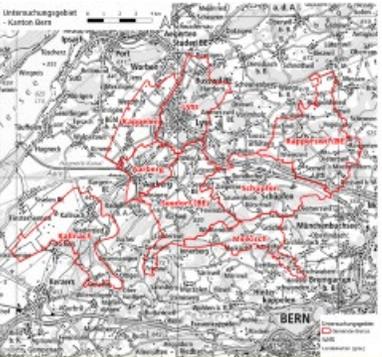


Die Spannungsfelder in der amtlichen Vermessung

Bachelor-Thesis 09 / 2024



Ausgangslage

- Firma RSW AG aus Lyss führte Zustandserhebung der Fixpunkte in den acht Gemeinden durch (siehe Abbildung)
- Wenn die Vermessung in gutem Zustand war, wurden Fixpunkte (LFP2-3 und Hilfsfixpunkte) mit GNSS-RTK gemessen (15 Pos.).
- Im Untersuchungsgebiet befinden sich ca. 12'000 Fixpunkte. Davon wurden ca. 5'000 aufgesucht. Ca. 3'000 sind in gutem Zustand und wurden deshalb mit GNSS-RTK einmalig gemessen.

Fragestellung der Bachelor-Thesis:

- Können mit einer Einmalmessung GNSS-RTK Spannungsfelder in den Fixpunkten der amtlichen Vermessung ausgedehnt und dargestellt werden?

Abb. 1: Untersuchungsgebiet der Bachelor-Thesis im Kanton Bern.

Auswertekonzept
INPUT, PROZESS, OUTPUT

```

    graph TD
      A[GNSS-RTK-Messungen der Fixpunkte] --> B[Differenzen zwischen Fixpunkte AV und GNSS-Messungen berechnen]
      B --> C[Geometrie 2D-Differenzvektor]
      B --> D[Betrag (Fs) des Differenzvektors]
      C --> E[Differenzvektorplan erstellen]
      D --> E
      E --> F[Spannungsfelder berechnen]
      F --> G[Statistische Auswertung]
      G --> H[Differenzvektorplan]
      G --> I[Lineare TIN-Interpolation (Sigma)]
      G --> J[Bootstrap-Verfahren (Median)]
      K[Wiederholung ausgewählter GNSS-RTK-Messungen] --> L[Untersuchung «Einmalmessung GNSS-RTK»]
      L --> F
      L --> G
      L --> H
      L --> I
      L --> J
      
```

Autor: Ramiro Blattner, Betreuer: Prof. Christian Gamma & Prof. Dr. Dante Salvini, Experte: Lukas Läderach, RSW AG

Differenzvektoren

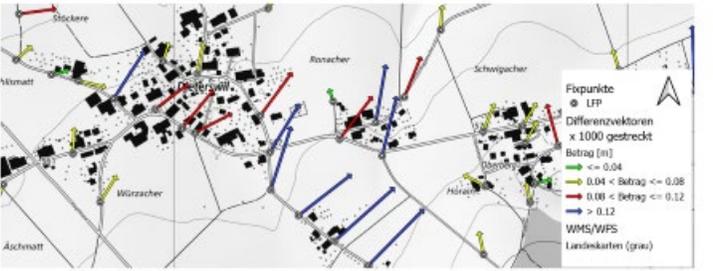


Abb. 3: Differenzvektoren zwischen den Fixpunkten der amtlichen Vermessung und der GNSS-RTK-Messung. Farbe gibt Grösse des Betrags an (siehe Legende).

Spannungsfelder



Abb. 4: Spannungsfelder mit der linearen TIN-Interpolation und dem Sigma-Wert aus Abb. 1. Farbe gibt Grösse der Spannung an (siehe Legende).

Statistische Auswertung

- Histogramm
- Mittelwert & Median
- 1. Statistischer Test
 - Student's t-Test
- 2. Statistischer Test
 - Bootstrap-Verfahren (Mittelwert \bar{x} oder Median \tilde{x})

Original	1. Bootstrap	2. Bootstrap	950. Bootstrap	1000. Bootstrap
0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
0.004	0.004	0.001	0.004	0.004
0.004	0.007	0.007	0.007	0.008
0.004	0.008	0.009	0.008	0.009
\bar{x} 0.043	\bar{x} 0.023	\bar{x} 0.031	\bar{x} 0.045	\bar{x} 0.048
0.177	0.120	0.110	0.125	0.130
0.177	0.147	0.147	0.147	0.147
0.222	0.213	0.2	0.242	0.247
0.247	0.225	0.247	0.247	0.247

Abb. 5: Linksseitiger t-Test.

bedeutlich Signifikanzniveau α $\{ \mu \geq \alpha \Rightarrow$ Annahme von H_0
 $\{ \mu < \alpha \Rightarrow$ Ablehnung von H_0

mit Signifikanzniveau = 5% & p-Wert [0,1]

Untersuchung «Einmalmessung GNSS-RTK»

