



AllergyTrace — Statistische Methodik

Transparente Dokumentation der Berechnungsverfahren mit einem vollständig durchgerechneten Worked Example.

SilvaGIS GmbH · Dumeni Cavegn · Stand 01.06.2026

1. Was die App tut — und was nicht

AllergyTrace ist ein **offline Allergie-Tagebuch mit statistischer Korrelationsanalyse**. Nutzer:innen erfassen täglich:

- **Benutzerdefinierte Symptom-Felder** auf 0–10 Skala (z. B. Augenjucken, Niesen, Atemnot — vom Nutzer frei definiert)
- **Allergen-Expositionen** mit Datum, Intensität, optional Dauer (Pollen, Nahrungsmittel, Tiere etc.)
- **Linderungsmittel-Einnahmen** mit Datum und Effektivität

Nach mindestens 6 Tageseinträgen rechnet die App auf dem Gerät:

- **Schnellanalyse**: Per-Symptom-Feld-Mittelwertvergleich mit Zeitverzögerungs-Optimierung (Welch's t-Test, Cohen's d)
- **Wissenschaftliche Analyse**: Ordinale Logistische Regression mit 5 Eingangsvariablen zur Bereinigung von Störfaktoren (Confoundern)
- **Linderungsmittel-Korrelation**: Vergleich von Symptomwerten bei Exposition mit und ohne Relief-Medikament

Transparente Methodik: Alle Berechnungen sind in JavaScript / TypeScript implementiert und in den Quellcode-Dateien `analysisEngine.ts`, `quickAnalysis.ts`, `ordinalLogit.ts` dokumentiert. Quellcode auf Anfrage verfügbar.

Was AllergyTrace NICHT ist: Kein Medizinprodukt im rechtlichen Sinne (MDR/IVDR), keine Diagnose, kein Ersatz für allergologische Abklärung. Statistische Korrelation ist nicht Kausalität. Ergebnisse sind Hypothesen, die Patient:innen in die Sprechstunde mitbringen können — nicht ärztliche Bestätigungen.

2. Statistische Formeln

1 Arithmetisches Mittel

Standardformel:

$$\bar{x} = (1/n) \cdot \sum x_i$$

2 Stichproben-Standardabweichung (Bessel-Korrektur)

Mit $n-1$ im Nenner (unverzerrt für Stichproben):

$$s = \sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1))}$$

3 Cohen's d (Effektstärke)

Effektgrösse standardisiert auf SD-Einheiten:

$$d = |\bar{x}_A - \bar{x}_B| / s_{\text{pooled}}$$

$$s_{\text{pooled}} = \sqrt{(s_A^2 + s_B^2) / 2}$$

Interpretations-Schwellen nach Cohen (1988): **$d \approx 0.2$ klein, $d \approx 0.5$ mittel, $d \approx 0.8$ gross**. Sawilowsky (2009) ergänzt: **$d \approx 1.2$ sehr gross, $d \approx 2.0$ enorm**. AllergyTrace nutzt die einfache gepoolte SD $\sqrt{(s_A^2 + s_B^2) / 2}$; die alternative Hedges-Variante d_s gewichtet zusätzlich nach Stichprobengrösse — bei stark ungleichen n unterscheiden sich die Werte geringfügig.

4 Welch's t-Test (unabhängige Stichproben, ungleiche Varianzen)

t-Statistik:

$$t = (\bar{x}_A - \bar{x}_B) / \sqrt{(s_A^2/n_A + s_B^2/n_B)}$$

Welch-Satterthwaite-Freiheitsgrade:

$$df = (s_A^2/n_A + s_B^2/n_B)^2 / ((s_A^2/n_A)^2/(n_A - 1) + (s_B^2/n_B)^2/(n_B - 1))$$

Die App verwendet **Welch's t-Test** statt des klassischen Student's t-Tests, da Stichproben in der Praxis fast immer unterschiedliche Varianzen haben. Die Welch-Satterthwaite-df-Näherung liefert genauere kritische Werte bei ungleichen Varianzen.

5 Zweiseitiger p-Wert via Student-t Verteilung

Beziehung t-Verteilung zur regularisierten unvollständigen Beta-Funktion (Abramowitz & Stegun §26.7.1):

$$P_{(2\text{-sided})} = I_x(df/2, 1/2) \quad \text{mit} \quad x = df / (df + t^2)$$

Die regularisierte unvollständige Beta-Funktion $I_x(a, b)$ wird numerisch via Continued-Fraction-Expansion nach Numerical Recipes §6.4 (Lentz' Algorithmus) berechnet, $\log(\Gamma(x))$ via Lanczos-Approximation.

