
Bericht Nr. 1323082.2a

Amt für Umwelt, Zug

Kanton Zug, Thermische Nutzung des Grundwassers

**Abschätzung der Unsicherheiten des Wärmenutzungspotenzials des Tiefen-
grundwasservorkommens Baar/Zug/Steinhausen**

15. Oktober 2024

Autor(en)	Bearbeitete Themen
Emanuel Huber	Gesamter Bericht
Supervision	Visierte Inhalte
Vincent Badoux	Gesamter Bericht
Hinweise	
Der vorliegende Bericht Nr. 1323082.2a ersetzt den Bericht Nr. 1323082.2 vom 03.10.2024 vollumfänglich.	

GEOTEST AG

Emanuel Huber

Vincent Badoux

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
1.1	Projekt	4
1.2	Aufgabenstellung	4
1.3	Verwendete Unterlagen	4
1.4	Durchgeführte Untersuchungen	5
2.	Methodik.....	5
3.	Auswertung	7
3.1	Unsicherheit der numerischen Simulation	7
3.2	Unsicherheit des Wärmenutzungspotenzials.....	11
4.	Schlussfolgerung.....	11

1. Einleitung

1.1 Projekt

Die GEOTEST AG hat im Auftrag des Amts für Umwelt des Kantons Zug (AFU, Herr Volker Lützenkirchen) das Potenzial der Wärmenutzung im Tiefengrundwasser "Baar/Zug/Steinhausen", folgend kurz "Tiefengrundwasser" ermittelt [8]. Das Tiefengrundwasser wurde innerhalb des Untersuchungsperimeters mit dem k-Means Clustering Algorithmus in 5 Cluster unterteilt. Die Klassifikation basierte auf der hydraulischen Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, der Grundwassermächtigkeit und des hydraulischen Gradienten. Pro Cluster wurde eine repräsentative Grundwassernutzungen (Doublette) ausgewählt, die anschliessend bei drei unausgeglichenen und drei ausgeglichenen Energielastprofilen [6] mit einem numerischen thermischen Grundwasserströmungsmodelle simuliert wurde. Die Isotherme von 0.1 K wurde als Einflusszone von Doubletten-Anlagen festgelegt. Anschliessend wurden die Einflusszonen pro Energielastprofil räumlich auf die Cluster mit einem Packing-Algorithmus verteilt. Die Summe der Leistung der platzierten Anlage ergab das Wärmenutzungspotenzial pro Cluster.

Die Berechnungen basierten auf einem Wert pro Cluster und auf der Annahme, dass die Brunnen auf der gleichen Strömungslinie liegen.

1.2 Aufgabenstellung

Die GEOTEST AG wurde vom Amt für Umwelt des Kantons Zug (AFU, Herr Volker Lützenkirchen) beauftragt, die Unsicherheit des Potenzials der Wärmenutzung im Tiefengrundwasser "Baar/Zug/Steinhausen", folgend kurz "Tiefengrundwasser" zu ermitteln und dazu einen Geodatensatz zu bearbeiten.

1.3 Verwendete Unterlagen

Rechtliche Grundlagen

- [1] Gewässerschutzverordnung (GSchV), 28.10.1998
- [2] Bundesamt für Umwelt BAFU, Wärmenutzung aus Boden und Untergrund. Vollzugshilfe für Behörden und Fachleute im Bereich Erdwärmenutzung, 2009.
- [3] Amt für Wasser und Abfall AWA, Richtlinie Wärmepumpenanlagen, 05.2022.
- [4] Grundwasserwärmenutzung. SIA 384/7, 2015.

Allgemeine Grundlagen

- [5] Christian Dietrich Schönwiese, 2013, Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler, Schweizerbart Science Publishers, ISBN: 9783443010690
- [6] IG Zyklus, Saisonale Wärmespeicherung im Grundwasser, 14.09.2022. [Link](#).

- [7] DHI, 2024, FEFLOW 8.1 (Finite Element Modeling Software of Flow, Mass and Heat Transport in Porous Media), a MIKE Powered by DHI software.

Angaben zum Projekt

- [8] GEOTEST AG, 2024, Bericht-Nr. 1323082.1 Kanton Zug, Thermische Nutzung des Grundwassers - Abschätzung des Wärmenutzungspotenzials des Tiefengrundwasservorkommens Baar/Zug/Steinhausen. 2.09.2024

1.4 Durchgeführte Untersuchungen

- Erstellen eines Konzepts zur Ermittlung der Unsicherheit
- Ermittlung der Unsicherheit des Wärmenutzungspotenzials
- Dokumentation der Methodik, der Berechnungen und der Ergebnisse in einem Bericht
- Erstellen von Geodatsätzen für die berechneten Unsicherheiten der Wärmenutzungspotenziale

2. Methodik

Die Quantifizierung von Unsicherheiten in numerischen Simulationen ist ein zentraler Schritt, um die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Simulationsergebnisse zu bewerten. Es gibt verschiedene Methoden zur Quantifizierung von Unsicherheiten, die sowohl auf den Unsicherheiten der Eingangsdaten als auch auf Unsicherheiten in den Modellen selbst beruhen.

In der vorliegenden Studie beschränkt sich die Unsicherheitsquantifizierung des Wärmenutzungspotenzials auf folgende hydrogeologische Parameter: (1) die hydraulische Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, (2) die Grundwassermächtigkeit und (3) der hydraulische Gradient. Das Nutzungspotenzial dient als theoretischer Richtwert. Die Unsicherheitsquantifizierung gibt einen Hinweis darauf, innerhalb welcher Bandbreite sich das Nutzungspotenzial bewegen könnte.

Die Variation der drei Hauptparameter zusammen mit der Doubletten-Konfiguration wurden wie folgt untersucht:

- Jedes Cluster wurde in zwei Subcluster unterteilt. Pro Subcluster wurde der Mittelwert für die Berechnung der Unsicherheit berechnet (Tabelle 1). Die Verteilung der Parameterwerte pro Cluster und Subcluster kann Anhang 1 entnommen werden. Durch das gewählte Cluster-Verfahren liegen die Cluster Parameterwerte nicht zwingend zwischen den Subcluster Parameterwerten. Die Clusterbetrachtung bezieht sich auf alle drei Parameter zusammen und nicht auf einzelnen Parameter.
- Pro Subcluster wurde eine zusätzliche Simulation mit einer Verschiebung von 6° zur natürlichen Strömungslinie des Brunnens im Abstrom berechnet (ca. 17 m für einen Brunnenabstand von 100 m).

Anschliessend wurden die Einflusszonen der Anlagen pro Subcluster ermittelt (basierend auf der 0.1-K-Isotherme). Pro Cluster und Energielastprofil wurden die kleinsten und die grössten Einflusszonen aus den Subcluster Simulationen (mit jeweils 2 Winkeln, d.h. insgesamt 4 Einflusszonen) und aus der Cluster Simulation ausgewählt. Der Packing-Algorithmus wurde mit jeweils den kleinsten und anschliessend mit den grössten Einflusszonen durchgeführt, um das Wärmenutzungspotenzialintervall zu ermitteln. Dieses Intervall zeigt die Unsicherheit der ermittelten Nutzungspotenziale (vgl. [8]).

Die restlichen Parameter und Modellparameter bleiben gegenüber den vorherigen Berechnungen [8] unverändert. Die Simulationen wurden mit der Software FEFLOW [7] durchgeführt.

Tabelle 1 Simulationswert pro Cluster und Subcluster für den hydraulischen Gradient, die hydraulische Durchlässigkeit und die Mächtigkeit

Cluster / Subcluster	Gradient (%)	Durchlässigkeit (m/s)	Mächtigkeit (m)
Cluster 1 (bidirektional)	0.57	$9.40 \cdot 10^{-5}$	54
Subcluster 1.1	0.66	$9.30 \cdot 10^{-5}$	48
Subcluster 1.2	0.63	$9.76 \cdot 10^{-5}$	76
Cluster 2 (bidirektional)	0.47	$3.40 \cdot 10^{-5}$	8
Subcluster 2.1	0.49	$5.78 \cdot 10^{-5}$	23
Subcluster 2.2	0.53	$3.54 \cdot 10^{-5}$	6
Cluster 3 (rezirkulativ)	2.10	$3.60 \cdot 10^{-5}$	34
Subcluster 3.1	1.96	$1.86 \cdot 10^{-5}$	14
Subcluster 3.2	2.24	$5.80 \cdot 10^{-5}$	42
Cluster 4 (rezirkulativ)	3.68	$4.40 \cdot 10^{-5}$	29
Subcluster 4.1	3.50	$1.26 \cdot 10^{-5}$	10
Subcluster 4.2	3.72	$9.84 \cdot 10^{-5}$	35
Cluster 5 (bidirektional)	0.54	$2.00 \cdot 10^{-4}$	84
Subcluster 5.1	0.80	$1.90 \cdot 10^{-4}$	88
Subcluster 5.2	0.63	$3.95 \cdot 10^{-4}$	25

3. Auswertung

3.1 Unsicherheit der numerischen Simulation

Die Unsicherheit wird grundsätzlich durch das Werteintervall angegeben, d.h. der Minimal- und Maximalwert.

Die Unsicherheit der numerischen Simulation wird anhand der Ausdehnung der Einflusszonen, der maximalen Temperaturänderung in 100 m Abstrom und der Effizienz der Wärmerückgewinnung bestimmt. Dabei werden die Simulationsergebnisse für die Clusters und ihre Subclusters betrachtet. Diese Unsicherheiten sind in der Tabelle 2 zusammengefasst. Die Ausdehnung der Einflusszonen kann Abbildung 1 und Abbildung 2 entnommen werden. Die Simulationsergebnisse pro Subcluster können Anhang 2 entnommen werden.

