtigt.

Vergleich der Anflüge auf die verschiedenen Pisten

Als Beispiel werden die Gesamtzahl von Anflügen auf die Piste 34 zwischen den Angaben aus dem Lärmbulletin und den in diesem Projekt durchgeführten geografischen Analysen verglichen.



Vergleich der Anzahl Anflüge auf die Piste 34 zwischen dem publizierten Lärmbulletin der Flughafen Zürich AG und der geografischen Analyse der Trajektorien von OpenSky-Network

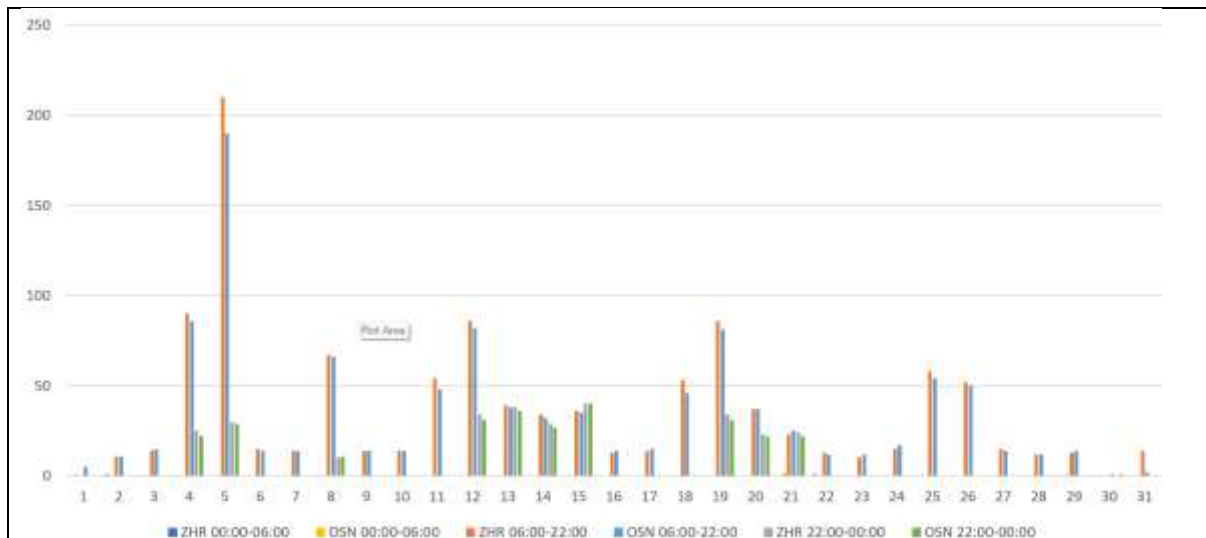
Die aus den Daten von OpenSky-Network abgeleiteten monatlichen Summen von Anflügen auf die Piste 34 stimmt in einem sehr hohen Mass mit den publizierten Summen überein und können somit als vertrauenswürdige Daten erachtet werden.

³ Lärmbulletin Flughafen Zürich: <https://www.flughafen-zuerich.ch/en/company/responsibility/noise-and-sound-insulation/noise-monitoring>

Vergleich der Anflüge zu den verschiedenen Zeitenfenster

Im Lärmbulletin der Flughafen Zürich AG stehen wie eingangs beschrieben nur die zwei Zeitfenster 06:00 bis 22:00 sowie 22:00 bis 06:00 zur Verfügung. Im Gegensatz dazu, können die Daten des OpenSky-Networks zeitlich viel detaillierter aufgeteilt werden.

Leider sind die effektiven Zeitpunkte der Anflüge aus den Archivdaten des OpenSky-Networks nur indirekt über den Zeitpunkt des Flugendes abzuleiten. Aus diesem Grund ist die Gegenüberstellung der beiden Datenquellen hinsichtlich des zeitlichen Aspekts sehr wichtig.



Gegenüberstellung der täglichen Daten Mai 2019 des Lärmbulletin (ZHR) und des OpenSky-Network's (OSN) für die drei Zeitfenster 00:00 bis 06:00, 06:00 bis 22:00 und 22:00 bis 00:00

Analog zu den Summen der Anflüge auf die unterschiedlichen Pisten stimmen auch die Daten der täglichen Zeitfenster der beiden Datenquellen sehr gut überein.

Ideen und Empfehlung

Im Rahmen dieses Projektes konnten sehr viele Erfahrungen im Umgang mit Flugtrajektorien gesammelt werden. Gleichzeitig konnte eine Methodik entwickelt werden, welche eine Datenanalyse mit Archivdaten ermöglicht.

Die Verwendung von Archivdaten hat aber den entscheidenden Nachteil, dass ein direkter Vergleich mit aktuellen und gemeldeten Flugbewegungen kaum möglich ist.

Um Beobachtungen und Meldungen aus der Bevölkerung oder anderen betroffenen Kreisen in einem zeitlichen Kontext besser abschätzen und beurteilen zu können, würde sich eine Datensammlung der Flugbewegungen in Echtzeit mit Livedaten empfehlen.

Basierend auf der Methodik wie die Daten für das OpenSky-Network gewonnen werden, könnten verschiedene Empfänger für das benötigte ADS-B / Mode S-Signal aufgebaut werden. Solche Empfänger sind in verschiedenen Varianten zu sehr tiefen Kosten erhältlich⁴. Alternativ könnte versucht werden, den Kontakt zu bereits bestehenden Empfängerbetreibern in der Region des Flughafen Zürich zu finden.

⁴ Empfehlungen von OpenSky-Network: <https://opensky-network.org/contribute/get-a-receiver>

Das eigene Sammeln solche Echtzeitdaten hätte die folgenden Vorteile gegenüber Archivdaten:

- Zeitlich direkter Vergleich mit Beobachtungen.
- Keine Zugriffsbeschränkungen auf Archivdaten (z.B. Einschränkungen bei OpenSky-Network oder Kosten bei kommerziellen Anbietern wie FlightRadar24).
- Volle Kontrolle über die Daten für Nutzung und Qualitätssicherung.
- Massiv bessere Berücksichtigung der effektiven Tageszeiten. Die Archivdaten erlauben nur eine indirekte Abschätzung der Ankunftszeit über das Ende des empfangenen Transponder-Signals.
- Allenfalls die Möglichkeit, die Daten in ein entsprechendes Netzwerk wie das OpenSky-Network einzuspeisen und somit das Recht erwerben, auch Archivdaten zu nutzen.
- Die Daten können mit weiteren Parametern wie Niederschlag, Wind und Sichtweiten in Verbindung gebracht werden. Dies hinsichtlich der Kontrolle der verschiedenen Prozeduren für An- und Abflüge.

