

3 Ergebnisse

Nach Analyse des Bildmaterials und der Aufstellung allgemeiner Anforderungen an die eingesetzten Snake-Verfahren werden im folgenden Kapitel die Ergebnisse des klassischen Snake- und des SplineSnake-Verfahrens im Vergleich mit dem durch einen Radiologen definierten Goldstandard gegenübergestellt. Grundlage hierfür sind die eingangs vorgestellten diffusionsgewichteten Datensätze der Patientenuntersuchungen.

3.1 Optimierung der Snake-Verfahren anhand charakteristischer Testdatensätze

Zur Optimierung der Snake-Verfahren wurden aus den Patientendaten fünf charakteristische Testdatensätze ausgewählt, welche weitestgehend das Spektrum der möglichen Infarktlokalisationen, -ausdehnungen und -morphologien abdecken:

- Testdatensatz 1 (0,26% Infarkt-Pixel in Bezug auf die Gesamtfläche des Gehirns): kleiner homogener Infarkt rechts, capsula interna, hinteres Knie, äußerer Thalamusrand.
- Testdatensatz 2 (8,64% Infarkt-Pixel in Bezug auf die Gesamtfläche des Gehirns): großer Media-Infarkt rechts, cortical bis weit ins Parenchym reichend.
- Testdatensatz 3 (2,02% Infarkt-Pixel in Bezug auf die Gesamtfläche des Gehirns): verstreuter Infarkt rechts, Läsionen verteilt zwischen Unter- bis Oberkante der Ventrikel.
- Testdatensatz 4 (2,38% Infarkt-Pixel in Bezug auf die Gesamtfläche des Gehirns): verstreute Läsionen rechts, unregelmäßig geformt.
- Testdatensatz 5 (1,16% Infarkt-Pixel in Bezug auf die Gesamtfläche des Gehirns): akuter Media-Infarkt rechts, angrenzend an eine chronische Infarktregion, Lokalisation: Endbereich Hinterhörner, Stammganglien.

Abbildung 3.1 zeigt ausgewählte Schichten der Testdatensätze mit Markierung der Infarktareale durch Snake-Verfahren. In der Abbildung wurde der Testdatensatz 1 durch das klassische Snake-Verfahren und die Testdatensätze 2-5 durch das SplineSnake-Verfahren ausgewertet.