Für die ausgeglichenen Energielastprofile (Abbildung 1) kann folgendes festgehalten werden:

- Die Verschiebung des Brunnens im Abstrom zur natürlichen Strömungslinie (Winkel = 6°) hat nur einen Einfluss auf die Ausdehnung der Einflusszone des Clusters 5 bei mittlerem (250 kW) und hohem (750 kW) Energielastprofil. Für dieses Cluster ist der Einfluss der Parameteränderung am grössten. Die hohe hydraulische Leitfähigkeit im Cluster 5 begünstigt den Wärmetransport auf grosse Distanzen. Es wäre zu prüfen, ob eine rezirkulative Anlage kleinere Einflusszonen verursachen würde.
- Bei Cluster 1 nehmen die Unsicherheit mit höheren Energielastprofil ab. D.h. die Förderleistung dominiert den Wärmetransport.

Für die unausgeglichenen Energielastprofile (Abbildung 2) kann folgendes festgehalten werden:

- Die Verschiebung des Brunnens im Abstrom zur natürlichen Strömungslinie (Winkel = 6°) hat, relativ zu der Grösse der Ausdehnung der Einflusszone, keinen signifikanten Einfluss.
- Die grössten Unsicherheiten liegen bei Cluster 3, 4 und 5.

In 100 m Abstrom der Anlage darf die maximale Temperaturänderung nicht mehr als 3 K betragen.

Über alle Simulation hinweg beträgt die maximale Temperaturänderung in 100 m Abstrom der Anlage 1.51 K, was darauf hinweist, dass Anlagen mit Leistungen grösser als 750 kW zulässig sind. Somit ist die 3K-Regel bei allen Simulationen eingehalten.

Tabelle 2 Werteintervall pro Cluster aus den Simulationsergebnissen für die Cluster und ihre Subcluster: Länge und Breite der Einflusszonen (m), Temperaturänderung in 100 m Abstrom (K) und Effizienz der Wärmerückgewinnung (%).

Cluster	Anlage und Energieprofil			Einflusszonen		ΔT 100 m (K)	Effizienz der Wärmerückgewinnung (%)
	Anlagentyp	Energieprofil	Ausgeglichen?	Länge (m)	Breite (m)		
1	bidirektional	1	ja	412 - 554	129 - 145	0.40 - 1.17	8 - 18
1	bidirektional	2	ja	754 - 813	191 - 216	0.95 - 1.17	14 - 21
1	bidirektional	3	ja	790 - 870	213 - 237	1.17 - 1.27	18 - 26
1	bidirektional	1	nein	625 - 676	191 - 212	0.50 - 0.73	1 - 1
1	bidirektional	2	nein	558 - 621	195 - 216	0.37 - 0.52	5 - 6
1	bidirektional	3	nein	644 - 721	248 - 265	0.72 - 1.01	6 - 8
2	bidirektional	1	ja	330 - 457	169 - 212	0.48 - 1.24	10 - 49
2	bidirektional	2	ja	413 - 514	232 - 291	0.97 - 1.24	19 - 52
2	bidirektional	3	ja	449 - 534	258 - 321	1.18 - 1.28	24 - 50
2	bidirektional	1	nein	268 - 409	208 - 232	0.03 - 0.80	3 - 6
2	bidirektional	2	nein	258 - 366	225 - 256	0.05 - 0.39	15 - 24
2	bidirektional	3	nein	349 - 423	269 - 311	0.09 - 0.86	17 - 20
3	rezirkulativ	1	ja	138 - 145	68 - 91	0.01 - 1.12	0 - 49
3	rezirkulativ	2	ja	171 - 186	99 - 144	0.03 - 1.12	1 - 50
3	rezirkulativ	3	ja	185 - 206	115 - 162	0.04 - 1.24	2 - 50
3	rezirkulativ	1	nein	400 - 977	203 - 219	0.47 - 0.87	0 - 0
3	rezirkulativ	2	nein	376 - 960	198 - 231	0.45 - 0.82	2 - 4
3	rezirkulativ	3	nein	405 - 1152	262 - 283	0.59 - 1.51	3 - 6
4	rezirkulativ	1	ja	146 - 187	74 - 96	0.02 - 1.29	1 - 45
4	rezirkulativ	2	ja	192 - 272	108 - 152	0.06 - 1.29	5 - 45
4	rezirkulativ	3	ja	209 - 298	125 - 170	0.07 - 1.34	7 - 45
4	rezirkulativ	1	nein	395 - 1118	146 - 227	0.27 - 0.74	0 - 0
4	rezirkulativ	2	nein	369 - 1031	137 - 235	0.28 - 0.59	1 - 4
4	rezirkulativ	3	nein	395 - 1864	229 - 289	0.52 - 1.13	2 - 6
5	bidirektional	1	ja	297 - 348	101 - 129	0.01 - 0.30	0 - 5
5	bidirektional	2	ja	445 - 688	153 - 206	0.01 - 0.78	1 - 7
5	bidirektional	3	ja	523 - 926	174 - 236	0.01 - 1.04	3 - 9
5	bidirektional	1	nein	727 - 1242	130 - 212	0.25 - 0.49	0 - 1
5	bidirektional	2	nein	629 - 1141	138 - 209	0.16 - 0.40	2 - 2
5	bidirektional	3	nein	1016 - 1487	196 - 286	0.31 - 0.75	2 - 3

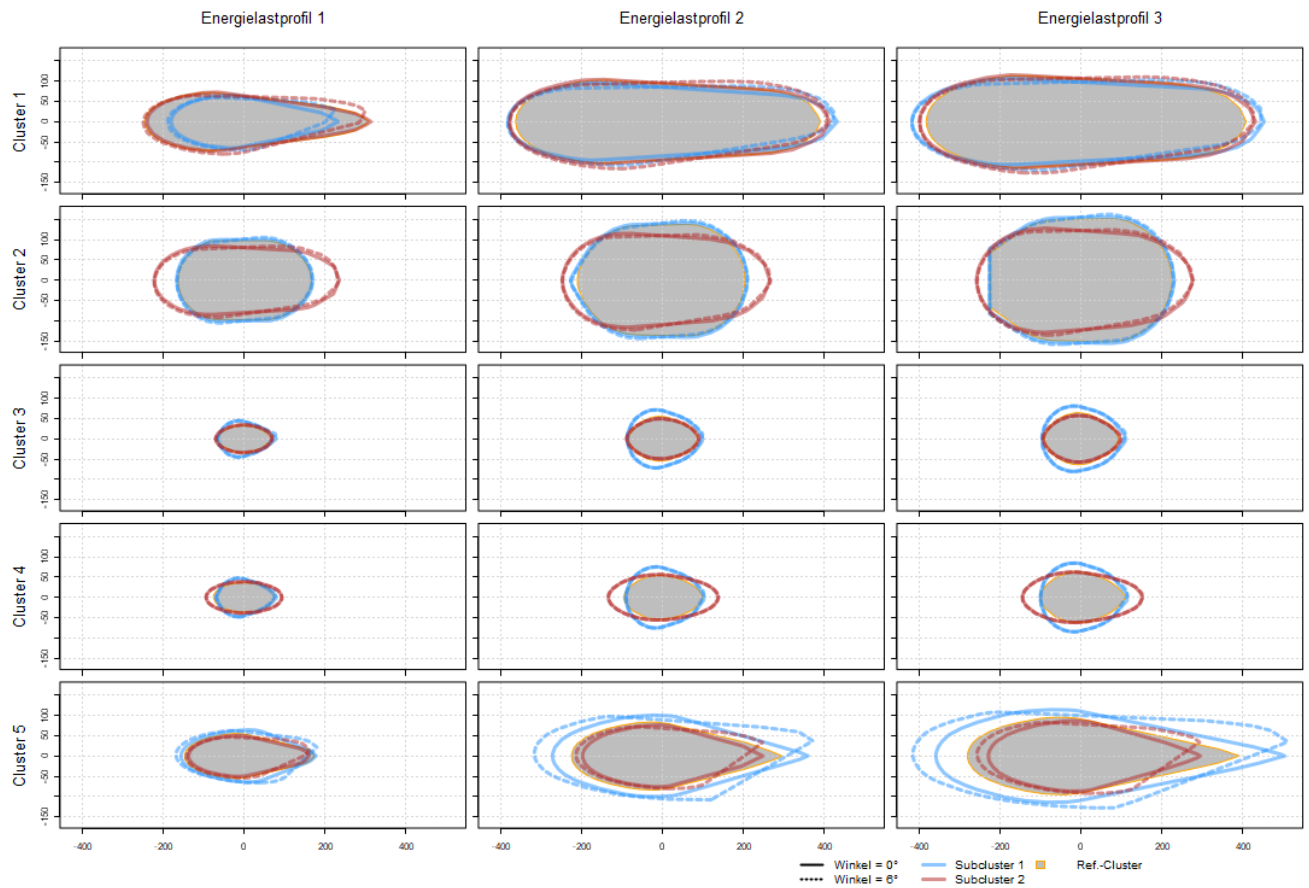


Abbildung 1 Einflusszonen der Cluster und Subcluster für die drei ausgeglichenen Energielastprofile.