Differenzen d GNSS-RTK (erste - zweite Messung)	Ost [m]	Nord [m]	Betrag [m]
Mittelwert	0.015	0.020	0.027
Standardabweichung	0.011	0.013	0.014
Median	0.013	0.019	0.024
1. Quartil	0.007	0.010	0.017
3. Quartil	0.021	0.026	0.034
Min	0.003	0.000	0.003
Max	0.047	0.056	0.067
Ausreissgrenze unten	-0.014	-0.014	-0.020
Ausreissgrenze oben	0.042	0.049	0.060
SD	0.014	0.016	0.017

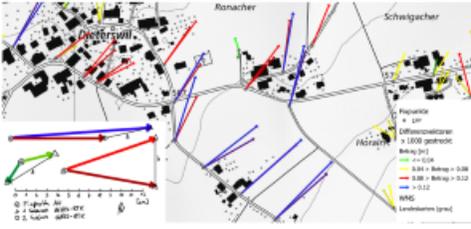
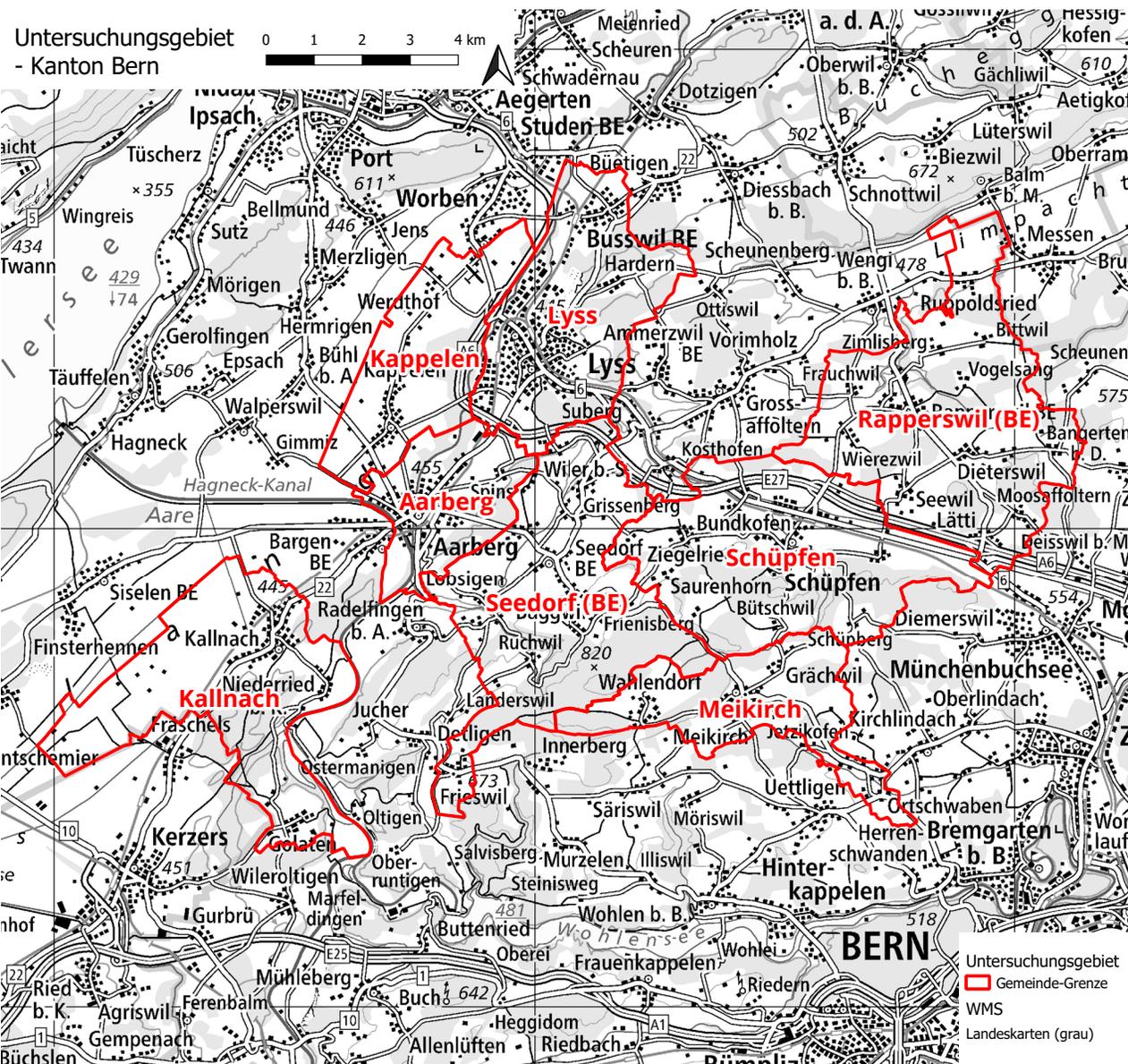


Abb. 6: Die Vergleich zwischen der ersten und zweiten Messung zeigt, dass die Unterschiede zwischen den beiden Messungen gut die Vektoren über absolute Resultate liefern. In der unteren rechten Ecke des Bildes sind die verschwindenden Komponenten der Untersuchung aufgezogen (per Mausklick gilt nur für die Größe).