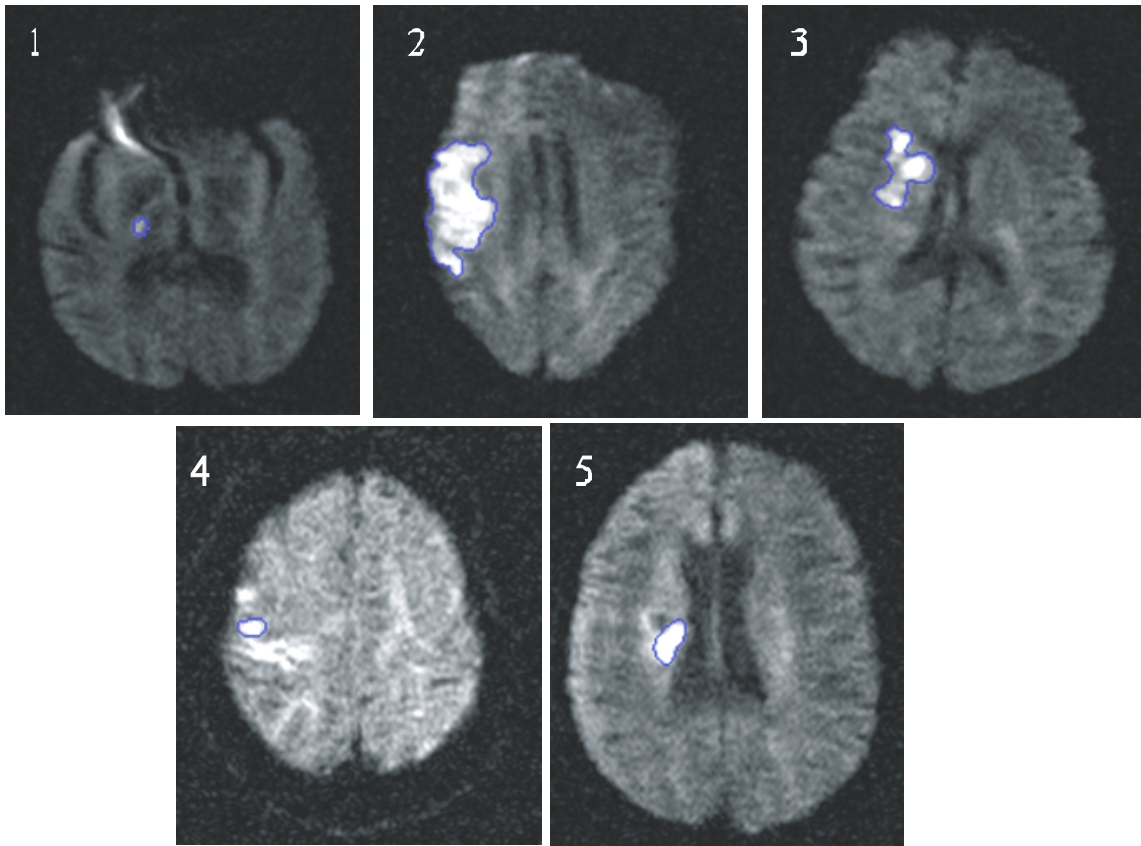


Abbildung 3.1: Testdatensätze (diffusionsgewichtete Aufnahmen) zur Optimierung der Snake-Verfahren. Die segmentierten Infarkte sind jeweils durch Linien abgegrenzt. Bild (1) wurde mit dem klassischen Snake-Verfahren und Bilder (2)-(5) mit dem SplineSnake-Verfahren ausgewertet. In den Testdatensätzen 1-3 konnte der Infarkt durch jeweils einen Snake segmentiert werden. In Testdatensatz 4 ist die Segmentierung des mittleren Infarktes und in Testdatensatz 5 die Segmentierung des akuten Infarktes unterhalb einer chronischen Infarktregion dargestellt.

Zur Auswertung der Testdatensätze ergeben sich aufgrund des Bildmaterials vielfältige Anforderungen an die Snake-Verfahren:

- Testdatensatz 1 zeigt einen besonders kleinen homogenen Infarkt. Bei der Auswertung mittels Snake-Verfahren ist zu beachten, dass zu kleine Gewebestrukturen nicht mehr als ein homogenes Areal durch Snake-Verfahren klassifiziert werden können. Hierdurch kann es zum Zusammenfall der Snake Struktur auf einen Punkt kommen.
- Testdatensatz 2 zeigt ein relativ großes Infarktareal, welches weit bis ins Parenchym reicht. Bei der Auswertung soll das gesamte Infarktareal durch einen Snake markiert werden. Die wesentliche Randbedingung in diesem Fall besteht darin, dass sich der Snake den unregelmäßigen, äußeren Konturen des Areals möglichst genau annähert.

- Testdatensatz 3 zeigt ein relativ inhomogenes Infarktareal. Bei der Segmentierung mittels Snake-Verfahren ist darauf zu achten, dass trotz seiner Inhomogenität das gesamte Infarktareal als solches markiert wird.
- Testdatensatz 4 zeigt mehrere verstreute Läsionen, welche separat durch Snakes segmentiert werden müssen. Hierbei dürfen sich die Snakes der einzelnen Areale nicht gegenseitig beeinflussen.
- Testdatensatz 5 erfordert die Abgrenzung eines akuten Infarkts (hell im DWI) von einem chronischen Infarktareal (dunkel).