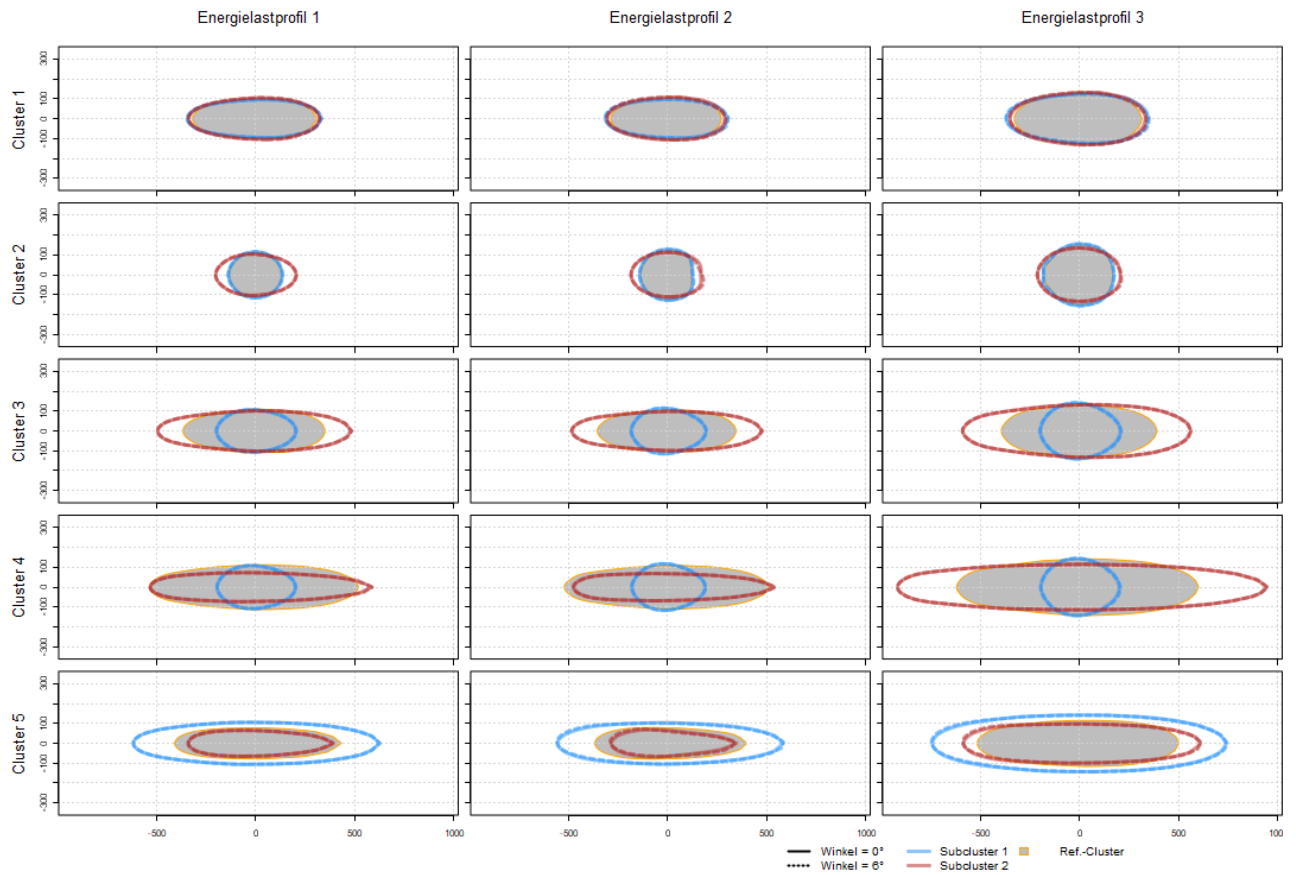


Abbildung 2 Einflusszonen der Cluster und Subcluster für die drei unausgeglichene Energielastprofile.

3.2 Unsicherheit des Wärmenutzungspotenzials

Die Ergebnisse des Packing-Algorithmus können Anhang 3 entnommen werden. Je grösser die Einflusszonen sind, desto schwieriger ist es, die Anlagen dicht zu platzieren.

Die Unsicherheit des Wärmenutzungspotenzials pro Energielastprofil ist in Tabelle 3 mit dem Wärmenutzungspotenzialintervall dargestellt. Das im vorherigen Bericht [8] ermittelte Wärmenutzungspotenzial liegt ungefähr in der Mitte des Unsicherheitsintervalls (vgl. Tabelle 3). Die Unsicherheit ist für die ausgeglichenen Energielastprofile signifikant grösser.

Tabelle 3 Unsicherheit des Wärmenutzungspotenzials des Untersuchungsgebiets für die drei ausgeglichenen und unausgeglichenen Energielastprofile. Der Wert in der Klammer entspricht dem ursprünglich ermittelten Wärmenutzungspotenzial pro Cluster (vgl. [8]).

	Energielastprofil 1	Energielastprofil 2	Energielastprofil 3
	<i>Wärmenutzungspotenzial (MW)</i>		
Ausgeglichen	16.08 – 23.22 (20.34)	23.50 – 40.00 (32.75)	67.50 – 112.50 (93.75)
Unausgeglichen	2.00 – 6.00 (4.20)	12.75 – 24.00 (16.75)	21.75 – 50.25 (30.00)
	<i>Spezifisches Wärmenutzungspotenzial (W/m²)</i>		
Ausgeglichen	1.42 – 2.05 (1.79)	2.07 – 3.52 (2.89)	5.95 – 9.91 (8.26)
Unausgeglichen	0.26 – 0.53 (0.37)	1.12 – 2.11 (1.48)	1.92 – 4.43 (2.64)

4. Schlussfolgerung

Die Unsicherheit bzgl. des Wärmenutzungspotenzials des Tiefengrundwassers "Baar/Zug/Steinhausen" wurde anhand der angewandten Methodik quantifiziert.

Die Ergebnisse zeigen, dass das ermittelte Wärmenutzungspotenzial im Untersuchungsgebiet (vgl. [8]) innerhalb der Unsicherheit liegt und als robuster Wert angesehen werden kann.

Die angewandte Methodik entspricht einem vereinfachten Verfahren, das einer Sensitivitätsanalyse ähnelt, diese aber nicht ersetzt.

Um die komplexen Zusammenhänge zwischen hydrogeologischen Gegebenheiten und der Grösse der Einflusszonen vollständig zu erfassen, sind zusätzliche Sensitivitätsanalysen erforderlich.

Anhang 1 Subclusters

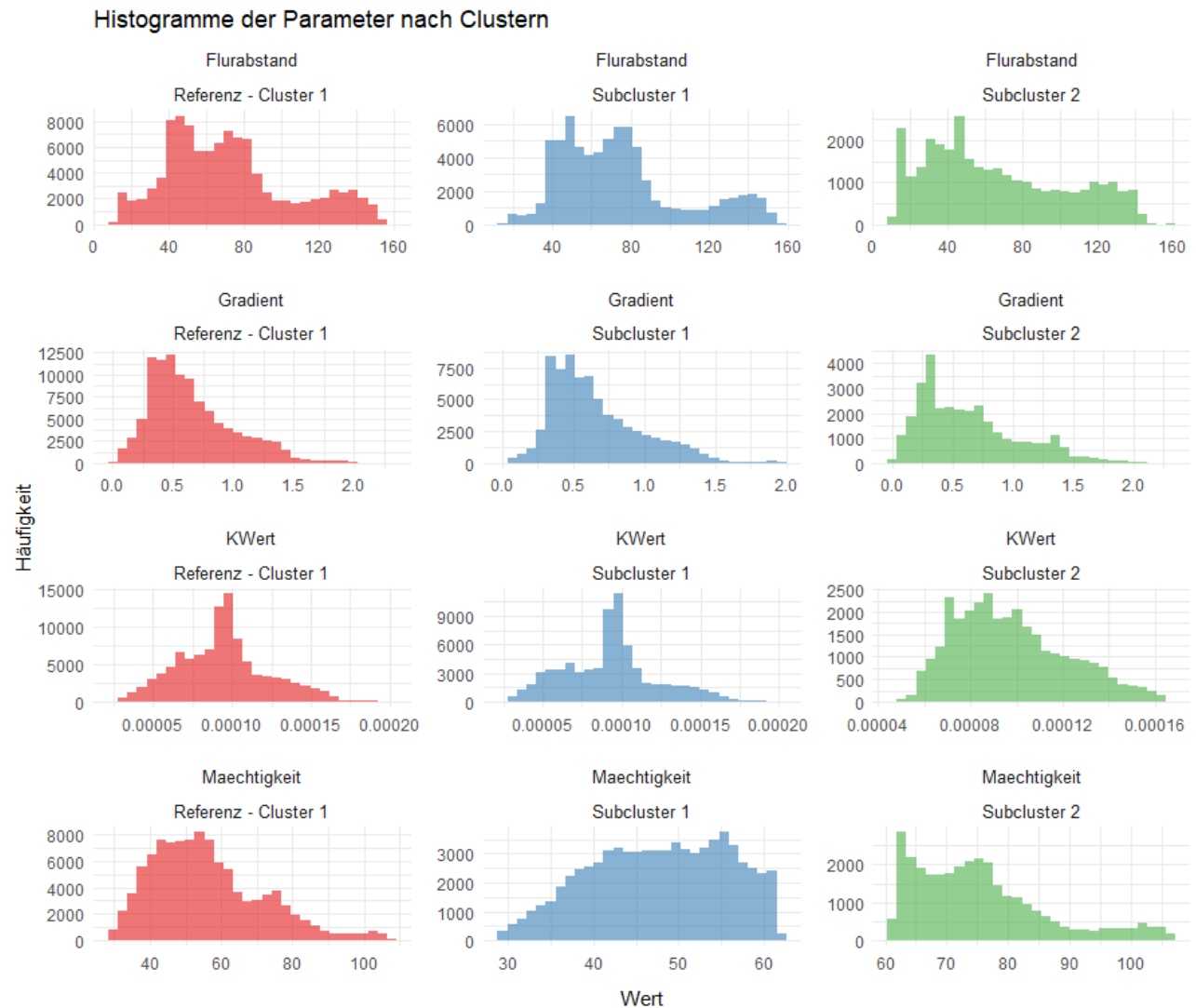


Abbildung 3 Verteilung der Parameter Gradient (%), Durchlässigkeit (m/s) und Mächtigkeit (m) für Cluster 1 und seine zwei Subcluster.