Validierung gegen Tabellenwerte (Standardquelle):

t	df	Tabellen-p	App-p	Abweichung
2.228	10	0.0500	0.0500	< 0.0001
1.812	10	0.1000	0.1001	< 0.0001
3.169	10	0.0100	0.0100	< 0.0001
4.000	20	0.0007	0.0007	< 0.0001

6 Signifikanz-Kriterium

AllergyTrace bezeichnet einen Effekt erst als „signifikant“, wenn **beide** Bedingungen erfüllt sind:

1. **Effektgrösse:** $|\Delta| > 1.0$ Punkte auf 0–10 Skala ($\approx 10\%$ der Skala)
2. **Statistik:** $p < 0.05$ im Welch's t-Test

Damit wird verhindert, dass triviale Effekte allein wegen grosser Stichprobe als „signifikant“ erscheinen.

3. Worked Example: Birkenpollen vs Augenjucken

3.1 Datensatz

30 Tage simuliertes Tagebuch (1.–30. April 2026), realistisches Rauschen: einige Expositionstage mit milder Reaktion, einige Tage ohne Exposition mit erhöhtem Wert (andere Trigger wie Stress, Schlaf, andere Allergene). „Augenjucken“ als benutzerdefiniertes Symptom-Feld, 0–10 Skala, niedriger ist besser. Birkenpollen-Exposition an 14 Tagen.

Datum	Pollen-Exposition	Augenjucken	Datum	Pollen-Exposition	Augenjucken
2026-04-01	ja	6	2026-04-16	ja	6
2026-04-02	nein	2	2026-04-17	nein	5
2026-04-03	ja	5	2026-04-18	ja	6
2026-04-04	ja	7	2026-04-19	ja	7
2026-04-05	nein	1	2026-04-20	nein	2
2026-04-06	ja	6	2026-04-21	nein	1
2026-04-07	nein	4	2026-04-22	ja	5
2026-04-08	ja	4	2026-04-23	nein	3
2026-04-09	ja	8	2026-04-24	ja	6
2026-04-10	nein	2	2026-04-25	nein	2
2026-04-11	ja	5	2026-04-26	nein	1
2026-04-12	nein	3	2026-04-27	nein	3
2026-04-13	ja	7	2026-04-28	nein	2
2026-04-14	ja	3	2026-04-29	nein	4
2026-04-15	nein	2	2026-04-30	nein	2

Gruppe A (Exposition): $n=14$, Werte = {6, 5, 7, 6, 4, 8, 5, 7, 3, 6, 6, 7, 5, 6}, $\Sigma = 81$. Erkennbar: zwei Expositionstage mit mildem Symptom (4, 3) — typisch für Tage mit niedrigem Pollenflug oder zusätzlicher Schutzmassnahme.

Gruppe B (Keine Exposition): $n=16$, Werte = {2, 1, 4, 2, 3, 2, 5, 2, 1, 3, 2, 1, 3, 2, 4, 2}, $\Sigma = 39$. Erkennbar: drei „Ohne Exposition“-Tage mit erhöhtem Symptom (4, 5, 4) — vermutlich andere Trigger (Stress, Schlafmangel, andere Allergene).

3.2 Schritt-für-Schritt-Berechnung

Schritt 1 — Arithmetisches Mittel

$$\bar{x}_A = 81 / 14 = 5.7857$$

$$\bar{x}_B = 39 / 16 = 2.4375$$

$$\Delta = \bar{x}_A - \bar{x}_B = 3.3482$$

Schritt 2 — Stichproben-SD

$$\Sigma(x_A - \bar{x}_A)^2 = 22.3571 \rightarrow s_A = \sqrt{(22.3571 / 13)} = 1.3114$$

$$\Sigma(x_B - \bar{x}_B)^2 = 19.9375 \rightarrow s_B = \sqrt{(19.9375 / 15)} = 1.1529$$

Die SDs zeigen Streuung in beiden Gruppen — eine plausible Realität bei selbstberichteten Symptom-Skalen.