3.2 Vergleich des klassischen Snake-Verfahrens mit dem Goldstandard

3.2.1 Grundlegende Eigenschaften des klassischen Snake-Verfahrens

Folgende Randbedingungen aufgrund konkreter Eigenschaften des klassischen Snake-Verfahrens lassen sich für die Segmentierung des vorliegenden Bildmaterials festhalten:

- Aufgrund der Snake Struktur können bevorzugt rundliche, sich abgrenzende Gewebeareale segmentiert werden.
- Da der klassische Snake aus einem Polygonzug besteht, besitzt der Snake eckige Begrenzungen. Die Eckpunkte des Polygonzugs verbinden die Kanten.
- Sehr kleine Gewebeareale (Durchmesser unter 5 Bildpunkten) können mit dem klassischen Snake-Verfahren nicht segmentiert werden.
- Innerhalb des segmentierten Areals erfolgt keine weitere Gewebedifferenzierung. Diese könnte ggf. bei inhomogenen Gewebebereichen durch eine weitere Anwendung des klassischen Snake-Verfahrens erfolgen.

3.2.2 Einfluss der Parameter bei der Segmentierung mit dem klassischen Snake-Verfahren

Als maßgebliche Parameter des klassischen Snake-Verfahrens haben sich *wline* (Parameter der Linienbildenergie) und *wedge* (Parameter der Kantenbildenergie) herausgestellt. Mit ihrer Hilfe lässt sich die Snake Segmentierung an die jeweiligen Bilddaten anpassen. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse des klassischen Snake-Verfahrens auf die Testdatensätze 1-5 unter

Variation der Parameter *wline* und *wedge* zusammengefasst und in Abbildung 3.2 für den Testdatensatz 1 grafisch dargestellt.

Testdaten- satz Nr.	Parameter- satz Nr.	<i>wline</i>	<i>wedge</i>	Se	Sp	posVS	negVS
1	1	-0,20	0,10	0,73	0,9998	0,77	0,9998
1	2	0,15	0,10	0,73	1,0000	0,93	0,9998
1	3	-0,20	-0,04	0,97	0,9991	0,48	1,0000
2	1	-0,20	0,10	0,89	0,9978	0,90	0,9976
2	2	0,15	0,10	0,93	0,9958	0,83	0,9984
2	3	-0,20	-0,04	1,00	0,9851	0,59	1,0000
3	1	-0,20	0,10	0,84	0,9982	0,74	0,9990
3	2	0,15	0,10	0,87	0,9977	0,71	0,9992
3	3	-0,20	-0,04	1,00	0,9913	0,42	1,0000
4	1	-0,20	0,10	0,95	0,9967	0,47	0,9998
4	2	0,15	0,10	0,54	0,9980	0,46	0,9986
4	3	-0,20	-0,04	0,70	0,9928	0,23	0,9991
5	1	-0,20	0,10	0,79	0,9982	0,62	0,9992
5	2	0,15	0,10	0,76	0,9982	0,62	0,9991
5	3	-0,20	-0,04	0,67	0,9985	0,62	0,9988

Tabelle 1: Einfluss der Parameter (*wline*, *wedge*) auf die Segmentierung der Testdatensätze 1-5 mit dem klassischen Snake-Verfahren. Angegeben sind Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), positiver und negativer Vorhersagewert (posVS, negVS).