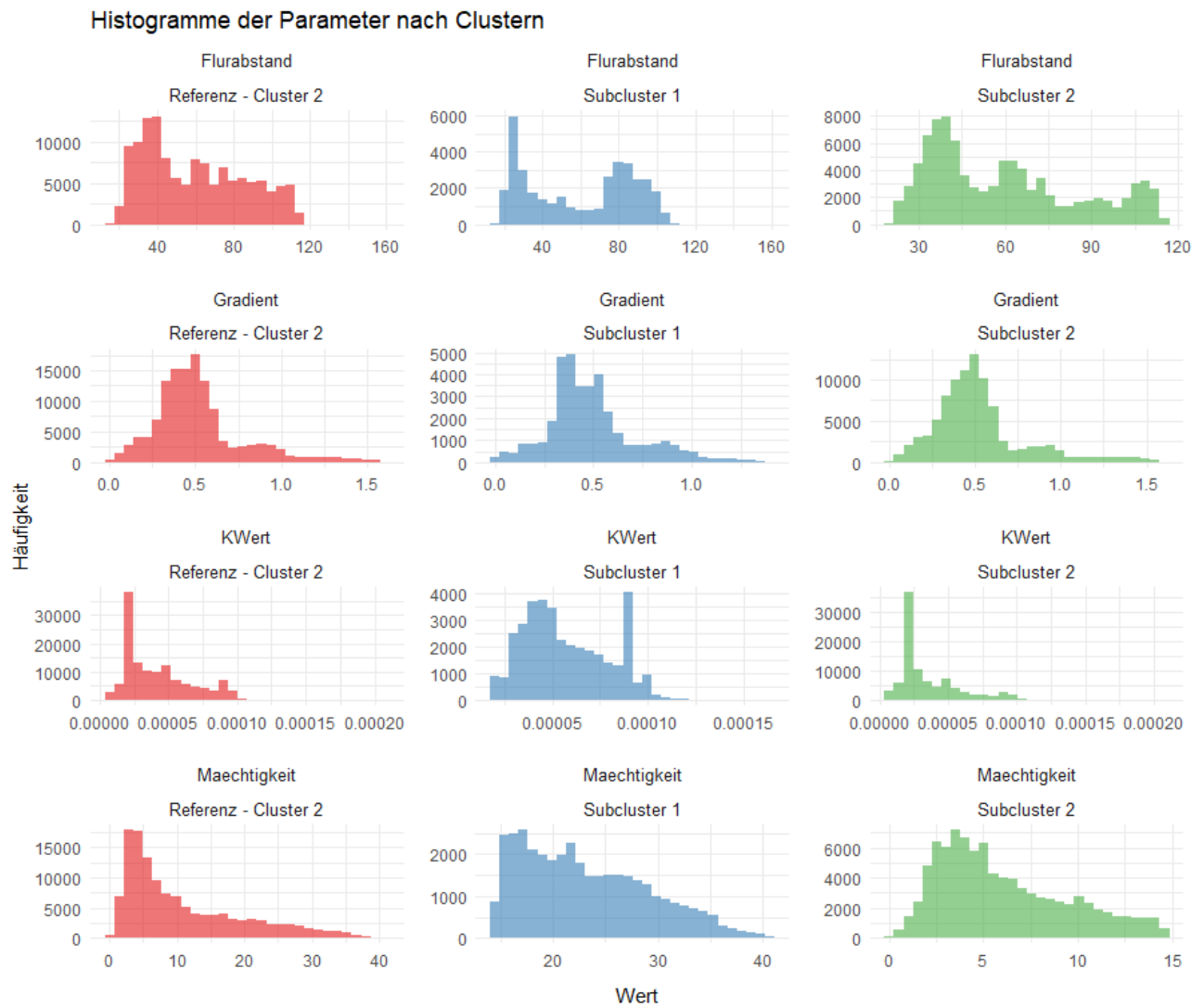


Abbildung 4 Verteilung der Parameter Gradient (%), Durchlässigkeit (m/s) und Mächtigkeit (m) für Cluster 2 und seine zwei Subcluster.

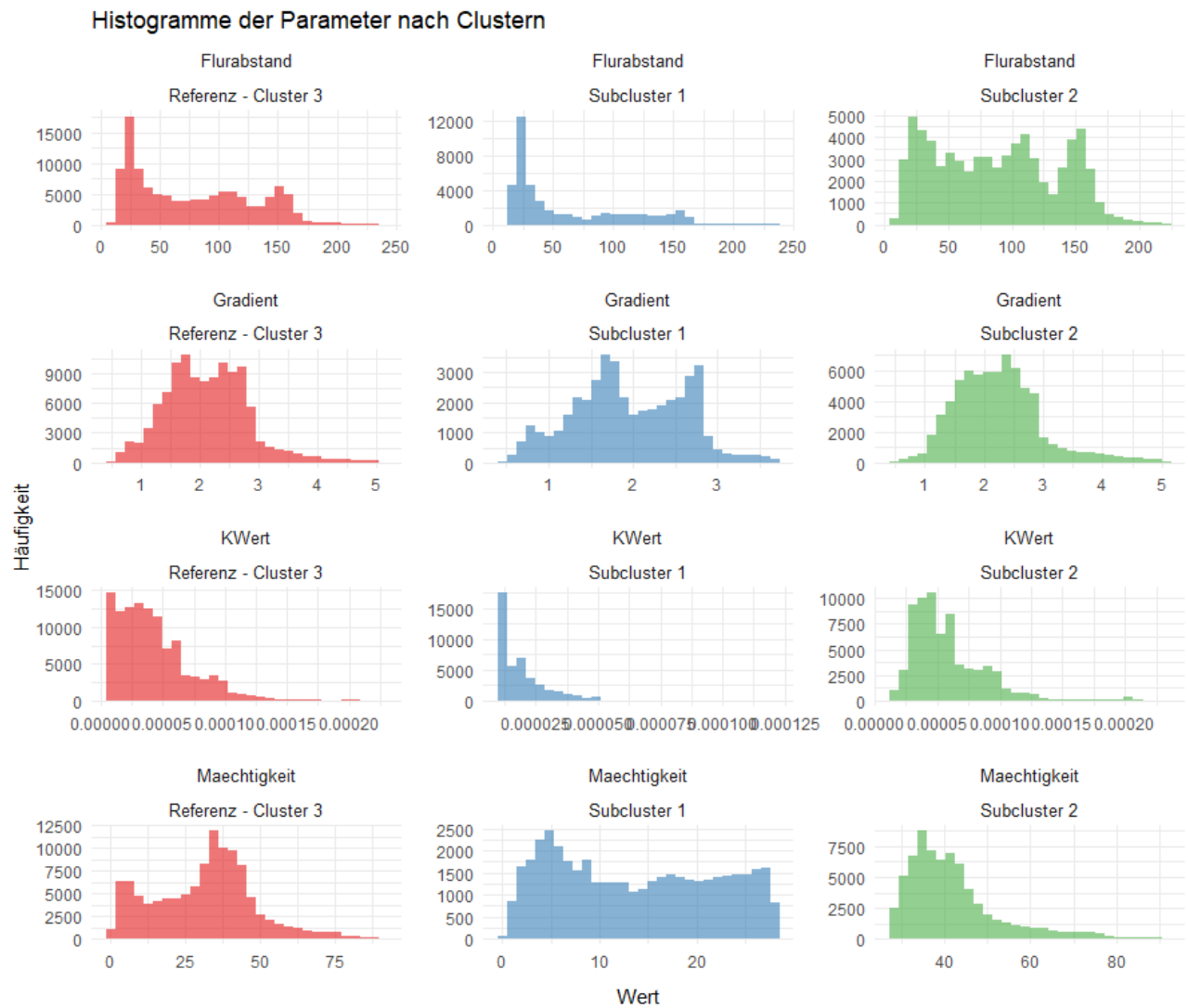


Abbildung 5 Verteilung der Parameter Gradient (%), Durchlässigkeit (m/s) und Mächtigkeit (m) für Cluster 3 und seine zwei Subcluster.

Histogramme der Parameter nach Clustern

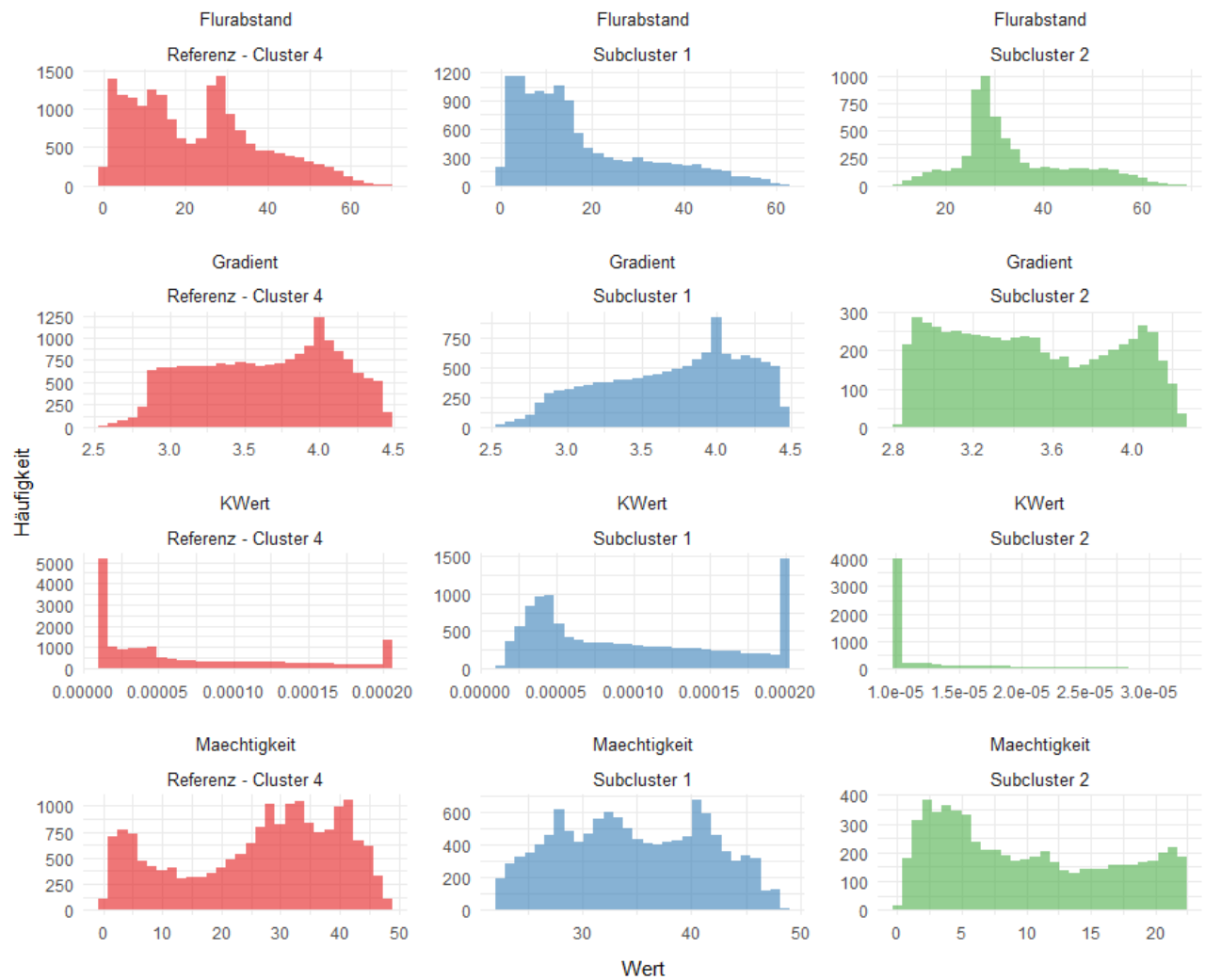


Abbildung 6 Verteilung der Parameter Gradient (%), Durchlässigkeit (m/s) und Mächtigkeit (m) für Cluster 4 und seine zwei Subcluster.