Ausgangslage

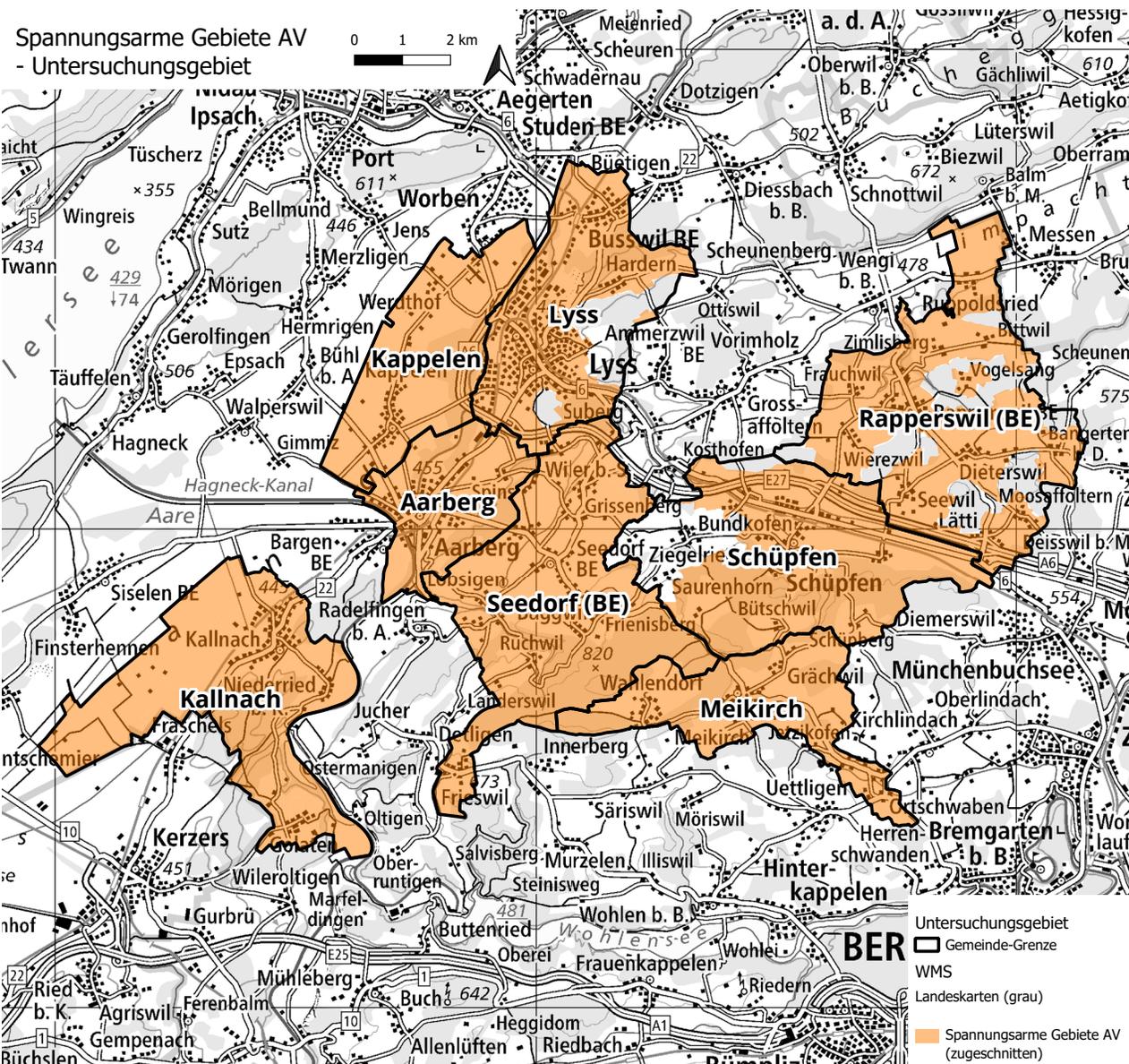
- Firma RSW AG aus Lyss führte Zustandserhebung der Fixpunkte in den acht Gemeinden durch (siehe Abbildung)
- Wenn die Vermarkung in gutem Zustand war, wurden Fixpunkte (LFP2-3 und Hilfsfixpunkte) mit GNSS-RTK gemessen (15 Pos.).
- Im Untersuchungsgebiet befinden sich ca. 12'000 Fixpunkte. Davon wurden ca. 5'000 aufgesucht. Ca. 3'000 sind in gutem Zustand und wurden deshalb mit GNSS-RTK einmalig gemessen.

Fragestellung der Bachelor-Thesis:

- Können mit einer Einmalmessung GNSS-RTK Spannungsfelder in den Fixpunkten der amtlichen Vermessung ausgeschieden und dargestellt werden?

Abb. 1: Untersuchungsgebiet der Bachelor-Thesis im Kanton Bern.