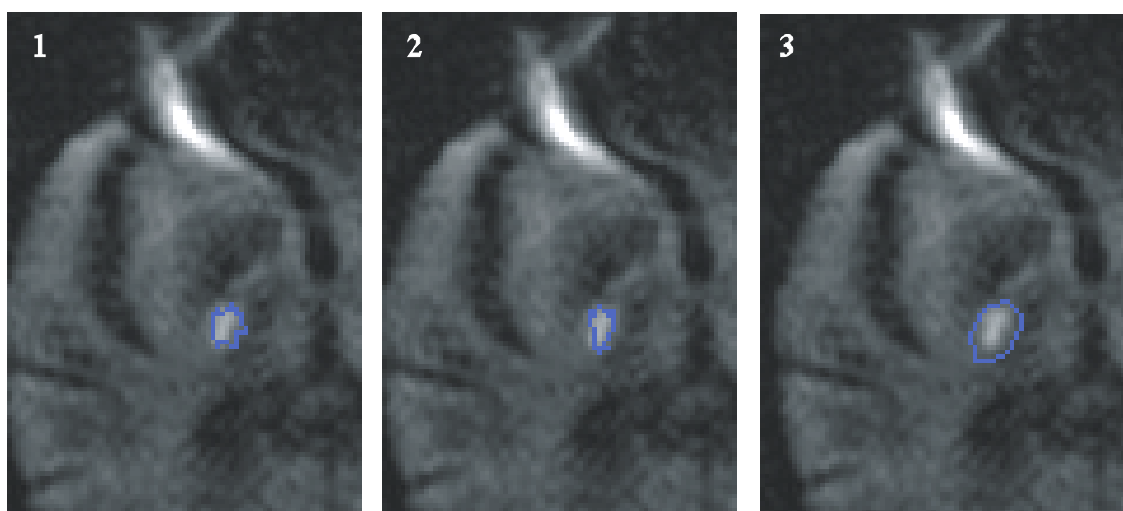


Abbildung 3.2: Einfluss der Parameter *wline*, *wedge* (siehe Tabelle 1) auf die Segmentierung des kleinen homogenen Infarkts im Testdatensatz 1 mit dem klassischen Snake-Verfahren. Dargestellt ist jeweils eine entsprechende Ausschnittsvergrößerung von Testdatensatz 1 in Abhängigkeit der drei Parameterkombinationen von *wline* und *wedge* (1:*wline*=-0,2,*wedge*=0,10; 2:*wline*=0,15,*wedge*=0,10; 3:*wline*=-0,2,*wedge*=-0,04). Das helle Areal am oberen Bildrand ist ein Artefakt der Aufnahmetechnik, welcher durch Unterschiede in der Magnetisierbarkeit des Gewebes beim Übergang vom Gewebe zur Stirnhöhle hervorgerufen wird.

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, wurden unter Beachtung von Sensitivität und positivem Vorhersagewert die insgesamt besten Ergebnisse mit der Parameterkombination $wline = -0,2$ und $wedge = 0,1$ erzielt. Diese Parameter wurden daher universell für alle weiteren Auswertungen eingesetzt.

3.2.3 Ergebnistabelle des klassischen Snake-Verfahrens im Vergleich mit dem Goldstandard

Die Ergebnisse des klassischen Snake-Verfahrens sind in Tabelle 2 dargestellt. Angeben sind jeweils richtig positive (Rp), richtige negative (Rn), falsch positive (Fp) und falsch negative (Fn) Werte des klassischen Snake-Verfahrens im Vergleich mit dem Goldstandard. Hieraus errechneten sich Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), positiver und negativer Vorhersagewert (posVS, negVS). Zusätzlich wird der Mittelwert und die Standardabweichung des apparenten Diffusionskoeffizienten für die segmentierte Region (mwadc, stdadc) angegeben.