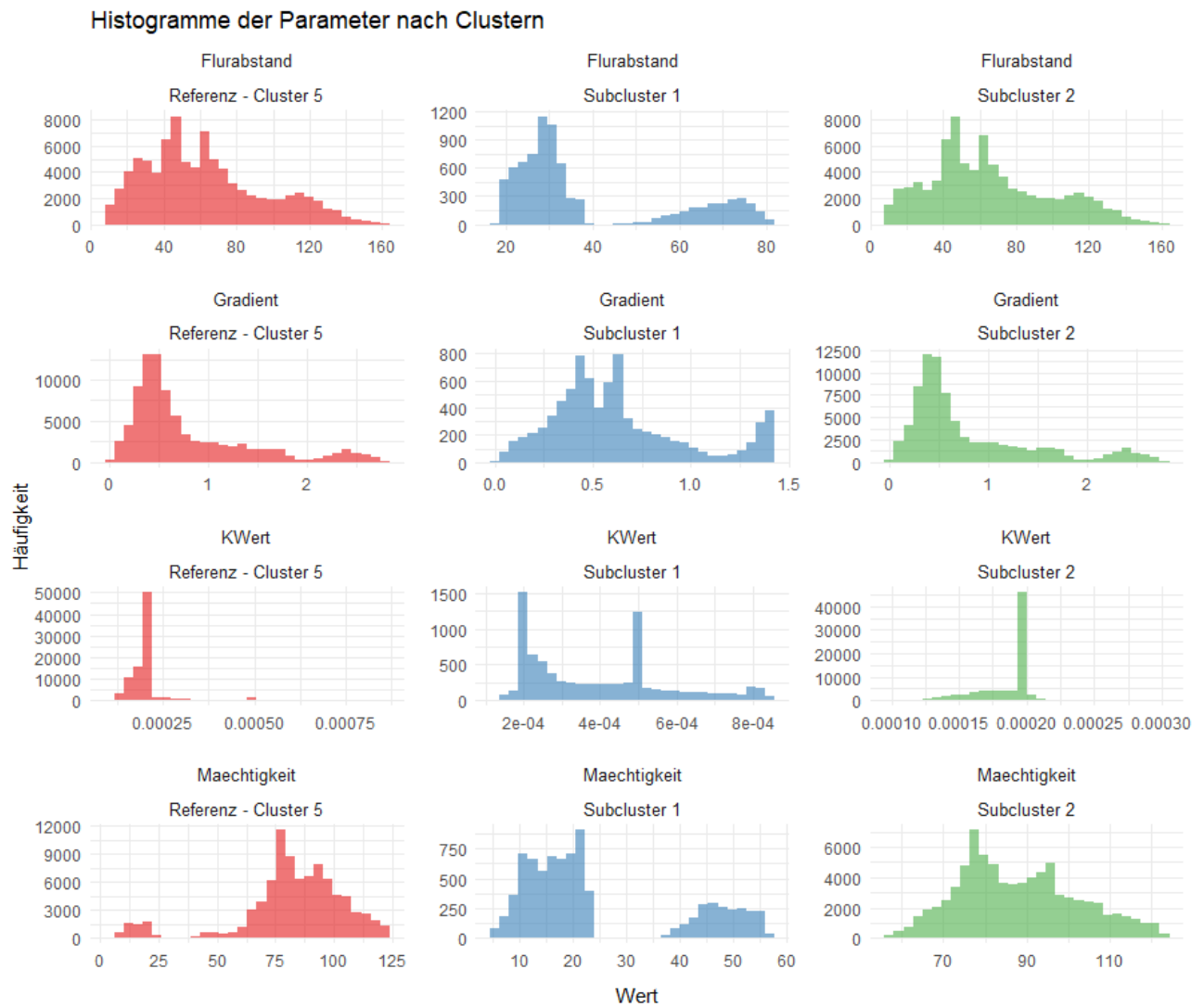


Abbildung 7 Verteilung der Parameter Gradient (%), Durchlässigkeit (m/s) und Mächtigkeit (m) für Cluster 1 und seine zwei Subcluster.

Anhang 2 Simulationsergebnisse für die Subcluster

Sub-cluster	Anlage und Energieprofil				Einflusszonen		ΔT 100 m (K)	Effizienz der Wärmerückgewinnung (%)
	Anlagentyp	Energieprofil	Ausgeglichen?	Winkel (°)	Länge (m)	Breite (m)		
1.1	bidirektional	1	ja	0	412	131	0.42	8
1.1	bidirektional	1	ja	6	414	129	0.4	9
1.1	bidirektional	2	ja	0	813	191	0.99	15
1.1	bidirektional	2	ja	6	806	196	0.95	14
1.1	bidirektional	3	ja	0	870	213	1.21	18
1.1	bidirektional	3	ja	6	862	223	1.17	18
1.1	bidirektional	1	nein	0	676	191	0.53	1
1.1	bidirektional	1	nein	6	676	193	0.5	1
1.1	bidirektional	2	nein	0	616	196	0.39	5
1.1	bidirektional	2	nein	6	621	195	0.37	5
1.1	bidirektional	3	nein	0	717	253	0.77	6
1.1	bidirektional	3	nein	6	721	248	0.72	6
1.2	bidirektional	1	ja	0	553	145	1.17	18
1.2	bidirektional	1	ja	6	548	145	1.17	18
1.2	bidirektional	2	ja	0	790	208	1.17	18
1.2	bidirektional	2	ja	6	784	216	1.17	18
1.2	bidirektional	3	ja	0	830	231	1.17	18
1.2	bidirektional	3	ja	6	825	237	1.17	18
1.2	bidirektional	1	nein	0	662	210	0.73	1
1.2	bidirektional	1	nein	6	662	212	0.7	1
1.2	bidirektional	2	nein	0	594	216	0.52	6
1.2	bidirektional	2	nein	6	601	215	0.48	6
1.2	bidirektional	3	nein	0	685	264	1.01	8
1.2	bidirektional	3	nein	6	689	265	0.96	8
2.1	bidirektional	1	ja	0	336	200	0.51	10
2.1	bidirektional	1	ja	6	335	212	0.49	10
2.1	bidirektional	2	ja	0	437	282	1.1	19
2.1	bidirektional	2	ja	6	437	291	1.06	20
2.1	bidirektional	3	ja	0	456	311	1.28	24
2.1	bidirektional	3	ja	6	455	321	1.24	24
2.1	bidirektional	1	nein	0	273	231	0.04	6
2.1	bidirektional	1	nein	6	273	232	0.03	5
2.1	bidirektional	2	nein	0	267	256	0.06	22
2.1	bidirektional	2	nein	6	273	256	0.05	22
2.1	bidirektional	3	nein	0	355	311	0.13	19
2.1	bidirektional	3	nein	6	355	311	0.1	19
2.2	bidirektional	1	ja	0	457	169	1.24	24