Spannungsarme Gebiete AV
- Untersuchungsgebiet



Ausgangslage

Definition spannungsarmes Gebiet gemäss der Empfehlung des Bundes:

„Das Mittel der Stichproben (Fs der kontrollierten Punkte) muss den 1-fachen σ -Wert einhalten und keine einzige Stichprobe (Fs) darf den 3-fachen σ -Wert überschreiten.“

(Eidgenössische Vermessungsdirektion 2011:16)

Punktkategorie	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
LFP2	*	4	4	10	10
LFP3	*	4	4	10	10
Grenzpunkte, exakt definiert	*	5	7	15	35
Grenzpunkte, nicht exakt definiert	*	20	35	75	150
Detailpunkte, exakt definiert	*	10	20	50	100
Detailpunkte, nicht exakt definiert	Gemäss Artikel 29 Absatz 2 TVAV				

*gemäss kantonalen Vorschriften, mindestens aber wie TS2

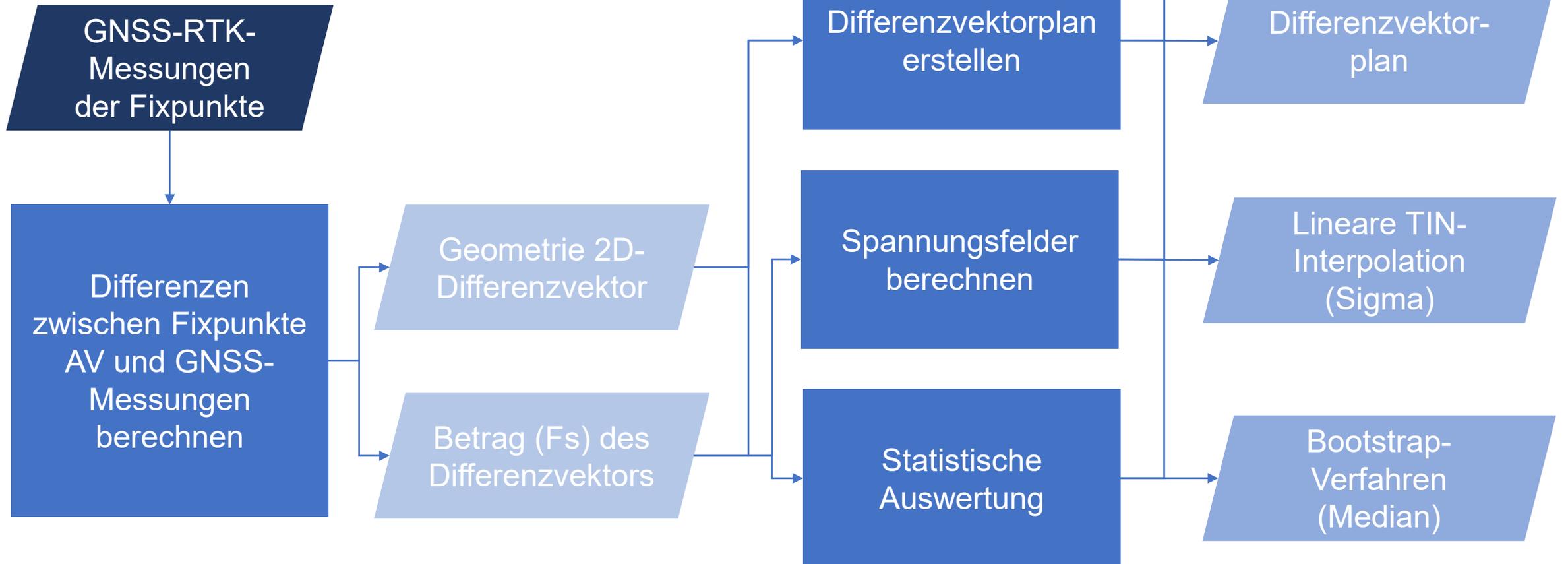
Tab. 1: Weisung zur Punktgenauigkeit (2015) des Bundes: Maximale Standardabw. in cm (1σ).
Abb. 2: Spannungsarme Gebiete der amtlichen Vermessung im Untersuchungsgebiet.

Literatur

- Eidgenössische Vermessungsdirektion, 2011. Empfehlung «Beurteilung von Vermessungswerken bezüglich lokaler Spannungen und Ausscheidung spannungsarmer Gebiete.».
- Eidgenössische Vermessungsdirektion, 2015. Weisung «Amtliche Vermessung: Punktgenauigkeiten».