Schritt 3 — Cohen's d

$$s_{\text{pooled}} = \sqrt{((1.3114^2 + 1.1529^2) / 2)} = \sqrt{(1.5239)} = 1.2347$$

$$d = |3.3482| / 1.2347 = 2.7118$$

Interpretation: $d = 2.71$ liegt weit oberhalb der von Cohen (1988) eingeführten Schwelle für „gross“ ($d \approx 0.8$). Sawilowsky (2009) erweitert die Skala um „sehr gross“ ($d \approx 1.2$) und „enorm“ ($d \approx 2.0$). Für Selbstbericht-Daten aus einem Tagebuch ist ein Effekt dieser Grösse ein klinisch relevantes Signal.

Schritt 4 — Welch's t-Statistik

$$SE_A = s_A^2 / n_A = 1.7198 / 14 = 0.12284$$

$$SE_B = s_B^2 / n_B = 1.3292 / 16 = 0.08307$$

$$SE = \sqrt{(SE_A + SE_B)} = \sqrt{(0.20591)} = 0.4538$$

$$t = 3.3482 / 0.4538 = 7.3785$$

Schritt 5 — Welch-Satterthwaite df

$$\text{Zähler} = (0.12284 + 0.08307)^2 = 4.2399 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{Nenner} = (0.12284)^2 / 13 + (0.08307)^2 / 15 = 1.6209 \cdot 10^{-3}$$

$$df = 0.042399 / 0.0016209 = 26.1596$$

Schritt 6 — Zweiseitiger p-Wert

$$x = df / (df + t^2) = 26.1596 / 80.6921 = 0.32419$$
$$p = I_x(df/2, 1/2) = I_{0.3242}(13.08, 0.5) = 7.4941 \cdot 10^{-8}$$

→ $p < 0.001$

3.3 Verifikation: Code-Output vs Hand-Rechnung

App-Code-Output (direkter Aufruf von tTest() und cohensD()):

```
mean(A) = 5.7857    ✓ identisch
mean(B) = 2.4375    ✓ identisch
std(A)   = 1.3114    ✓ identisch
std(B)   = 1.1529    ✓ identisch
cohensD  = 2.7118    ✓ identisch
t        = 7.3785    ✓ identisch
df       = 26.1596   ✓ identisch
p        = 7.4941e-8 ✓ identisch
```

Signifikanz-Check:

```
|Δ| = 3.35 > 1.0 (Mindesteffekt-Schwelle) : true
p = 7.49e-8 < 0.05                       : true
→ SIGNIFIKANT (beide Bedingungen erfüllt)
```

Die App-Implementierung reproduziert die Hand-Rechnung mit Maschinen-Präzision (Abweichung $< 10^{-4}$). Reproduzierbar via `node scripts/verify-statistics.mjs`.

3.4 Was die App den Nutzer:innen anzeigt

Aus der gleichen Berechnung erzeugt AllergyTrace drei Darstellungs-Stufen (Disclosure-Levels). Die Nutzer:innen wählen selbst, wie viel Detail sie sehen wollen:

Stufe 1 — Einfach

 **Birkenpollen**

Löst wahrscheinlich Symptome aus

Sicherheit: gut nutzbar (84 %)

Plain-Language-Interpretation ohne Statistik-Vokabular.
Für Erstbenutzer:innen und Alltagsgebrauch.

Stufe 2 — Detailliert

 **Birkenpollen → Augenjucken**

Mit Exposition: **5.8 / 10** (n=14)

Ohne Exposition: **2.4 / 10** (n=16)

Differenz: +3.3 Punkte

Basierend auf 30 Tagen · 84 % Sicherheit

Konkrete Zahlen mit Balken-Visualisierung. Für engagierte Nutzer:innen.

Stufe 3 — Wissenschaftlich

Birkenpollen → Augenjucken (Schnellanalyse)

Kennzahl	Wert	Interpretation
Mittelwert mit Exposition	5.79	$n_A = 14, s_A = 1.31$
Mittelwert ohne Exposition	2.44	$n_B = 16, s_B = 1.15$
Δ (Mittelwert-Differenz)	+3.35	auf 0–10 Skala
Cohen's d	2.71	sehr grosser Effekt
Welch's t-Statistik	7.38	$df = 26.16$
p-Wert (zweiseitig)	< 0.001	(exakt: $7.5 \cdot 10^{-8}$)
Datenbasis	30 Tage	Bestes Lag: 0 h (sofortige Reaktion)
Confidence-Level	gut nutzbar (0.835 / 1.000) — eine weitere Saison verbessert die Aussage	

Methodik: Welch's t-Test mit Welch-Satterthwaite df, p via Student-t CDF (regularisierte unvollständige Beta-Funktion). Statistische Korrelation, keine Diagnose.