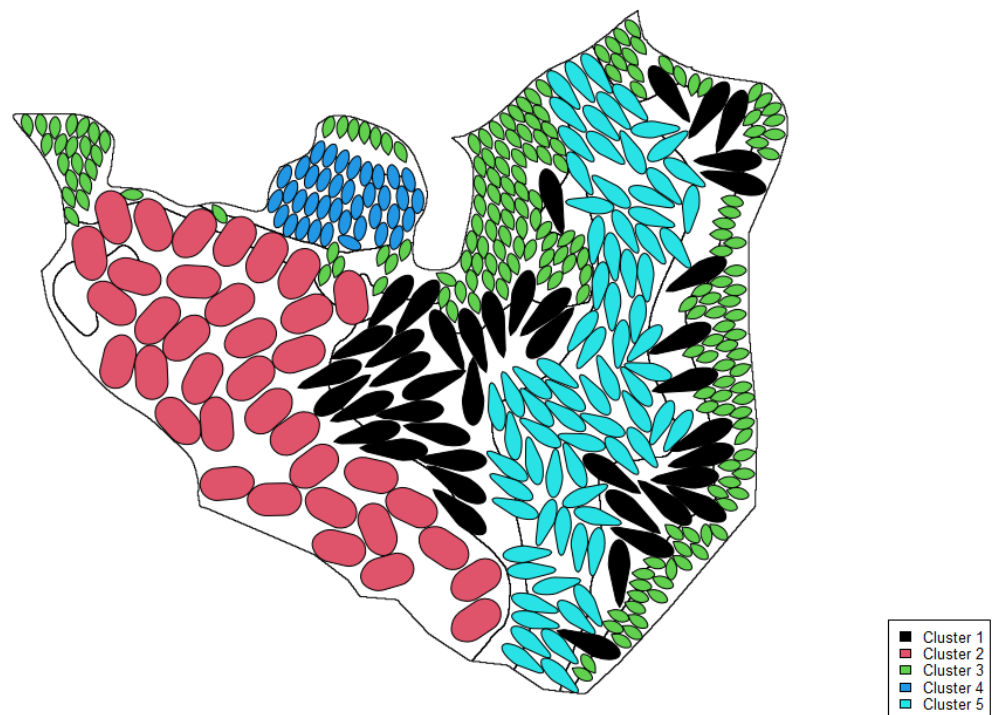
2.2	bidirektional	1 ja	6	454	176	1.24	24
2.2	bidirektional	2 ja	0	513	232	1.24	24
2.2	bidirektional	2 ja	6	514	235	1.24	24
2.2	bidirektional	3 ja	0	533	258	1.24	24
2.2	bidirektional	3 ja	6	534	260	1.24	24
2.2	bidirektional	1 nein	0	407	209	0.8	3
2.2	bidirektional	1 nein	6	409	208	0.74	3
2.2	bidirektional	2 nein	0	353	225	0.39	15
2.2	bidirektional	2 nein	6	366	225	0.35	15
2.2	bidirektional	3 nein	0	417	269	0.86	17
2.2	bidirektional	3 nein	6	423	269	0.79	17
3.1	rezirkulativ	1 ja	0	145	89	0.51	48
3.1	rezirkulativ	1 ja	6	143	91	0.44	49
3.1	rezirkulativ	2 ja	0	186	143	1.02	50
3.1	rezirkulativ	2 ja	6	186	144	0.91	50
3.1	rezirkulativ	3 ja	0	206	162	1.24	50
3.1	rezirkulativ	3 ja	6	205	162	1.12	49
3.1	rezirkulativ	1 nein	0	400	214	0.78	0
3.1	rezirkulativ	1 nein	6	403	214	0.72	0
3.1	rezirkulativ	2 nein	0	376	230	0.52	4
3.1	rezirkulativ	2 nein	6	380	231	0.48	4
3.1	rezirkulativ	3 nein	0	405	282	0.64	6
3.1	rezirkulativ	3 nein	6	409	283	0.59	5
3.2	rezirkulativ	1 ja	0	140	69	1.12	49
3.2	rezirkulativ	1 ja	6	139	69	1.12	49
3.2	rezirkulativ	2 ja	0	178	99	1.12	49
3.2	rezirkulativ	2 ja	6	179	99	1.12	49
3.2	rezirkulativ	3 ja	0	190	115	1.12	49
3.2	rezirkulativ	3 ja	6	194	115	1.12	49
3.2	rezirkulativ	1 nein	0	976	204	0.49	0
3.2	rezirkulativ	1 nein	6	977	203	0.47	0
3.2	rezirkulativ	2 nein	0	958	198	0.47	2
3.2	rezirkulativ	2 nein	6	960	198	0.45	2
3.2	rezirkulativ	3 nein	0	1150	266	0.91	4
3.2	rezirkulativ	3 nein	6	1152	265	0.88	3
4.1	rezirkulativ	1 ja	0	148	95	0.84	31
4.1	rezirkulativ	1 ja	6	146	96	0.81	32
4.1	rezirkulativ	2 ja	0	192	152	1.23	43
4.1	rezirkulativ	2 ja	6	192	151	1.18	43
4.1	rezirkulativ	3 ja	0	215	170	1.34	45
4.1	rezirkulativ	3 ja	6	214	170	1.29	45

4.1	rezirkulativ	1 nein	0	395	217	0.74	0
4.1	rezirkulativ	1 nein	6	397	216	0.68	0
4.1	rezirkulativ	2 nein	0	369	234	0.47	4
4.1	rezirkulativ	2 nein	6	371	235	0.44	4
4.1	rezirkulativ	3 nein	0	395	288	0.56	6
4.1	rezirkulativ	3 nein	6	401	289	0.52	6
4.2	rezirkulativ	1 ja	0	187	78	1.29	45
4.2	rezirkulativ	1 ja	6	187	78	1.29	45
4.2	rezirkulativ	2 ja	0	271	112	1.29	45
4.2	rezirkulativ	2 ja	6	272	112	1.29	45
4.2	rezirkulativ	3 ja	0	296	125	1.29	45
4.2	rezirkulativ	3 ja	6	298	125	1.29	45
4.2	rezirkulativ	1 nein	0	1118	146	0.28	0
4.2	rezirkulativ	1 nein	6	1117	146	0.27	0
4.2	rezirkulativ	2 nein	0	1011	137	0.29	1
4.2	rezirkulativ	2 nein	6	1016	138	0.28	1
4.2	rezirkulativ	3 nein	0	1860	229	0.55	2
4.2	rezirkulativ	3 nein	6	1864	230	0.52	2
5.1	bidirektional	1 ja	0	334	129	0.01	0
5.1	bidirektional	1 ja	6	348	129	0.01	0
5.1	bidirektional	2 ja	0	631	201	0.01	1
5.1	bidirektional	2 ja	6	688	206	0.01	1
5.1	bidirektional	3 ja	0	861	229	0.01	3
5.1	bidirektional	3 ja	6	926	236	0.01	3
5.1	bidirektional	1 nein	0	1242	212	0.49	0
5.1	bidirektional	1 nein	6	1240	211	0.47	0
5.1	bidirektional	2 nein	0	1137	209	0.4	2
5.1	bidirektional	2 nein	6	1141	205	0.37	2
5.1	bidirektional	3 nein	0	1481	286	0.75	3
5.1	bidirektional	3 nein	6	1487	285	0.69	3
5.2	bidirektional	1 ja	0	297	101	0.01	3
5.2	bidirektional	1 ja	6	302	101	0.01	3
5.2	bidirektional	2 ja	0	445	153	0.01	3
5.2	bidirektional	2 ja	6	461	153	0.01	3
5.2	bidirektional	3 ja	0	523	174	0.01	3
5.2	bidirektional	3 ja	6	549	175	0.01	3
5.2	bidirektional	1 nein	0	731	131	0.26	1
5.2	bidirektional	1 nein	6	727	130	0.25	1
5.2	bidirektional	2 nein	0	629	138	0.17	2
5.2	bidirektional	2 nein	6	632	138	0.16	2
5.2	bidirektional	3 nein	0	1193	199	0.33	2

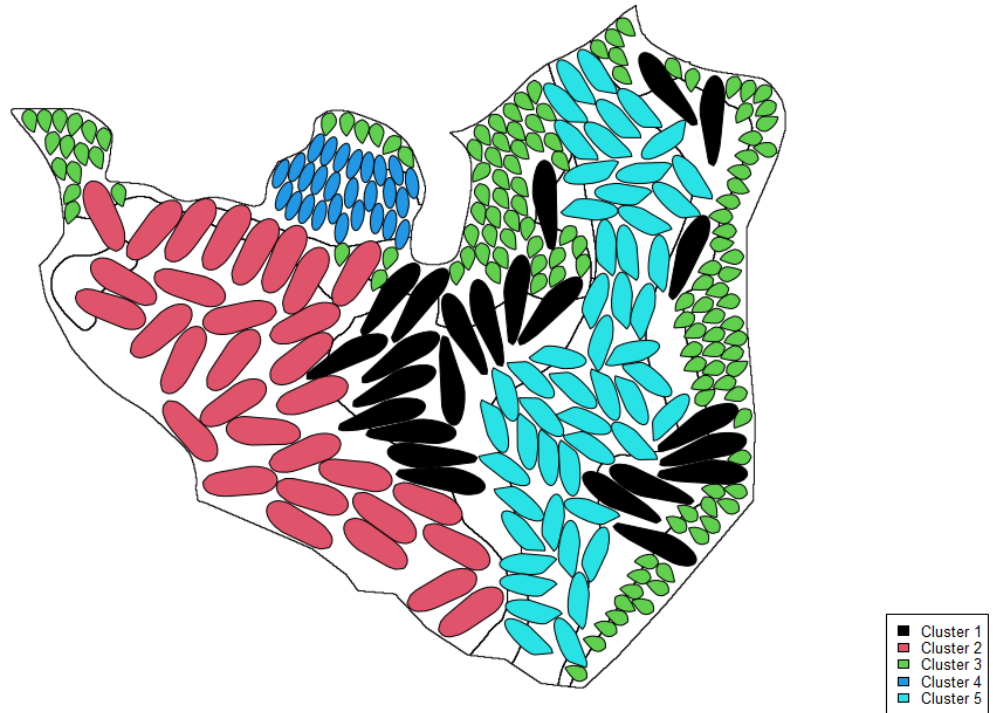
5.2	bidirektional	3	nein	6	1201	196	0.31	2
-----	---------------	---	------	---	------	-----	------	---

Anhang 3 Ergebnisse des Packing-Algorithmus

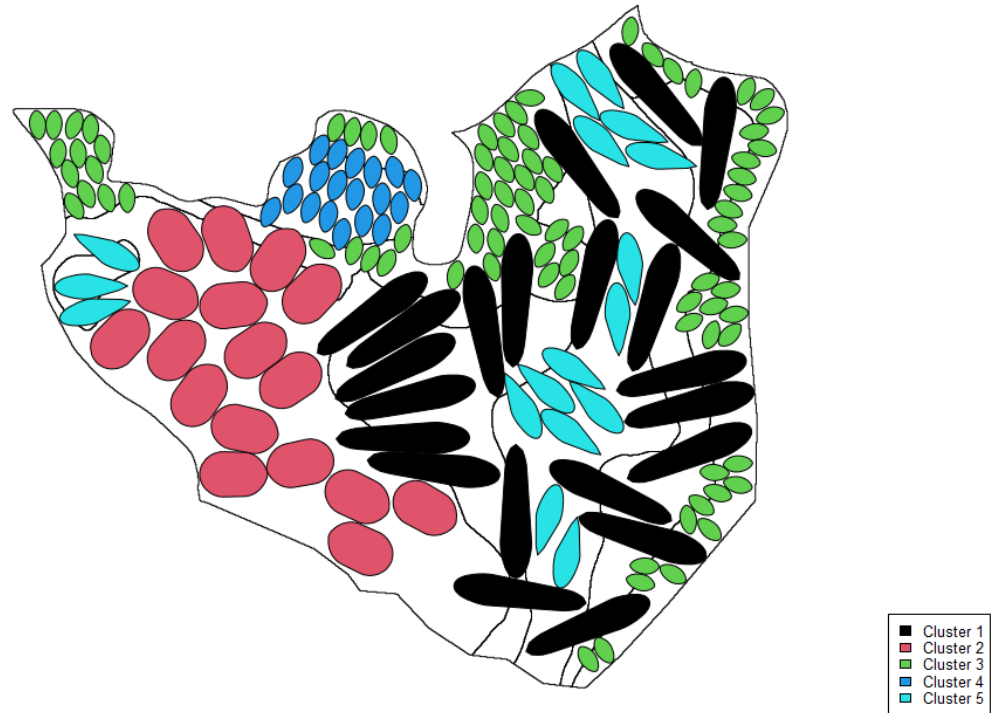
ausgeglichenes Energielastprofil Nr. 1, min. Einflusszonen