Auswertekonzept

INPUT, PROZESS, OUTPUT



Differenzvektoren

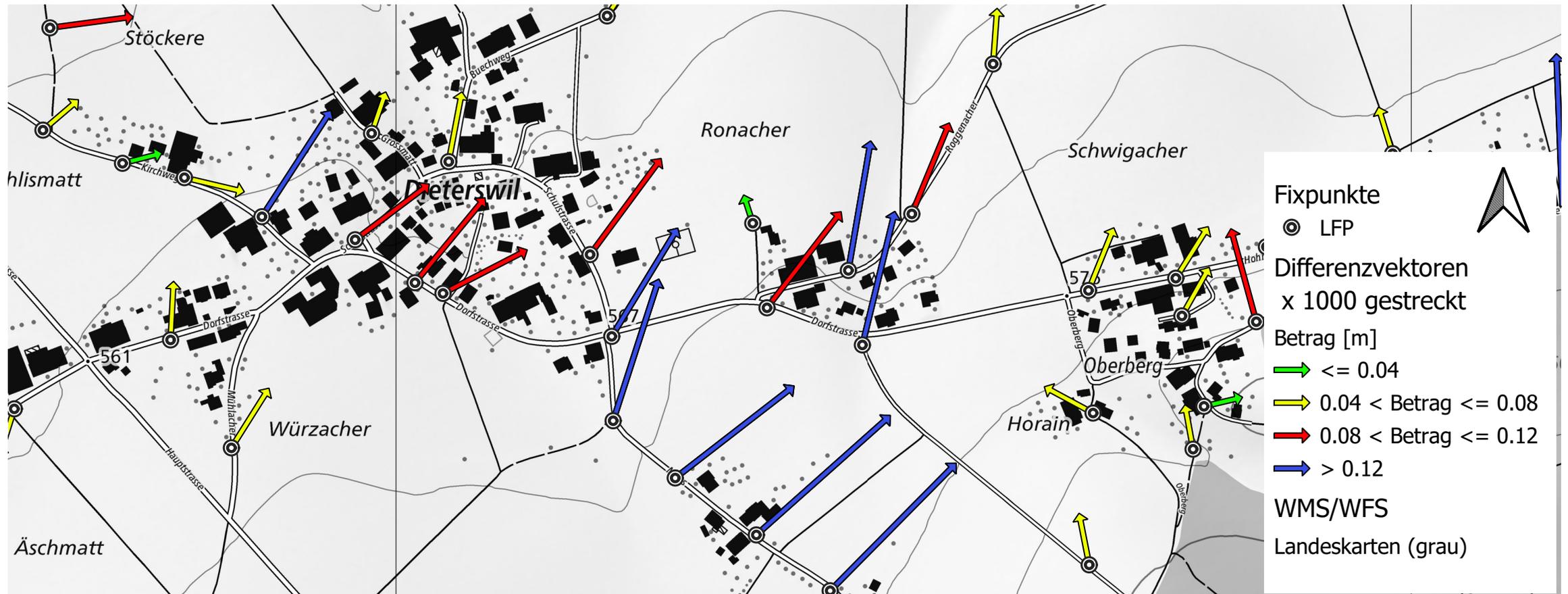


Abb. 3: Differenzvektoren zwischen den Fixpunkten der amtlichen Vermessung und der GNSS-RTK-Messung. Farbe gibt Grösse des Betrags an (siehe Legende).

Spannungsfelder

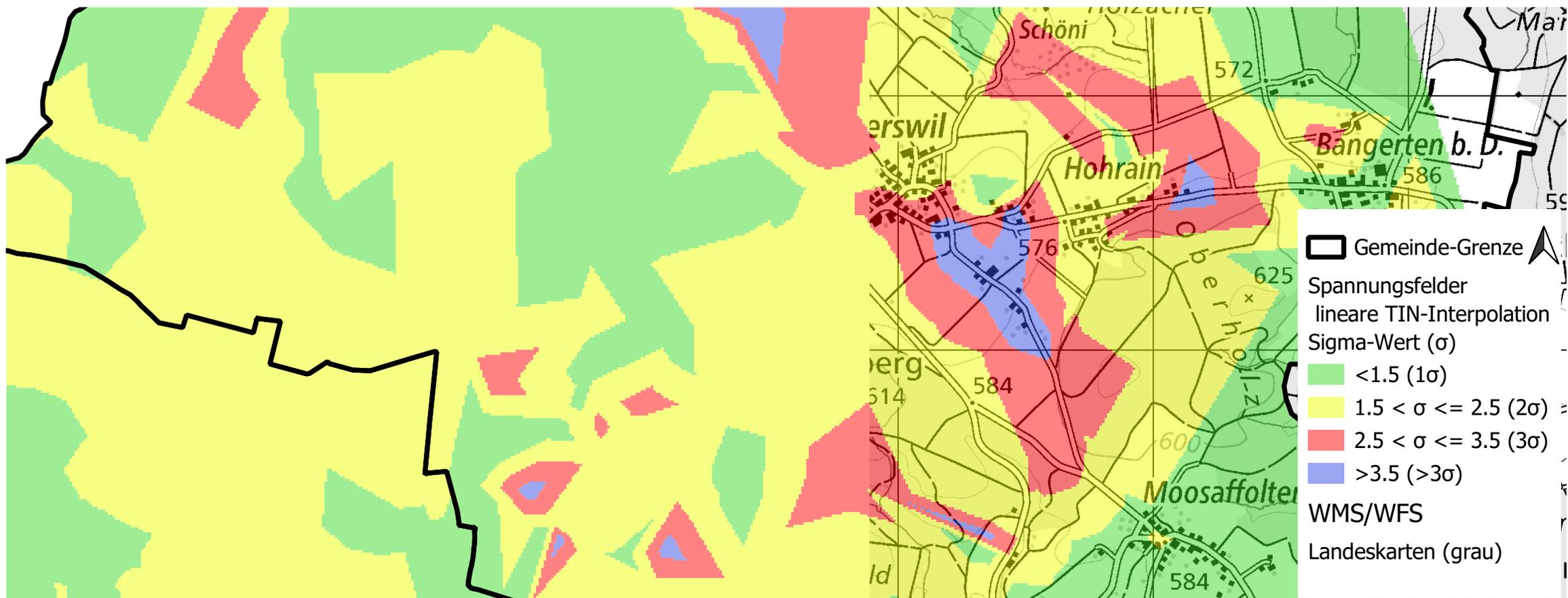


Abb. 4: Spannungsfelder mit der linearen TIN-Interpolation und dem Sigma-Wert als Höhe. Farbe gibt Grösse der Spannung an (siehe Legende).