Vollständige Statistik mit Methodik-Verweis. Für Patient:innen, die den Befund mit Allergolog:innen besprechen wollen.

Berechnung des Confidence-Levels (84 % im Beispiel)

```
dataFactor = min(N_Tage / 30, 1) (Sättigung ab 30 Tagebuch-Einträgen)
effectFactor = min(| $\Delta$ | / 5, 1) (Sättigung ab 5 Punkten Mittelwert-Differenz)
confidence = 0.5 · dataFactor + 0.5 · effectFactor
```

Heuristisches Mass — kombiniert Datenmenge und Effektstärke in einer 0–1-Zahl. Schwellen für die Anzeige:

Confidence	Anzeige-Label
< 0.30	nicht bewertbar
0.30 – 0.50	zu wenig Daten
0.50 – 0.70	erste Tendenz
0.70 – 0.85	gut nutzbar
≥ 0.85	belastbar

Für das Beispiel: $dataFactor = 30/30 = 1.00$ (volle Sättigung), $effectFactor = 3.35/5 = 0.67$, $confidence = 0.5 \cdot 1.00 + 0.5 \cdot 0.67 = \mathbf{0.835}$ → Label „gut nutzbar“. Das Mass ist nicht statistisch interpretierbar (keine Power-Analyse), sondern dient der UX-Kommunikation: Wann sind genug Daten da, wann ist der Effekt klar genug?

3.5 Linderungsmittel-Berücksichtigung

Linderungsmittel (Antihistaminika, Nasensprays, Augentropfen, Corticosteroide, etc.) verändern Symptome — und damit auch die Mittelwerte in den Allergen-Gruppen. AllergyTrace berücksichtigt sie auf zwei voneinander unabhängige Wegen:

Weg 1 — Linderungsmittel als Confounder im OLR-Modell

Das OLR-Modell (siehe §4) enthält `reliefTaken` als eines der 5 Features. Damit schätzt das Modell den isolierten Allergen-Effekt, auch wenn an manchen Expositionstagen Linderungsmittel eingenommen wurden.

Warum wichtig: Hätte ein Nutzer an einem Birken-Tag Cetirizin genommen und das Augenjucken war dadurch milder, würde ein naives Modell den Birken-Effekt unterschätzen. Mit `reliefTaken` als Kovariate eliminiert OLR diesen Bias automatisch.

Weg 2 — Linderungsmittel-Korrelation als eigene Sub-Analyse

Zusätzlich rechnet die App eine separate Analyse pro Linderungsmittel × pro Symptom-Feld: „*Hilft dieses Medikament bei Symptomen, wenn dieses Allergen aktiv ist?*“

Vorgehen:

1. Datenbasis auf **Expositionstage** einschränken (nur dort kann das Linderungsmittel wirken)
2. Diese Tage in zwei Gruppen splitten:
 - Gruppe A': Expositionstage **mit** Linderungsmittel-Einnahme
 - Gruppe B': Expositionstage **ohne** Linderungsmittel-Einnahme
3. Selbe Statistik wie Hauptanalyse: Welch's t, Cohen's d, p-Wert
4. Effektgrösse-Schwelle: $|\Delta| > 0.5$ Punkte (statt 1.0 in der Hauptanalyse, weil Linderungsmittel-Effekte typisch kleiner sind als Allergen-Effekte)

$$\Delta_{\text{Relief}} = \bar{x}_{A'} - \bar{x}_{B'} \quad (\text{negativ} = \text{Symptome werden gelindert})$$

3.5.1 Worked Example: Cetirizin gegen Birkenpollen-bedingtes Augenjucken

Hypothetisches Illustrations-Szenario — unabhängig vom Hauptdatensatz aus §3.1. Hier zeigen wir, wie die Linderungsmittel-Sub-Analyse auf einem typischen Antihistaminikum-Effekt aussehen würde: 14 Pollen-Expositionstage, an 8 davon wurde 10 mg Cetirizin eingenommen, an 6 nicht. Die Augenjucken-Werte unten sind so gewählt, dass sie einen plausiblen Cetirizin-Effekt zeigen — sie stimmen *nicht* mit den Werten im Hauptdatensatz §3.1 überein, weil das Hauptbeispiel kein Antihistaminikum-Signal enthält.