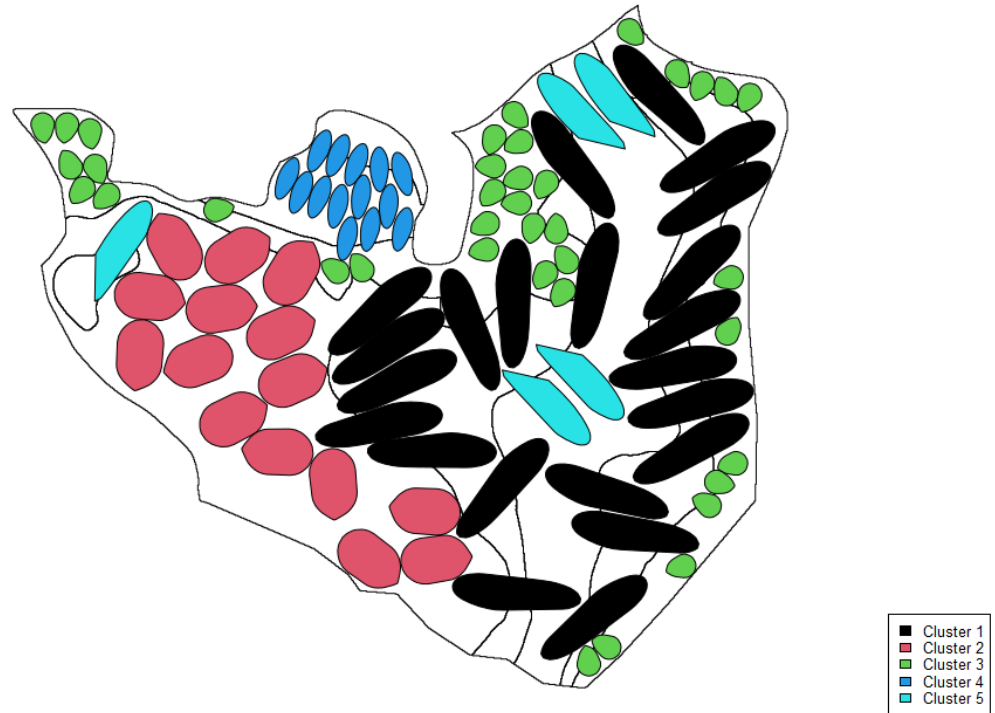
ausgeglichenes Energielastprofil Nr. 1, max. Einflusszonen



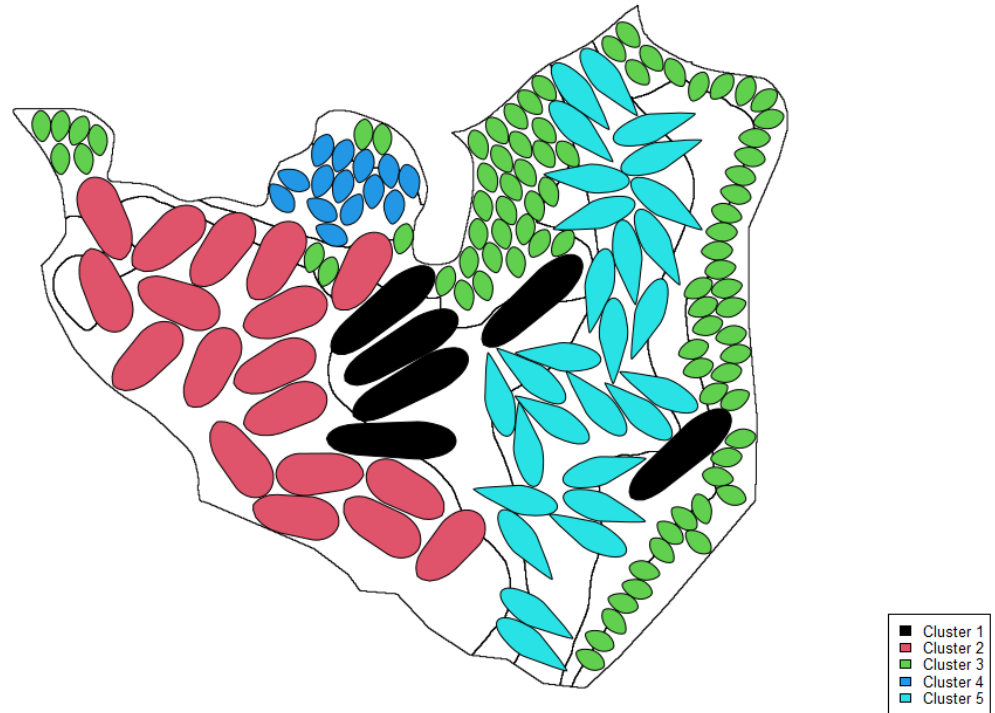
ausgeglichenes Energielastprofil Nr. 2, min. Einflusszonen



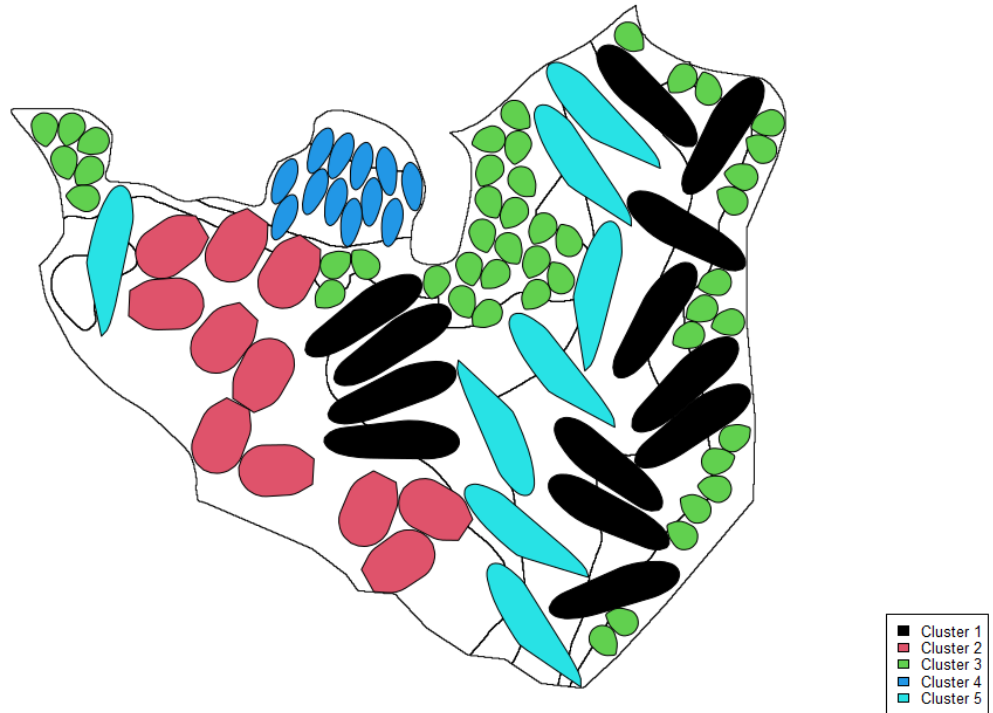
ausgeglichenes Energielastprofil Nr. 2, max. Einflusszonen



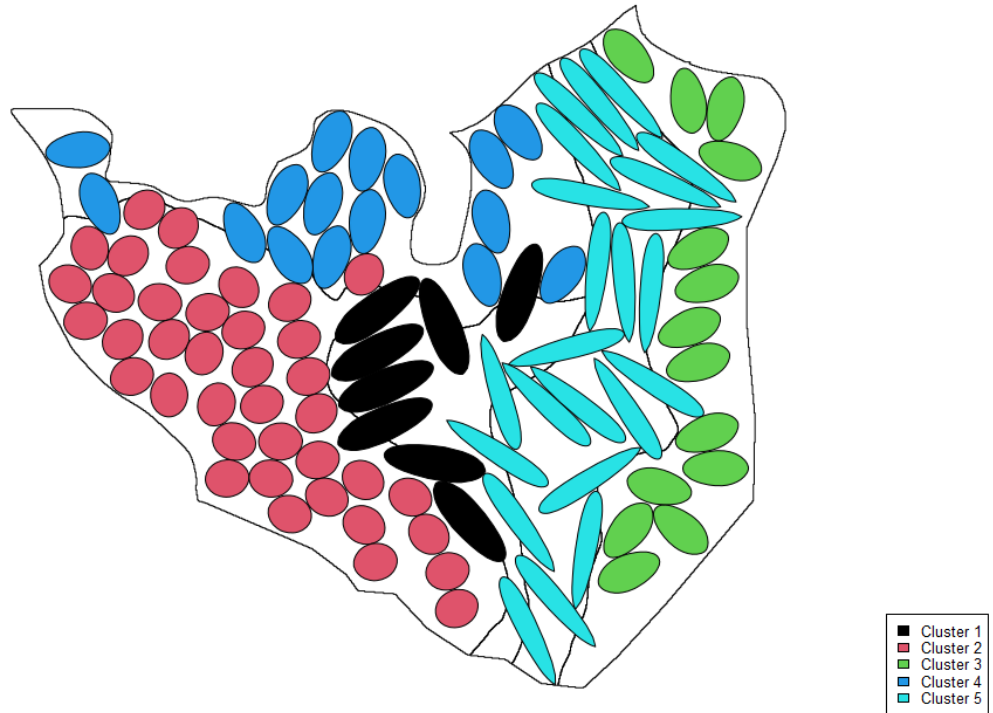
ausgeglichenes Energielastprofil Nr. 3, min. Einflusszonen