Statistische Auswertung

- Histogramm
- Mittelwert & Median
- 1. Statistischer Test
 - Student's t-Test

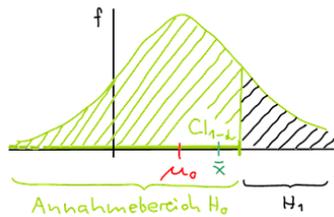


Abb. 5: Linksseitiger t-Test.

bezüglich Signifikanzniveau α $\begin{cases} p \geq \alpha \Rightarrow \text{Annahme von } H_0 \\ p < \alpha \Rightarrow \text{Ablehnung von } H_0 \end{cases}$

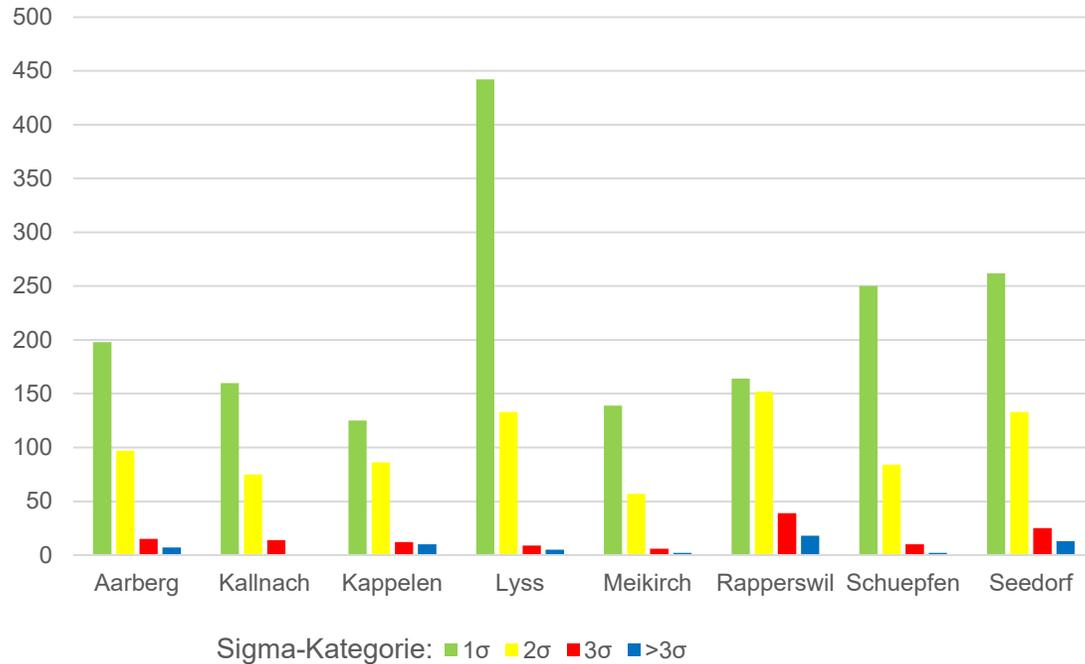
mit Signifikanzniveau = 5% & p - Wert] 0,1 [

- 2. Statistischer Test
 - Bootstrap-Verfahren (Mittelwert \bar{x} oder Median \tilde{x})

Original	1. Bootstrap	2. Bootstrap	...	950. Bootstrap	...	1000. Bootstrap
0.001	0.001	0.001	...	0.001	...	0.001
0.004	0.004	0.001	...	0.004	...	0.004
0.004	0.007	0.007	...	0.007	...	0.008
0.004	0.008	0.009	...	0.008	...	0.009
...
\tilde{x} 0.043	\tilde{x} 0.023	\tilde{x} 0.031	...	\tilde{x} 0.045	...	\tilde{x} 0.048
...
0.177	0.120	0.110	...	0.125	...	0.130
0.177	0.147	0.147	...	0.147	...	0.147
0.222	0.213	0.2	...	0.242	...	0.247
0.247	0.225	0.247	...	0.247	...	0.247