Datum	Pollen	Cetirizin	Augenjucken	Notiz
2026-04-01	ja	ja	5	Cetirizin nach Aufwachen genommen
2026-04-03	ja	nein	5	vergessen
2026-04-04	ja	ja	6	Cetirizin, starker Pollenflug

2026-04-06	ja	ja	4	—
2026-04-08	ja	nein	4	milder Tag
2026-04-09	ja	nein	8	vergessen, starker Pollenflug
2026-04-11	ja	ja	4	—
2026-04-13	ja	nein	7	vergessen
2026-04-14	ja	ja	3	—
2026-04-16	ja	ja	5	—
2026-04-18	ja	nein	6	vergessen
2026-04-19	ja	ja	5	—
2026-04-22	ja	ja	4	—
2026-04-24	ja	nein	6	—

Gruppe A' (Pollen + Cetirizin), n=8: {5, 6, 4, 4, 3, 5, 5, 4} — Mittelwert 4.50, SD 0.93

Gruppe B' (Pollen ohne Cetirizin), n=6: {5, 4, 8, 7, 6, 6} — Mittelwert 6.00, SD 1.41

$\Delta = 4.50 - 6.00 = -1.50$ (negativ → Linderung)
 $s_{\text{pooled}} = \sqrt{((0.93^2 + 1.41^2) / 2)} = 1.20$
Cohen's d = $| -1.50 | / 1.20 = 1.25$ (grosser Effekt)
 $SE = \sqrt{(0.93^2/8 + 1.41^2/6)} = \sqrt{(0.108 + 0.331)} = 0.663$
 $t = -1.50 / 0.663 = -2.260$, df = 8.13 (Welch-Satterthwaite)
p = 0.053

Statistische Lage in diesem Beispiel: **grosse Effektstärke** (d = 1.25) bei **knapper Signifikanz** (p = 0.053), bedingt durch kleine Subgruppen (n_A' = 8, n_B' = 6). Die App stellt Δ , d, t, df und p direkt dar; die klinische Einordnung und allfällige therapeutische Schlüsse liegen bei der behandelnden Fachperson.

Wichtig: Linderungsmittel-Korrelation ist *nur im Pro-Tier* verfügbar. Sie dient als Hypothese für die Sprechstunde — keine Empfehlung zu Dosierung, Wechsel oder Absetzen.

3.6 Mehrere parallel getrackte Allergene

In der Praxis weiss der Patient meist nicht, was die Symptome auslöst — sonst wäre die App nicht nötig. Reale Tagebücher enthalten daher **mehrere parallel getrackte Allergene** (Pollen verschiedener Pflanzen, Tierhaare, Nahrungsmittel, Hausstaubmilben, etc.). Die Frage ist: Wie isoliert AllergyTrace den Effekt eines einzelnen Allergens, wenn an manchen Tagen mehrere zugleich aktiv sind?

Ansatz: Eine Analyse pro Allergen × Symptom-Feld

AllergyTrace rechnet pro Allergen ein *eigenes* Modell für jedes Symptom-Feld. Bei drei Allergenen (z. B. Birkenpollen, Katzenhaare, Gluten) und drei Symptom-Feldern (Augenjucken, Niesen, Bauchschmerzen) entstehen also bis zu 9 Analyse-Resultate — jedes mit eigenen Mittelwerten, Cohen's d und p-Wert. So sind die Effekte direkt vergleichbar.

Confounder-Bereinigung über die OLR (Feature `otherExposureCount`)

Damit der Birken-Effekt nicht durch zufällig gleichzeitig auftretende Katzen-Tage verzerrt wird, fließt in das OLR-Modell ein `otherExposureCount` -Feature ein (Anzahl anderer Allergen-Expositionen am selben Tag, auf 0–1 normiert). Das Modell schätzt damit den isolierten Allergen-Effekt unter Berücksichtigung paralleler Trigger. Die *Schnellanalyse* (Mittelwertvergleich) ohne OLR enthält diese Bereinigung nicht — sie ist daher als orientierende erste Stufe gedacht, das OLR-Resultat ist methodisch belastbarer.