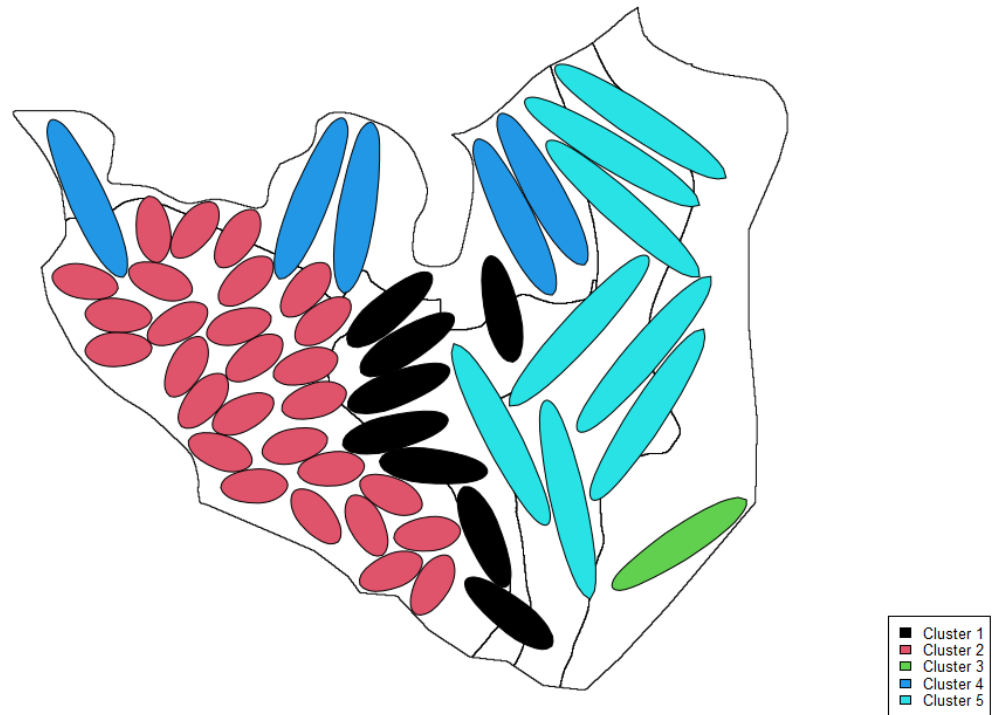
ausgeglichenes Energielastprofil Nr. 3, max. Einflusszonen



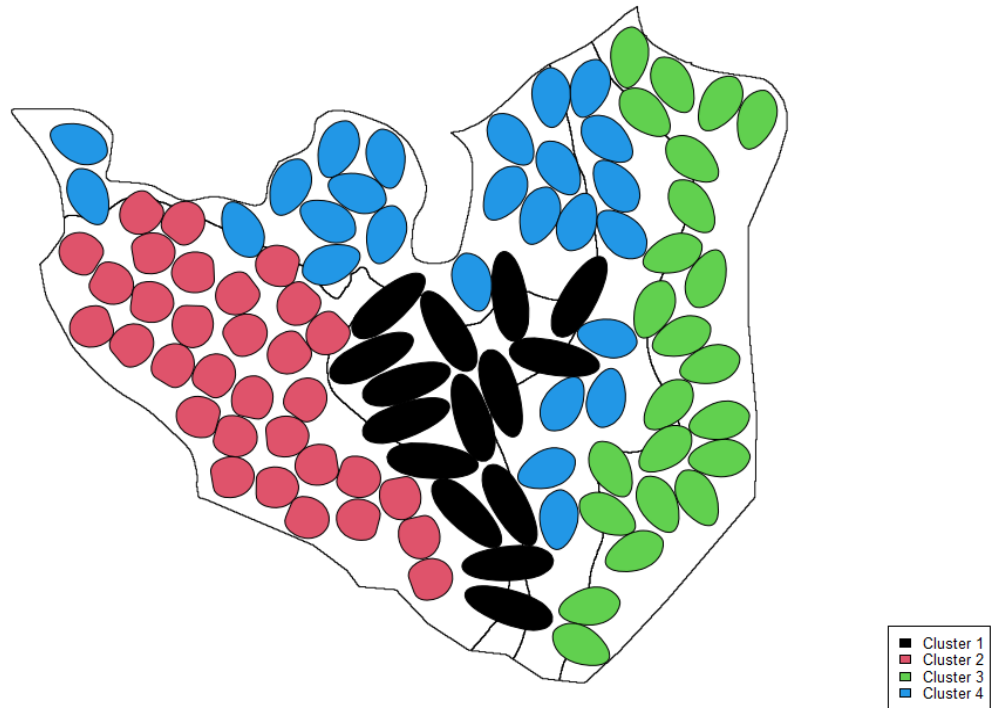
unausgeglichenes Energielastprofil Nr. 1, min. Einflusszonen



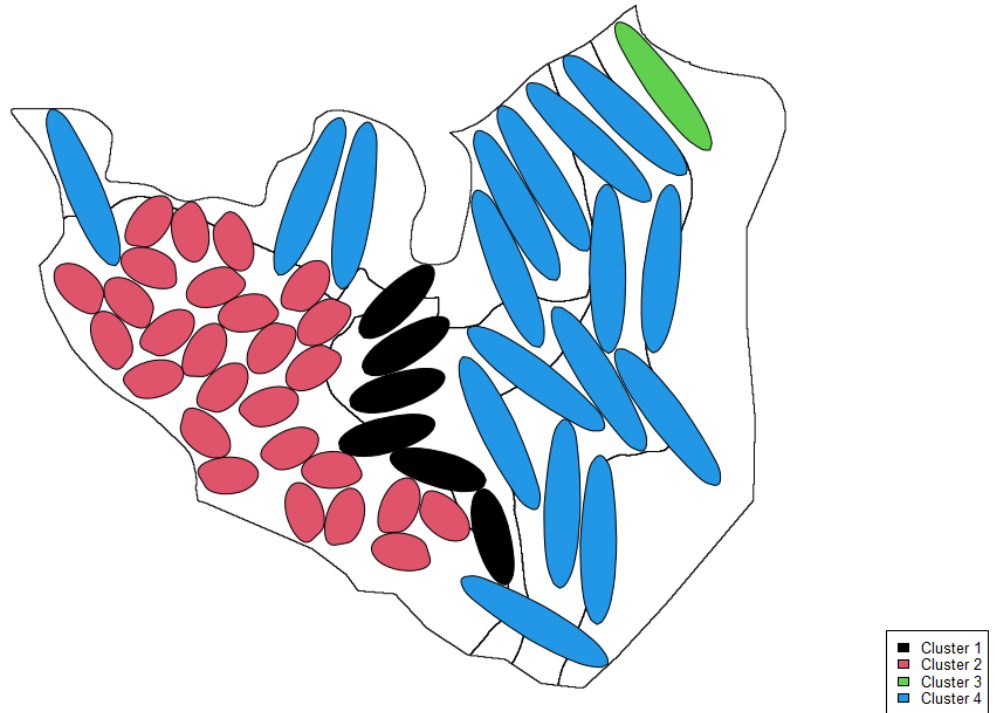
unausgeglichenes Energielastprofil Nr. 1, max. Einflusszonen



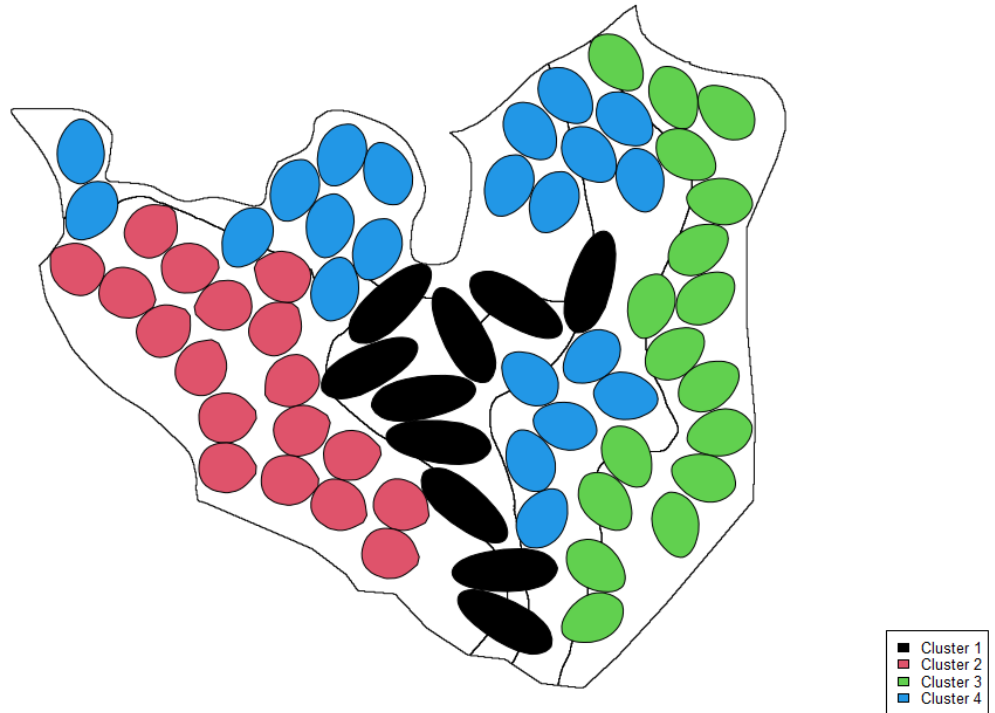
unausgeglichenes Energielastprofil Nr. 2, min. Einflusszonen



unausgeglichenes Energielastprofil Nr. 2, max. Einflusszonen



unausgeglichenes Energielastprofil Nr. 3, min. Einflusszonen



unausgeglichenes Energielastprofil Nr. 3, max. Einflusszonen