Allfällige Ausreisser von Anflügen lassen sich über die verschiedenen Plattformen wie www.flightradar24.com schnell kontrollieren und verifizieren. Dies, ohne auf allfällig kostenpflichtige Archivdaten zurückgreifen zu müssen.

Allenfalls könnten die so gesammelten Daten in ein System «Umwelt-Monitoring-Flugverkehr» einfließen. Ein solches System könnte Gemeindeübergreifend die verschiedensten Aspekte des Flugverkehrs in Flughafennähe zusammenfassen (z.B. Lärmmessungen, Anflug und Abflug, die aktuellen Reglementarien, Zonenplan, ...).

Methodisch und technisch bietet das vorliegende Projekt eine gute Grundlage für eine allfälligen zukünftigen Sammlung von Echtzeitdaten

Je nach den verschiedenen Bedürfnissen im Rahmen eines solchen möglichen «Umwelt-Monitoring-Flugverkehr» müssten die zu treffenden Anpassungen und Erweiterungen abgeschätzt werden.

Im aktuellen Projekt ist nur der Anflug auf den Flughafen Zürich betrachtet worden. Im Rahmen der Datenbeschaffung für das Zeitfenster Februar 2019 bis und mit Januar 2020 wurden aber auch die gesamten Trajektorien der Abflüge bezogen und gespeichert. Neben den 124'809 Trajektorien der Anflüge stehen für diesen Zeitraum auch 116'764 Trajektorien der Abflüge für die Analyse zur Verfügung.

Im Rahmen der skizzierten weiteren Arbeiten mit Echtzeitdaten würde sich natürlich dringend auch die Speicherung und Analyse der Abflüge anbieten. Technisch sind die Daten der Abflüge bereits in der bestehenden Datenbank vorgesehen, respektive integriert.

Datenquellen, Programmiersprache und Datenbanken

Als Datenquellen wurden mit Ausnahme der Aeronautical Information Publication (AIP) der skyguide offene Datenquellen verwendet. Neben den für Behörden freien Daten des Flugverkehrs standen vor allem auch die freien geografischen Daten der Landesvermessung der Schweiz, swisstopo, zur Verfügung. Die Geobasisdaten (OGD) der Schweiz stehen seit März 2021 zur freien Verfügung⁵.

Für die Programmierung wurde die freie Programmiersprache Python verwendet. Für diese Sprache steht zudem eine sehr umfangreiche freie Bibliothek für die Analyse von Flugdaten zur Verfügung. Die gesamten grafischen Darstellungen wurden mit freien Mathematik-Bibliotheken für Python realisiert.

Für die geografische Ansicht der Daten und für die Erstellung der verschiedenen Karten wurde das frei GIS-Programm QGIS (<https://www.qgis.org>) verwendet. Und für die Speicherung der umfangreichen Daten ist die freie Datenbank PostgreSQL (<https://www.postgresql.org>) eingesetzt worden. Zusammen mit der geografischen Erweiterung PostGIS (<https://www.postgis.org>) wurden praktisch alle geografischen Analysen direkt innerhalb der Datenbank durchgeführt.

Die grundlegende Philosophie der Verwendung von offenen Daten, Programmiersprachen und Programmen ist die Ermöglichung der Anwendung der vorgestellten Methodik im Rahmen der Zivilgesellschaft und Organisationen mit beschränkten finanziellen Mitteln.

Die offiziellen Daten der Anflugsgeometrien wurden aus der kostenpflichtigen Publikation Aeronautical Information Publication (AIP) der skyguide entnommen.

Folgende Datenquellen wurden verwendet:

Flugverkehrsdaten und Flugtrajektorien

- OpenSky-Network
 - Weltweite offene Sammlung von ADS-B / Mode S Transponderdaten
 - <https://opensky-network.org/>

Programmierschnittstelle

- Traffic, air traffic data processing with Python
 - Freie Schnittstelle für die Programmiersprache Python
 - <https://traffic-viz.github.io>

Aeronautische Grundlagedaten Flughafen Zürich

- Aeronautical Information Publication (AIP) skyguide
 - Ausgabe November 2021
 - <https://www.skybriefing.com/en/prices/evfr-manual>

Monatliche Flugbewegungen Flughafen Zürich

- Flugbewegungen auf den Instrumenten-Flugrouten Flughafen Zürich
 - https://media.flughafen-zuerich.ch/-/jssmedia/airport/portal/dokumente/das-unternehmen/politics-and-responsibility/noise-and-sound-insulation/monatliche-flugbewegungen_2212.pdf

⁵ <https://www.swisstopo.admin.ch/de/swisstopo/kostenlose-geobasisdaten.html>

- Lärmbulletin Flughafen Zürich
 - <https://www.flughafen-zuerich.ch/en/company/responsibility/noise-and-sound-insulation/noise-monitoring>

Geografische Daten und Karten

- swisstopo
 - Höhenmodelle
 - <https://www.swisstopo.admin.ch/en/geodata/height/alti3d.html>
 - <https://opendata.swiss/en/dataset/swissalti3d>
 - Topografische Karten
 - <https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/maps/smr/smr10.html>
 - <https://opendata.swiss/en/dataset/swiss-map-vector-10-vektorielle-landeskarte-der-schweiz-1-10-000>