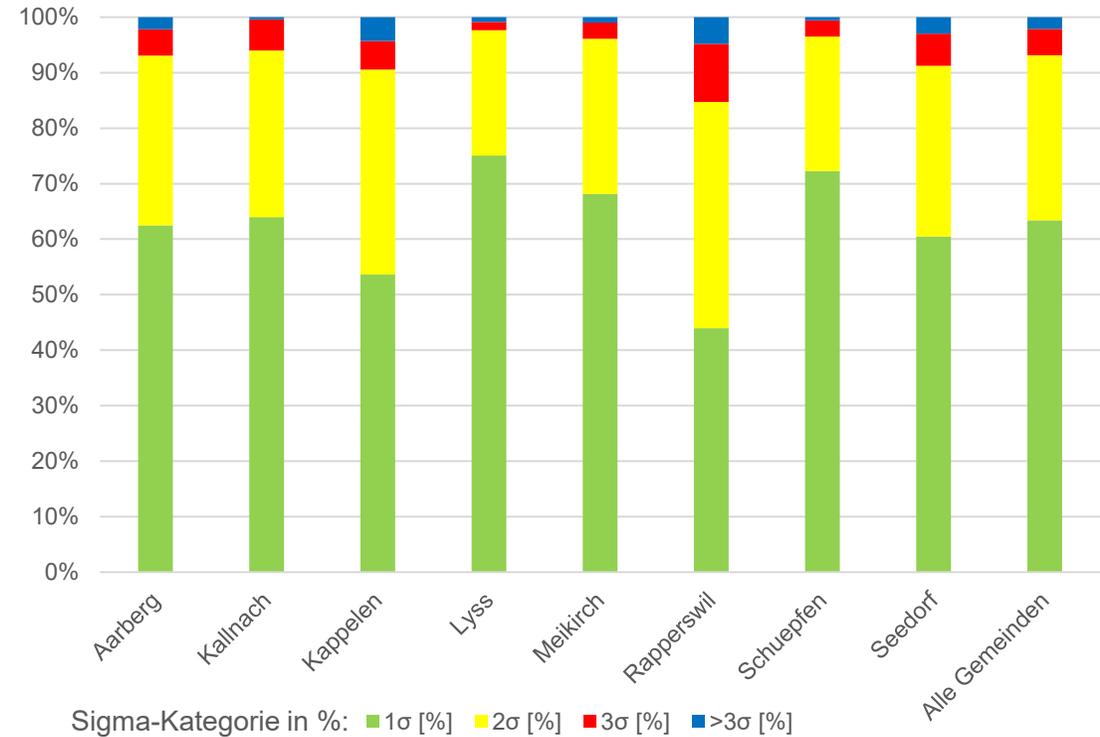
Statistische Auswertung - Histogramm

Anzahl Messungen pro Gemeinde und Sigma (σ)



Grafik 1: Anzahl Messungen pro Gemeinde in der entsprechenden Sigma-Kategorie (1σ, 2σ, 3σ oder >3σ).

Sigma (σ) pro Gemeinde in %



Grafik 2: Messungen pro Gemeinde und Prozentualer Anteil in entsprechender Sigma-Kategorie (1σ, 2σ, 3σ oder >3σ).

Statistische Auswertung – Mittelwert & Median

Gemeinde	Aarberg	Kallnach	Kappelen	Lyss	Meikirch	Rappers.	Schüpfen	Seedorf	Alle Gem.
Mittelwert [m]	0.038	0.037	0.046	0.031	0.036	0.050	0.033	0.042	0.039
Standardabweichung [m]	0.027	0.024	0.036	0.021	0.023	0.035	0.022	0.031	0.028
Median [m]	0.031	0.031	0.039	0.027	0.033	0.043	0.030	0.034	0.033
1. Quartil [m]	0.020	0.019	0.024	0.017	0.022	0.030	0.018	0.021	0.020
3. Quartil [m]	0.051	0.048	0.057	0.040	0.044	0.060	0.042	0.057	0.049
Min. [m]	0.001	0.001	0.004	0.001	0.000	0.001	0.001	0.004	0.000
Max. [m]	0.182	0.136	0.252	0.171	0.165	0.247	0.184	0.222	0.252
Ausreissergrenze unten [m]	-0.027	-0.025	-0.025	-0.017	-0.012	-0.016	-0.018	-0.033	-0.024
Ausreissergrenze oben [m]	0.098	0.092	0.106	0.074	0.077	0.106	0.078	0.111	0.093
dQ (3. Q. – 1. Q.) [m]	0.031	0.029	0.033	0.023	0.022	0.031	0.024	0.036	0.029

Tab. 2: Verschiedene Grössen aus den Differenzvektor-Beträgen pro Gemeinden. Rote Werte zeigen auf, wo die Vorgaben nach der Empfehlung des Bundes nicht erreicht wurden.

Statistische Auswertung – Statistische Tests

- **t-Test**

Die Nullhypothese wird mit einem p-Wert grösser 0.05 (5% Signifikanzniveau) angenommen.