3.6.1 Worked Example: Birkenpollen + Katzenhaare + Gluten parallel

Annahme: Derselbe Patient wie im Hauptbeispiel tracked zusätzlich Katzenhaare (Besuche bei Verwandten mit Katze) und Gluten (Auswärts-Essen). Über die 30 Tage:

- **Birkenpollen:** 14 Expositionstage (wie zuvor)
- **Katzenhaare:** 6 Expositionstage (Wochenend-Besuche)
- **Gluten:** 9 Expositionstage (Lunch im Restaurant)
- **Überlapp Birke + Katze:** 3 Tage
- **Überlapp Birke + Gluten:** 4 Tage
- **Überlapp Katze + Gluten:** 2 Tage

AllergyTrace rechnet drei separate Per-Symptom-Feld-Analysen. Resultate für das Symptom *Augenjucken*:

Allergen	n exposed	\bar{x} mit	\bar{x} ohne	Δ	Cohen's d	p (Welch)	App-Befund
Birkenpollen	14	5.79	2.44	+3.35	2.71	< 0.001	Triggert Symptome (signifikant)
Katzenhaare	6	5.83	3.50	+2.33	1.42	0.012	Triggert Symptome (signifikant)
Gluten	9	3.78	3.62	+0.16	0.09	0.812	Kein klarer Zusammenhang

Hinweis: Die Birkenpollen-Zeile entspricht direkt dem Worked Example aus §3.1 / §3.2. Die Katzenhaare- und Gluten-Zeilen sind illustrative Zahlen, die typische Multi-Allergen-Befunde abbilden — ein klar trigger-ndes Allergen (Katze), ein Null-Effekt (Gluten). Sie sind nicht aus einem konkreten 30-Tage-Datensatz hergeleitet.

Interpretation:

- Birkenpollen **und** Katzenhaare zeigen je einen signifikanten Effekt auf Augenjucken (beide mit $|\Delta| > 1.0$ und $p < 0.05$).

- Gluten zeigt nur 0.16 Punkte Differenz bei $p \approx 0.81$ — kein Hinweis auf Beitrag zu Augenjucken (was klinisch passt: Zöliakie/Gluten-Intoleranz manifestiert sich anders).
- Für Niesen und Bauchschmerzen würde dieselbe Analyse separat laufen und ggf. andere Allergene als Trigger ausweisen.

Adjustierter Birken-Effekt im OLR-Modell

Weil 3 von 14 Birken-Tagen auch Katzen-Exposition hatten, ist die Frage: Wäre der Birken-Effekt ohne diese Co-Exposition gleich? Das OLR-Modell schätzt das adjustierte β für `exposedBinary` bei gleichzeitig kontrolliertem `otherExposureCount`. Bei geringer Confounder-Überlappung (wie hier 3 von 14 Tagen) bleibt das geschätzte β meist nahe am unadjustierten Wert. Bei stark überlappenden Saisons (z. B. Hasel: Januar–März, Erle: Februar–April; rund zwei Monate Co-Exposition) ist die Confounder-Adjustierung wirkungsvoller, da die Effekte ohne sie nicht trennbar wären.

3.6.2 Grenzen der Multi-Allergen-Analyse

- **Stark korrelierte Allergene:** Wenn zwei Trigger fast immer gleichzeitig auftreten (z. B. zwei früh blühende Pollen), kann die Statistik die Effekte nicht klar trennen. Die App weist in diesen Fällen beide als wahrscheinliche Trigger aus, ohne kausale Hierarchie.
- **Seltene Expositionen:** Bei weniger als 3 Expositionstagen wird kein Modell gerechnet (Mindeststichprobengröße).
- **Unentdeckte Trigger:** Allergene, die der Patient nicht ins Tagebuch einträgt, können nicht analysiert werden — daher wichtig, im Tagebuch breit zu tracken, auch wenn man unsicher ist.
- **Keine multivariate Korrektur über mehrere Symptom-Felder:** Wenn ein Allergen bei mehreren Symptomen geprüft wird, ist die Familie der Tests nicht für Mehrfachtestung adjustiert (z. B. keine Bonferroni-Korrektur). Die Schwelle $|\Delta| > 1.0$ zusätzlich zu $p < 0.05$ entschärft dieses Risiko in der Praxis.

4. Ordinale Logistische Regression (Erweiterte Analyse)

Für die *Wissenschaftliche Analyse-Stufe* ergänzt AllergyTrace die Schnellanalyse durch ein ordinales Schwellenwert-Modell (Ordinal Logistic Regression, OLR) mit Confounder-Adjustierung. Vorteil gegenüber dem reinen Mittelwertvergleich: simultane Berücksichtigung mehrerer Einflussfaktoren.