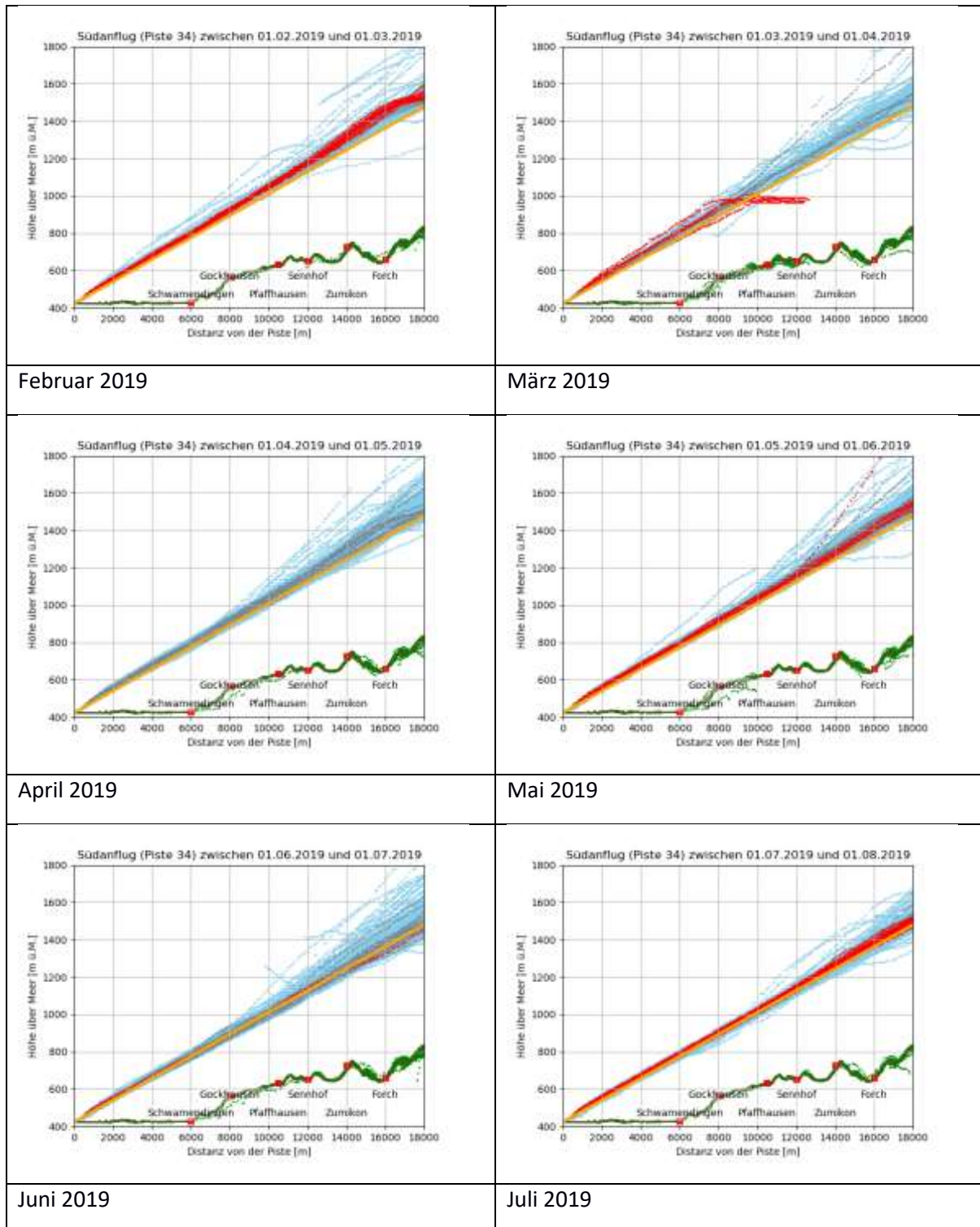
Präsentationen

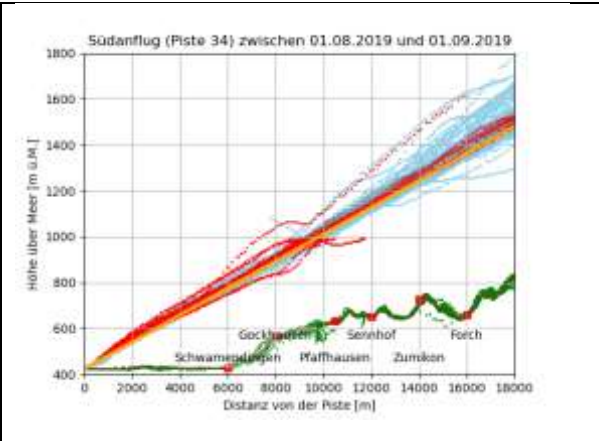
Das Projekt wurde am folgenden Anlass bereits vorgestellt:

- QGIS Anwendergruppe Schweiz, Anwendertreffen 2022
 - Die entsprechende Präsentation kann unter dem folgenden Link bezogen werden:
https://www.geoidee.ch/wp-content/uploads/2022/06/20220615_QGISSchweiz_Anwendertreffen_web.pdf