- **Bootstrap-Verfahren (Mittelwert & Median)**

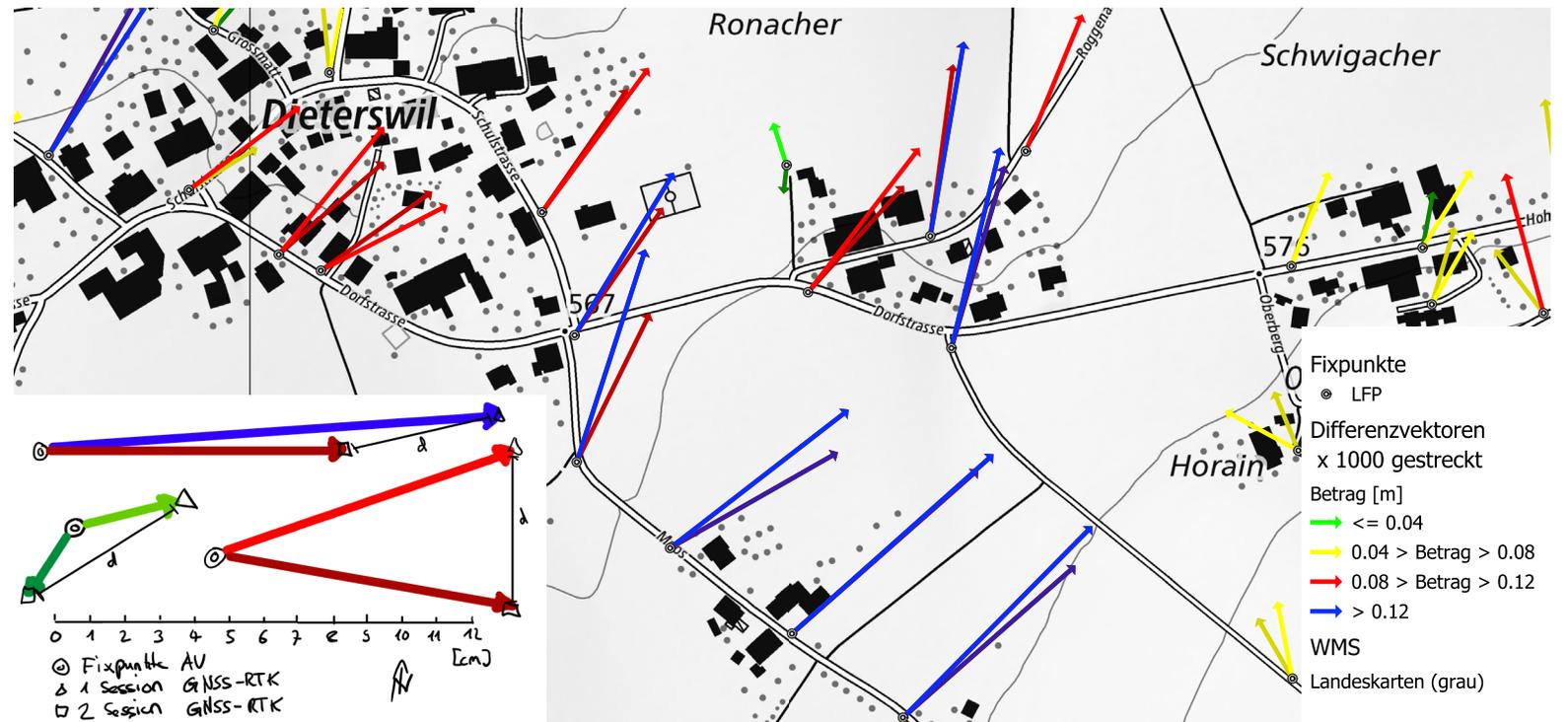
Das Bootstrap-Verfahren gibt mit einer 95%-iger Wahrscheinlichkeit an, wo der wahre Mittelwert oder Median eines Ursprungsdatensatzes liegt. Ist dieser Wert unter 4 cm (1σ), so kann mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit gesagt werden, dass die Gemeinde die vom Bund geforderte Spannungsarmut erfüllt.

Gemeinde	Aarberg	Kallnach	Kappelen	Lyss	Meikirch	Rappers.	Schüpfen	Seedorf	Alle Gem.
t-Test [p-Wert]	0.874	0.971	0.004	1.000	0.993	0.000	1.000	0.097	0.990
Bootstrap-Mittelwert [950 Pos. in m]	0.041	0.040	0.050	0.033	0.039	0.053	0.035	0.044	0.040
Bootstrap-Median [950 Pos. in m]	0.034	0.035	0.042	0.029	0.036	0.045	0.032	0.037	0.034

Tab. 3: Resultate aus dem t-Test und dem Bootstrap-Verfahren pro Gemeinde. Rote Werte zeigen an, wo die Bedingungen der Tests nicht erfüllt oder abgelehnt wurden.

Untersuchung «Einmalmessung GNSS-RTK»

Differenzen d GNSS-RTK (erste – zweite Messung)	Ost [m]	Nord [m]	Betrag [m]
Mittelwert	0.015	0.020	0.027
Standardabweichung	0.011	0.013	0.014
Median	0.013	0.019	0.024
1. Quantil	0.007	0.010	0.017
3. Quantil	0.021	0.026	0.034
Min	0.000	0.000	0.002
Max	0.047	0.056	0.067
Ausreissergrenze unten	-0.014	-0.014	-0.009
Ausreissergrenze oben	0.042	0.049	0.060
dQ	0.014	0.016	0.017



Tab. 2: 85 Fixpunkte wurden für die Untersuchung „Einmalmessung GNSS-RTK“ nachgemessen. Danach wurden die Messungen der beiden Messsessions untereinander verglichen. In der Tabelle sind verschiedene Größen aus den 85 Differenzen zwischen der ersten und zweiten Messung aufgelistet.

Abb. 6: Der Vergleich zwischen der ersten und zweiten Messung zeigt, dass es Unterschiede zwischen den beiden Messungen gibt, die Vektoren aber ähnliche Resultate liefern. In der unteren rechten Ecke des Bildes sind die verschiedenen Komponenten der Untersuchung aufgezeigt (der Massstab gilt nur für die Skizze).