4.1 Modellstruktur

Ordinales Schwellenwert-Modell („cumulative link model“ in der englischen Literatur) mit 5 Klassen — die 0–10-Skala wird auf {0–2, 3–4, 5, 6–7, 8–10} komprimiert (begründet in §5.2). Pro Symptom-Feld wird ein eigenes Modell trainiert.

$$P(Y \leq k | x) = \sigma(\tau_k - \beta^T x)$$

Mit logistischer Sigmoidfunktion $\sigma(z) = 1 / (1 + e^{-z})$, aufsteigenden Schwellen $\tau_0 < \tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ (Monotonie-Bedingung im Training erzwungen) und Koeffizientenvektor β .

4.2 Eingangsvariablen (Confounder-Bereinigung)

1. `exposedBinary` — 0/1-Indikator für Allergen-Exposition am relevanten Tag (ggf. mit Lag, siehe §4.4)
2. `intensity` — normalisierte Expositionsintensität: minimal = 0.2, low = 0.4, moderate = 0.6, high = 0.8, severe = 1.0
3. `otherExposureCount` — Anzahl anderer Allergen-Expositionen am selben Tag, auf 0–1 skaliert (Sättigung bei 5)
4. `reliefTaken` — 0/1-Indikator für Linderungsmittel-Einnahme am Symptom-Tag
5. `dayOfWeek` — Wochentag (Sonntag=0 ... Samstag=6) auf 0–1 skaliert; fängt wöchentliche Aktivitätsmuster ab

4.3 Verlust und Optimierung

Negative Log-Likelihood:

$$L(\tau, \beta) = - (1/N) \cdot \sum_i \log P(Y_i = y_i | x_i)$$

Minimiert via Gradientenverfahren mit finiter Differenzen-Approximation des Gradienten. Hyperparameter (Schrittweite, Epochenzahl, Stopkriterium) sind so gewählt, dass die Optimierung in < 1 s auf einem mittleren Smartphone konvergiert. Die Monotonie der Schwellen $\tau_0 < \tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ wird nach jedem Update wiederhergestellt. Validierung: per-Field-Konvergenz wird visuell im Plot der Loss-Kurve angezeigt (im Wissenschaftlich-Modus).

4.4 Zeitverzögerung (Lag-Analyse)

Manche Allergene wirken sofort (z. B. Inhalation von Tierhaaren → Augenjucken innerhalb Minuten), andere mit Verzögerung (z. B. Nahrungsmittel-Intoleranz → Verdauungsbeschwerden nach 1–4 h). Die Schnellanalyse testet aus dem Reaktionsprofil abgeleitete Lags (typisch 5–8 Werte zwischen 0 h und

durationHours) und wählt jenes mit dem grössten kumulierten $|\Delta|$ über alle Symptom-Felder. Die OLR (rechenintensiver) testet aus Performance-Gründen nur drei Lag-Punkte:

- **0 h** — sofortige Reaktion
- **Mittelwert** aus der Lag-Liste (typisch nahe $peak_h$)
- **längstes Lag** aus der Liste (typisch durationHours)

Reaktionsprofile sind pro Allergen vordefinierte Werte für `onsetMinutes` (Reaktions-Eintritt), `peakHours` (Symptom-Maximum) und `durationHours` (Abklingzeit), basierend auf der allergologischen Fach-Literatur. Beispiele aus der App-Datenbank: *Birke* 15 Min / 2 h / 12 h, *Hasel* 15 Min / 2 h / 10 h, *Erdnüsse* 5 Min / 0.5 h / 4 h, *Laktose* 30 Min / 2 h / 8 h, *Milch* 30 Min / 2 h / 6 h. Vollständige Werte in `src/data/allergens-db.ts`.

5. Konventionen, Limitationen und Disclaimer

5.1 Methodische Konventionen

- **Stichproben-SD mit $n-1$** (Bessel-Korrektur) — Standard für Inferenzstatistik
- **Cohen's d mit einfacher gepoolter SD** $\sqrt{(s_A^2 + s_B^2) / 2}$ statt der nach Stichprobengrösse gewichteten Variante (Hedges' g / d_s). Bei annähernd gleich grossen Gruppen praktisch identisch, bei stark ungleichen n minimale Abweichungen — beide Konventionen in der Literatur akzeptiert.
- **Welch's t-Test** statt Student's t-Test — robuster gegen Varianzheterogenität
- **Welch-Satterthwaite df** — präzise Freiheitsgrad-Approximation für Welch's t
- **p-Wert via t-Verteilungs-CDF** (regularisierte unvollständige Beta-Funktion) — exakte Werte für jedes $df \geq 1$
- **Signifikanz erfordert Mindesteffekt** ($|\Delta| > 1.0$) UND $p < 0.05$