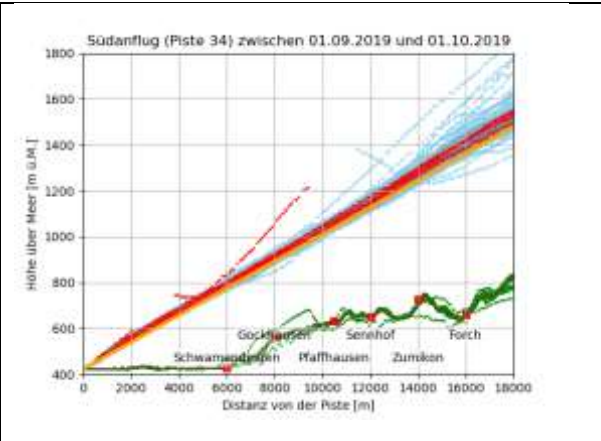
Anhang A: Detaillierte Grafiken

Südanflug Piste 34

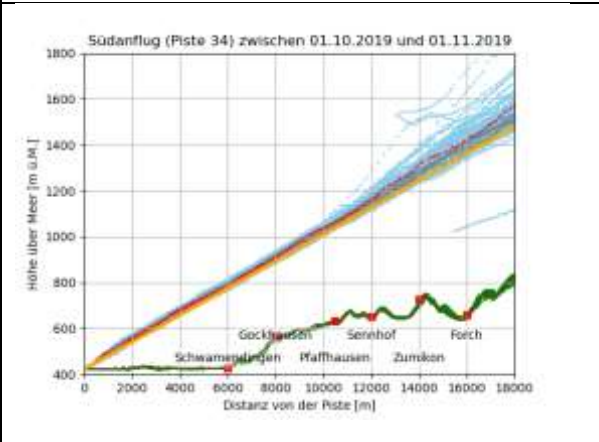




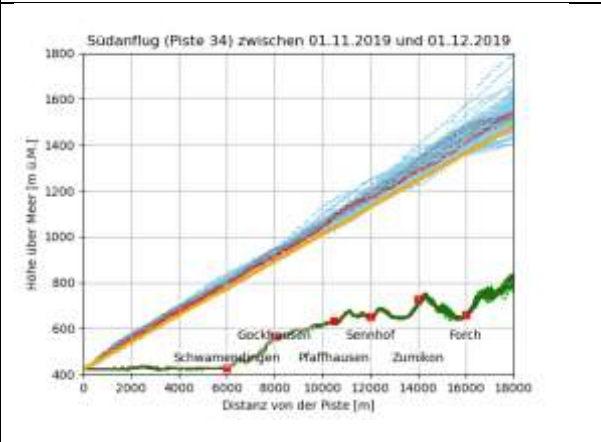
August 2019



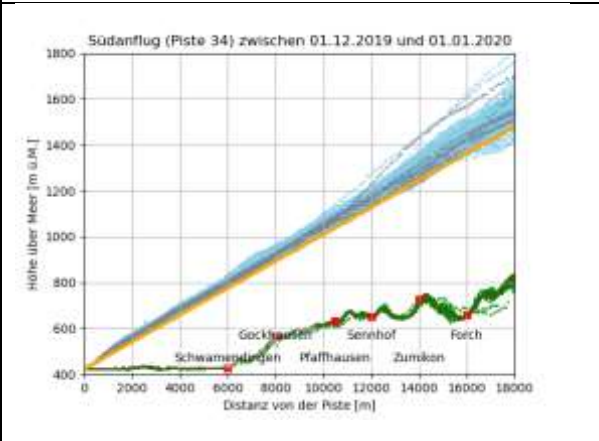
September 2019



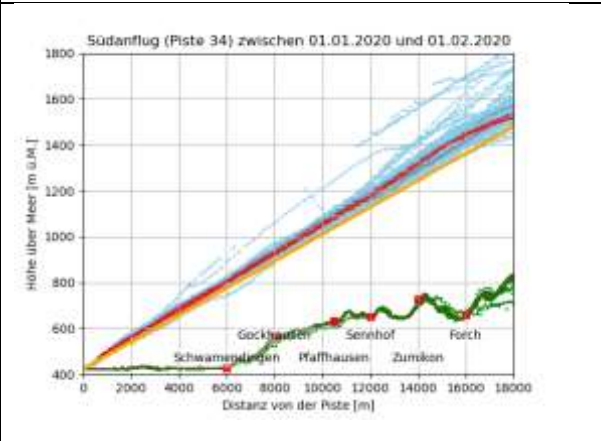
Oktober 2019



November 2019

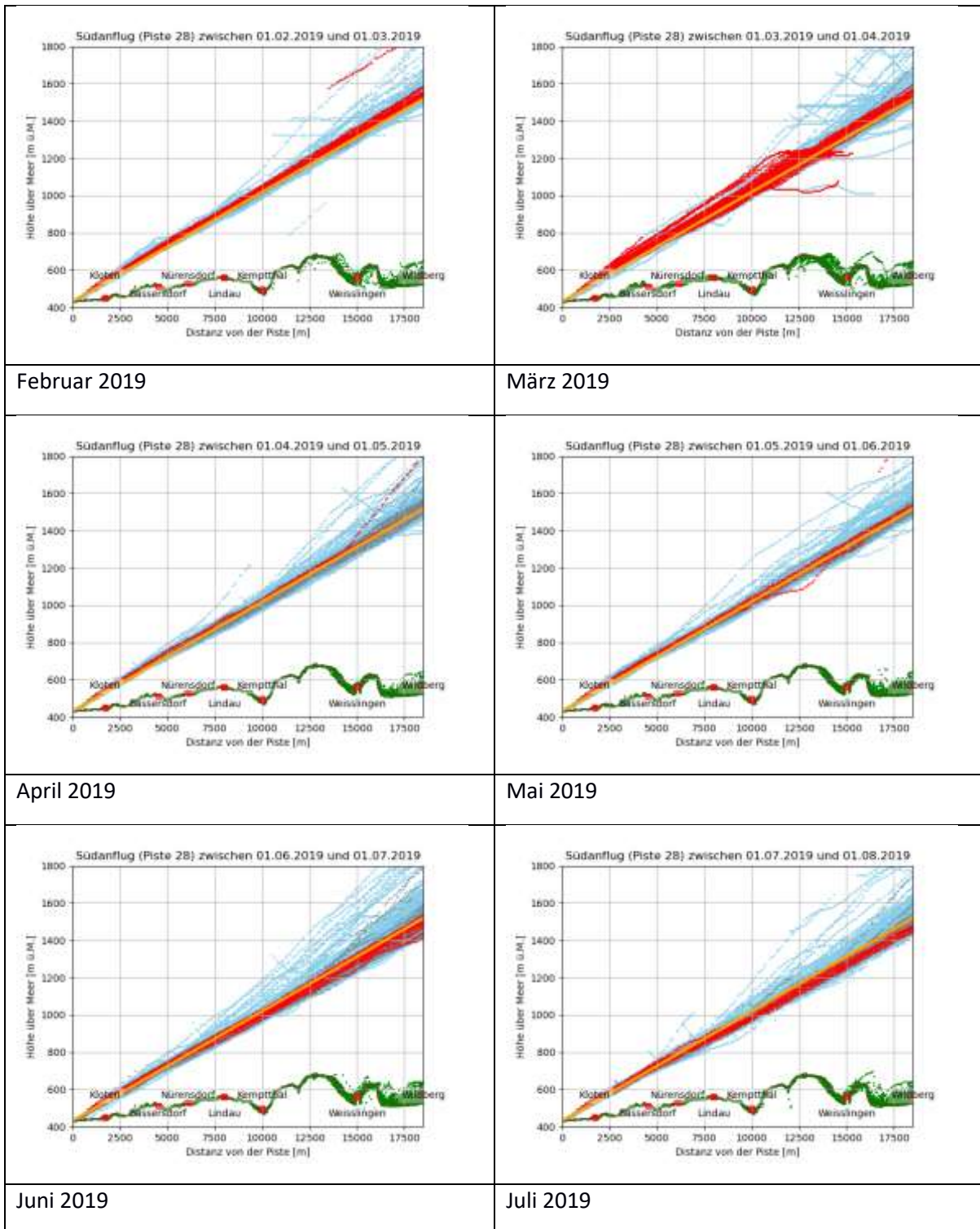


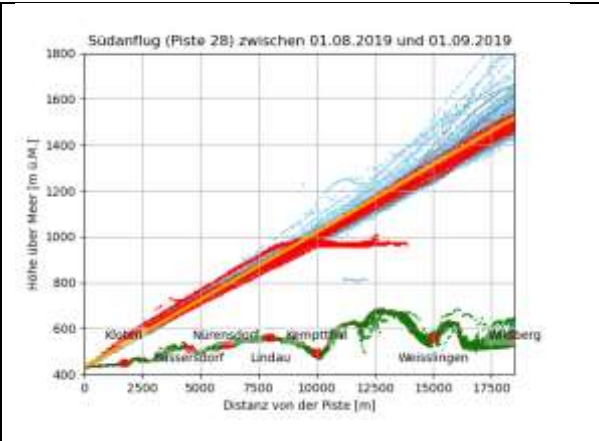
Dezember 2019



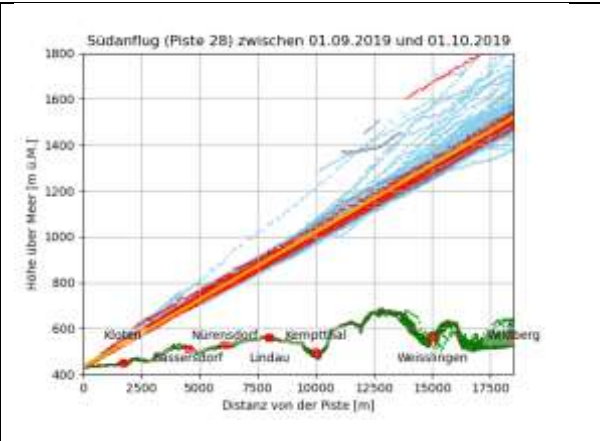
Januar 2020

Ostanflug Piste 28

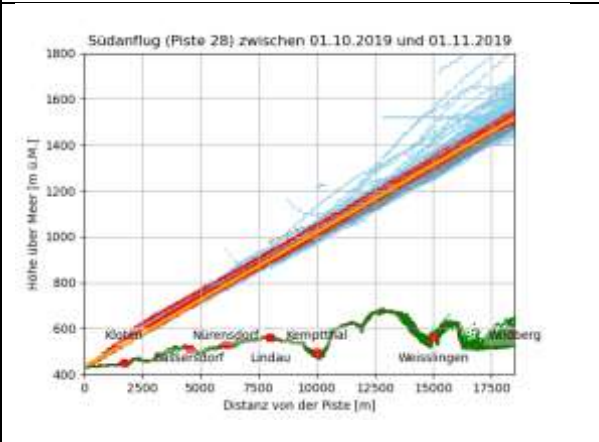




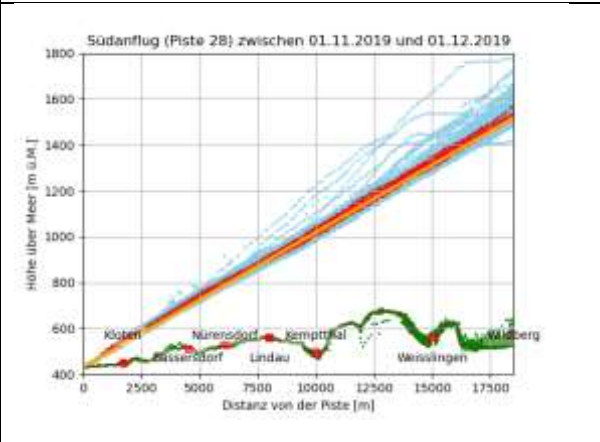
August 2019



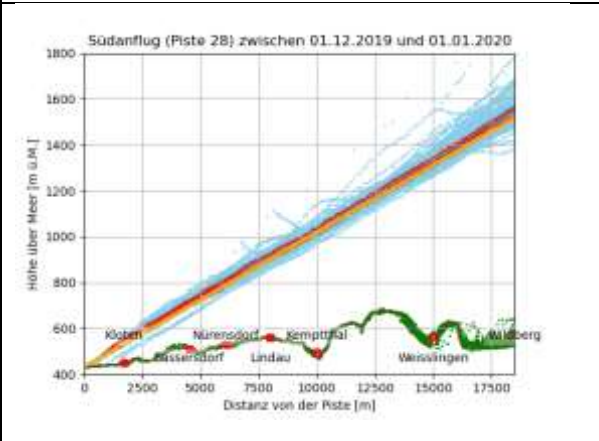
September 2019



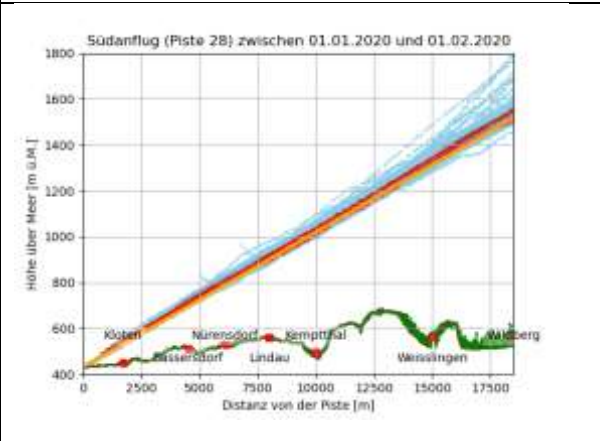
Oktober 2019



November 2019

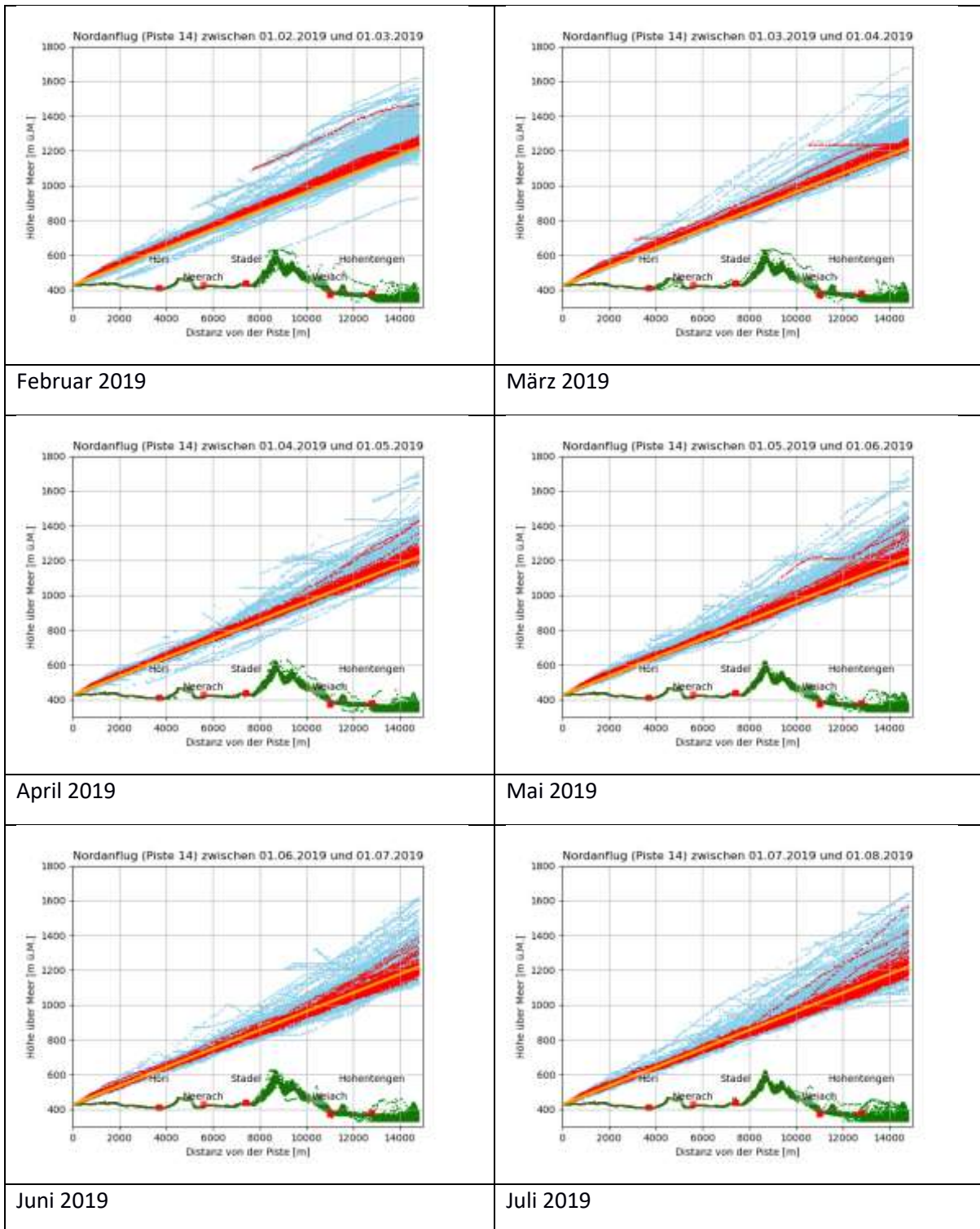


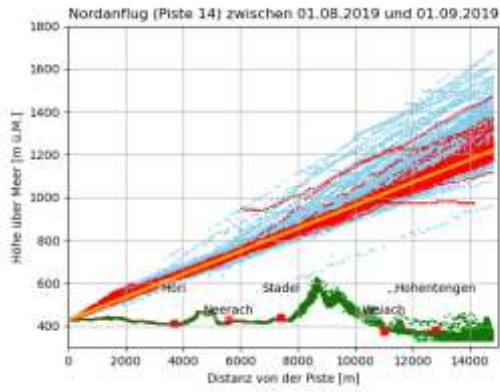