5.2 Limitationen

- Mindestens 6 Tageseinträge für die Schnellanalyse, mindestens 10 für die OLR
- Mindestgruppengrösse: 2 Beobachtungen pro Gruppe (Mit/Ohne Exposition) in der Schnellanalyse, 3 in der OLR
- OLR-Modell auf 5 Klassen komprimiert (Performance auf Mobilgeräten) — Granularität geht leicht verloren gegenüber 11 Klassen
- Per-Field-Analyse — keine multivariate Korrektur für simultanes Testen mehrerer Felder (z. B. keine Bonferroni-Korrektur)
- Zeitverzögerungs-Optimierung wählt das Lag mit grösstem $|\Delta|$ — bei multipler Auswahl möglicher optimistischer Bias
- Daten sind **selbst berichtet** (Erinnerungs- und Confirmation-Bias möglich)

5.3 Disclaimer

Die App liefert **statistische Korrelationshinweise** — keine medizinische Diagnose. Korrelation ist nicht Kausalität: ein niedriger p-Wert (< 0.05) und ein grosses d bedeuten, dass die Symptome an Expositionstagen statistisch signifikant unterschiedlich sind, nicht zwingend, dass das Allergen die Ursache ist (Confounder wie Wetter, Stress, andere Allergene möglich).

Die App ist **kein reguliertes Medizinprodukt** (kein MDR-/IVDR-Konformitätsbewertungsverfahren). Ergebnisse sind als Hypothesen für die Sprechstunde mit Allergolog:innen gedacht, nicht als Ersatz für klinische Diagnostik (Pricktest, sIgE, Provokationstest).

6. Datenschutz und Architektur

- **100 % Offline:** alle Berechnungen auf dem Endgerät, kein Cloud-Sync, keine Server-Kommunikation
- **SQLite lokal:** alle Tagebuchdaten in einer App-internen SQLite-Datenbank, nicht zugänglich für andere Apps
- **PIN + Biometrie:** optionaler Zugangsschutz (Face ID / Fingerabdruck via Expo SecureStore)
- **Keine Analytics, keine Werbung, keine Tracker:** kein Drittanbieter-SDK, das Nutzungsdaten exportiert
- **Schweizer Datenschutz:** Entwicklung in Graubünden, SilvaGIS GmbH. Die Offline-Architektur minimiert das Datenschutzrisiko strukturell: ohne Übertragung an Dritte entfallen typische DSGVO-/revDSG-Prozesse (Auftragsverarbeitung, Cross-Border-Transfers, externe Löschanforderungen). Auskunft, Löschung und Datenportabilität liegen ausschliesslich beim Nutzer (lokales Backup-Export, App-Deinstallation löscht alle Daten).

7. Quellcode-Referenzen

Datei	Inhalt
<code>src/services/analysisEngine.ts</code>	Mathematische Hilfsfunktionen: Mittelwert, Standardabweichung, Cohen's d, Welch's t, log-Gamma, regularisierte unvollständige Beta-Funktion, Student-t CDF
<code>src/services/quickAnalysis.ts</code>	Schnellanalyse: Per-Symptom-Feld-Mittelwertvergleich mit Lag-Optimierung und Linderungsmittel-Effekt
<code>src/services/ordinalLogit.ts</code>	OLR-Modell: ordinale Schwellenwert-Modell mit 5 Klassen, 5 Eingangsvariablen, Gradientenverfahren mit frühzeitigem Abbruch
<code>src/services/analysisFormatter.ts</code>	Output-Formatierung für die 3 Darstellungsstufen (Einfach / Detailliert / Wissenschaftlich)
<code>scripts/verify-statistics.mjs</code>	Eigenständiges Verifikations-Skript: rechnet das Worked Example aus §3 ohne App-Kontext durch, reproduzierbar mit <code>node scripts/verify-statistics.mjs</code>

Quellcode auf Anfrage verfügbar: dumenicavegn@gmail.com

AllergyTrace — Offline Allergie-Tagebuch mit statistischer Korrelationsanalyse · iOS & Android · Schweiz · SilvaGIS GmbH · vitatrace.app

Stand der Dokumentation: 1. Juni 2026 · Statistik-Implementierung verifiziert gegen Tabellenwerte und Hand-Rechnung des Worked Example