Dezember 2019



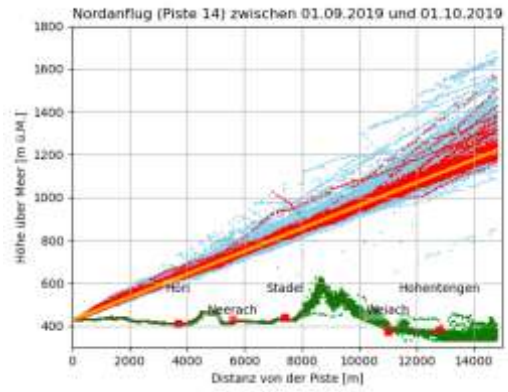
Januar 2020

Nordanflug Piste 14

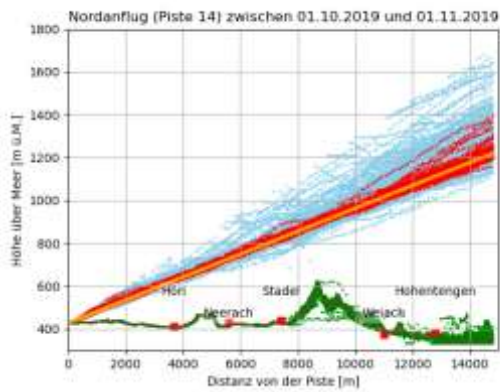




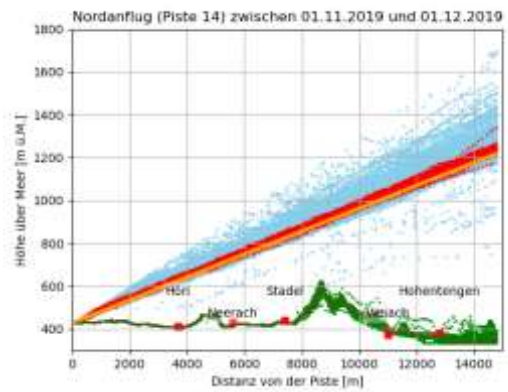
August 2019



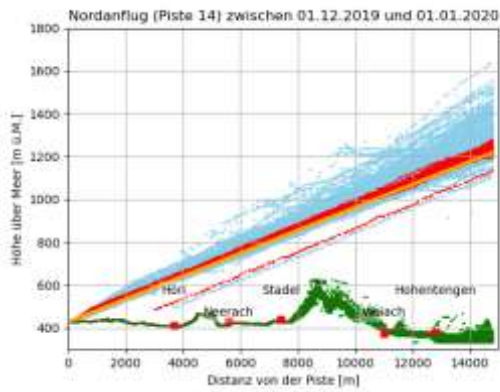
September 2019



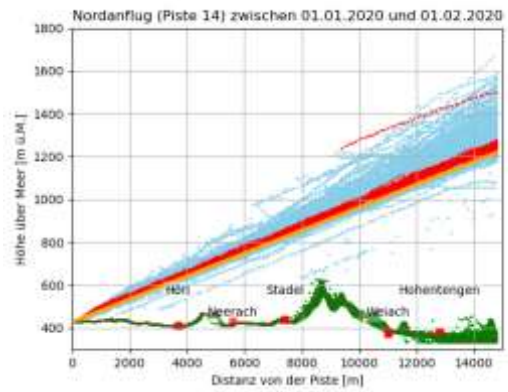
Oktober 2019



November 2019

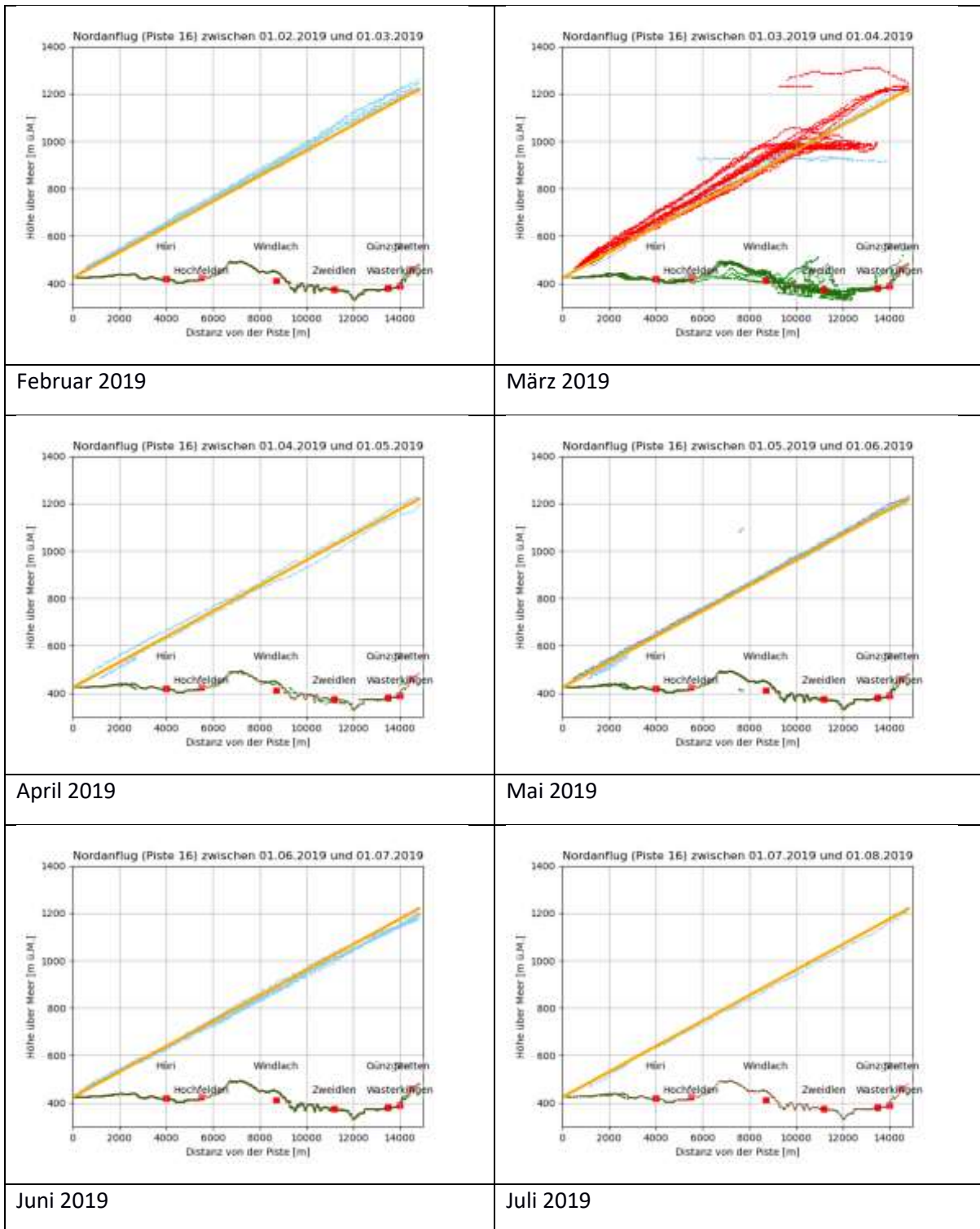


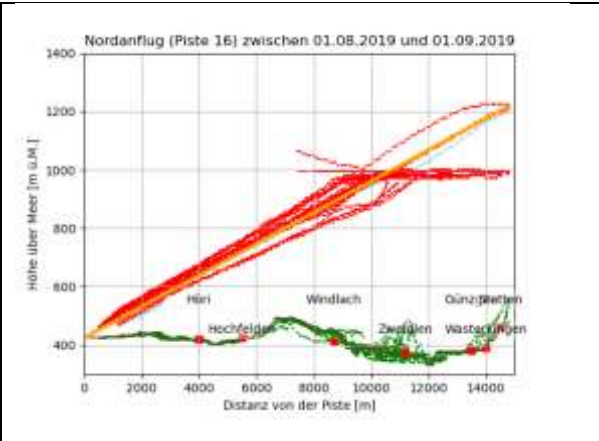
Dezember 2019



Januar 2020

Nordanflug Piste 16





August 2019



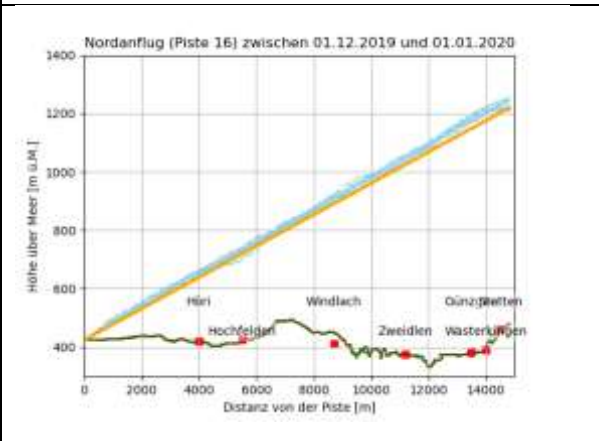
September 2019



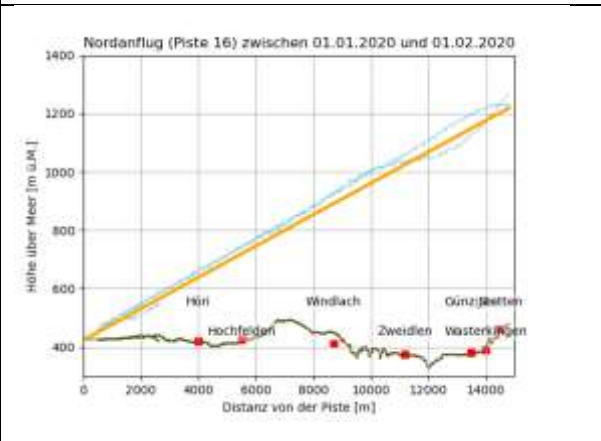
Oktober 2019



November 2019



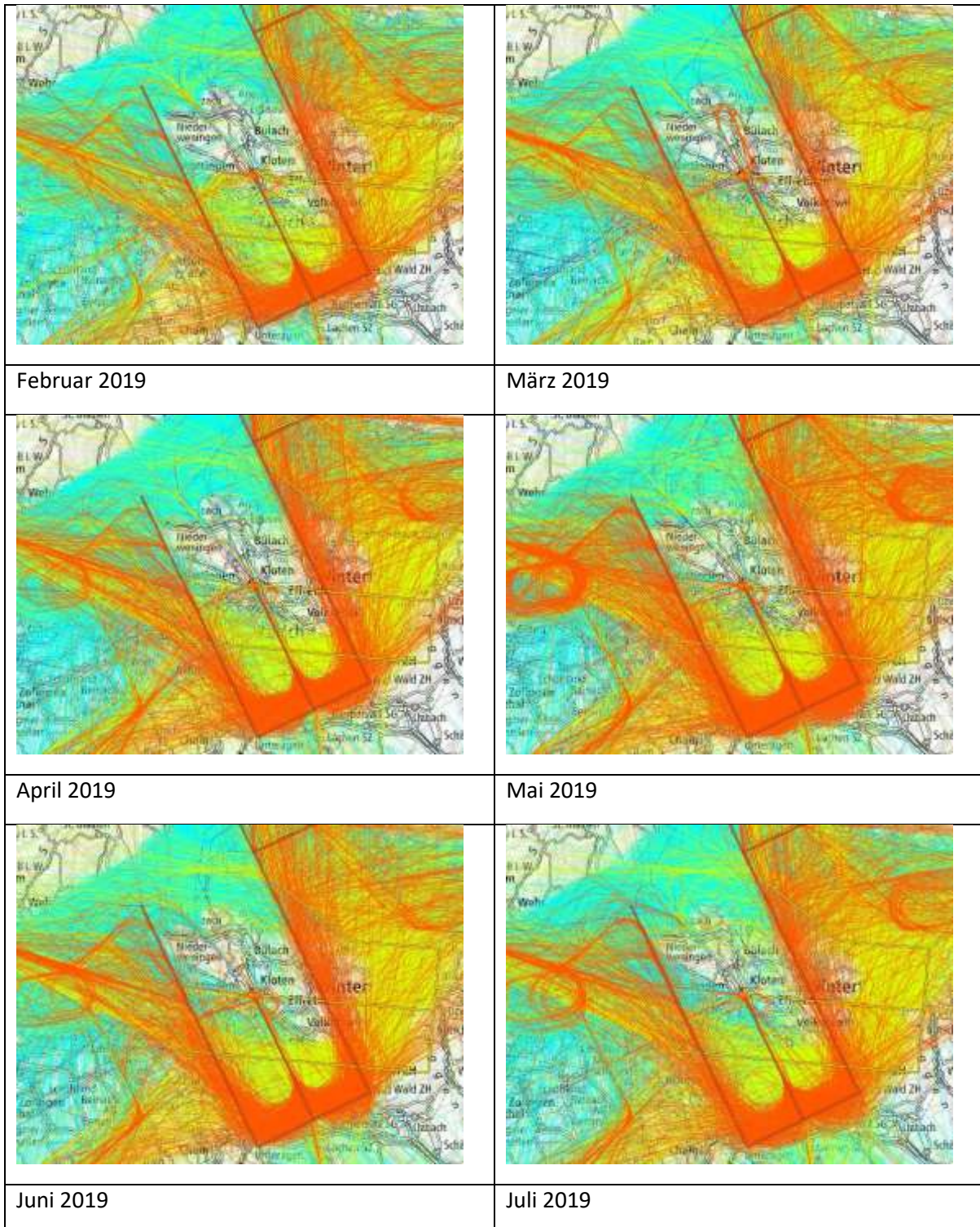
Dezember 2019

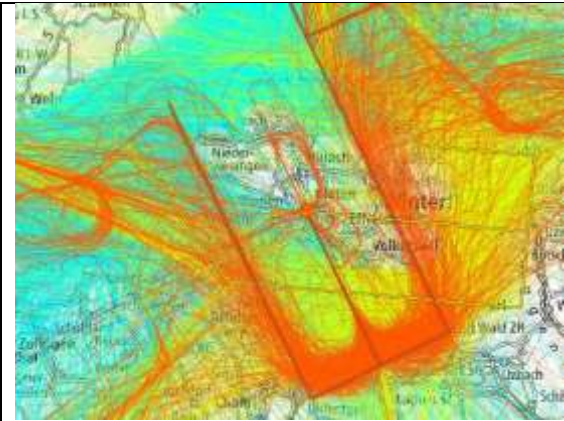


Januar 2020

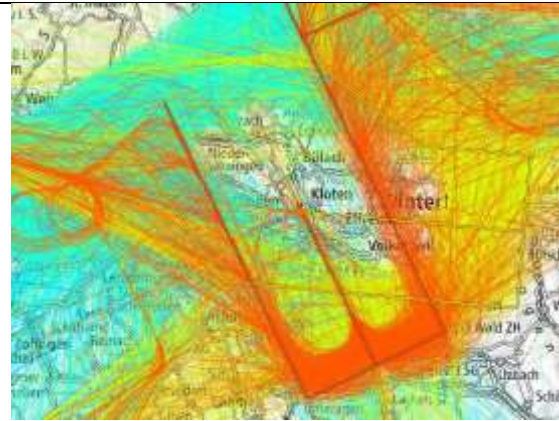
Anhang B: Detaillierte Karten

Die folgende Abfolge von Karten zeigt sämtliche Anflüge auf den Flughafen Zürich zusammenfassend jeweils für einen Monat.

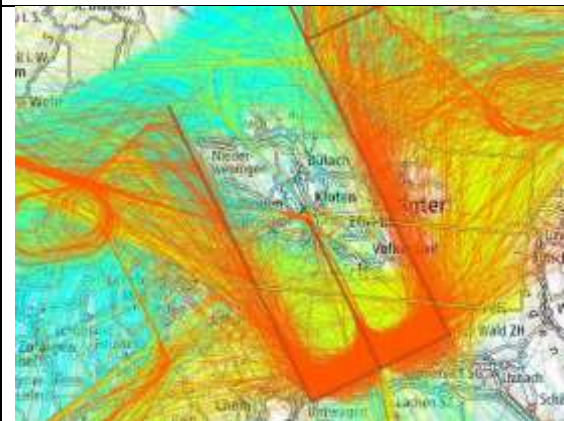




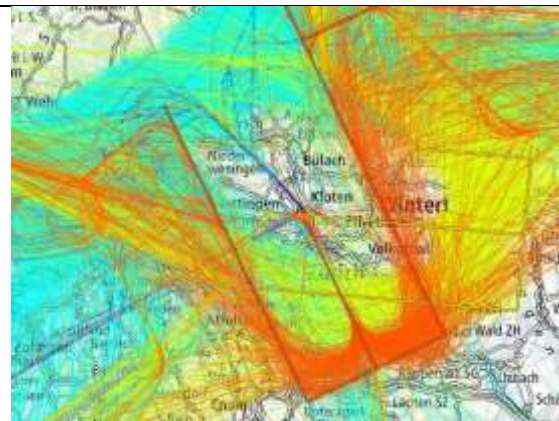
August 2019



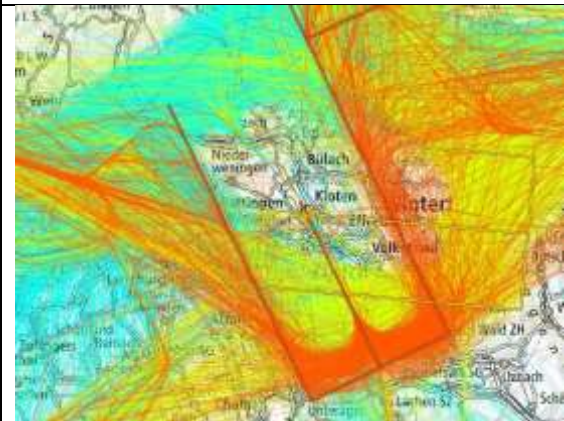
September 2019



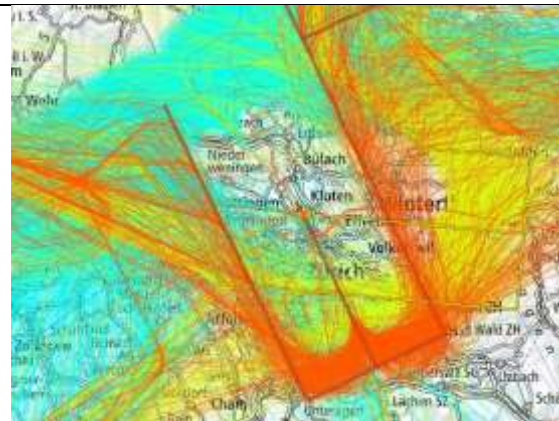
Oktober 2019



November 2019



Dezember 2019



Januar 2020