Patient	Schicht	Rn	Rp	Fp	Fn	Se	Sp	posVS	negVS	mwadc	stdadc
1550	20.90	65464	43	13	16	0,73	0,9998	0,77	0,9998	393	146
2631	44.50	64031	1210	140	155	0,89	0,9978	0,90	0,9976	622	235
3867	7.10	65012	342	118	64	0,84	0,9982	0,74	0,9990	414	118
3452	37.80	65121	191	213	11	0,95	0,9967	0,47	0,9998	790	461
1699	18.60	65178	190	116	52	0,79	0,9982	0,62	0,9992	1557	540
1068	7.10	65444	28	52	12	0,70	0,9992	0,35	0,9998	574	198
1068	12.60	64888	345	179	124	0,74	0,9972	0,66	0,9981	962	314
1068	18.00	65262	187	59	28	0,87	0,9991	0,76	0,9996	614	245
1068	23.50	64576	658	128	174	0,79	0,9980	0,84	0,9973	1038	354
1324	12.40	65398	84	27	27	0,76	0,9996	0,76	0,9996	1112	398
1324	19.00	64874	523	88	51	0,91	0,9986	0,86	0,9992	641	393
1324	25.60	65202	205	96	33	0,86	0,9985	0,68	0,9995	642	386
1324	27.20	65427	74	12	23	0,76	0,9998	0,86	0,9996	277	224
1324	33.80	65413	71	38	14	0,84	0,9994	0,65	0,9998	1378	335
1939	1.00	64945	328	160	103	0,76	0,9975	0,67	0,9984	725	416
1939	5.60	65249	85	112	90	0,49	0,9983	0,43	0,9986	951	189
1939	7.60	64840	474	130	92	0,84	0,9980	0,78	0,9986	675	158
1939	18.80	65270	147	54	65	0,69	0,9992	0,73	0,9990	734	360
1939	25.40	65332	80	61	63	0,56	0,9991	0,57	0,9990	513	107
1939	32.00	65244	163	55	74	0,69	0,9992	0,75	0,9989	565	180
1939	51.80	65494	17	12	13	0,57	0,9998	0,59	0,9998	183	166
1941	3.20	65347	91	46	52	0,64	0,9993	0,66	0,9992	502	175
2027	2.50	65432	39	56	9	0,81	0,9991	0,41	0,9999	792	232
2072	10.30	65315	153	12	56	0,73	0,9998	0,93	0,9991	1112	331
2072	23.50	65332	128	36	40	0,76	0,9994	0,78	0,9994	567	261
2072	30.10	65376	114	3	43	0,73	1,0000	0,97	0,9993	770	314

Patient	Schicht	Rn	Rp	Fp	Fn	Se	Sp	posVS	negVS	mwadc	stdadc
2072	36.70	65277	143	63	53	0,73	0,9990	0,69	0,9992	1060	396
2072	43.30	65273	160	38	65	0,71	0,9994	0,81	0,9990	676	358
2217	2.40	65349	115	17	55	0,68	0,9997	0,87	0,9992	523	115
2217	9.00	65327	84	76	49	0,63	0,9988	0,53	0,9993	537	98
2292	65.40	65157	295	28	56	0,84	0,9996	0,91	0,9991	515	158
2292	72.00	65128	345	37	26	0,93	0,9994	0,90	0,9996	463	311
2361	10.60	65331	100	84	21	0,83	0,9987	0,54	0,9997	365	159
2424	3.30	65398	95	14	29	0,77	0,9998	0,87	0,9996	567	125
2424	9.90	65388	102	25	21	0,83	0,9996	0,80	0,9997	594	321
2426	1.20	63828	1197	173	338	0,78	0,9973	0,87	0,9947	806	210
2426	6.70	63424	1667	320	125	0,93	0,9950	0,84	0,9980	818	209
2426	12.20	63228	1791	326	191	0,90	0,9949	0,85	0,9970	710	210
2426	17.70	64252	898	83	303	0,75	0,9987	0,92	0,9953	614	280
2426	23.20	63811	1216	138	371	0,77	0,9978	0,90	0,9942	774	224
2437	52.70	65121	325	78	12	0,96	0,9988	0,81	0,9998	509	492
2437	59.30	65391	60	34	51	0,54	0,9995	0,64	0,9992	386	335
2628	22.30	65471	27	12	26	0,51	0,9998	0,69	0,9996	563	282
2630	56.10	65430	73	17	16	0,82	0,9997	0,81	0,9998	455	195
2631	11.50	63826	1378	136	196	0,88	0,9979	0,91	0,9969	758	272
2631	18.10	63322	1877	132	205	0,90	0,9979	0,93	0,9968	511	188
2631	24.70	62732	2338	322	144	0,94	0,9949	0,88	0,9977	644	278
2631	31.80	63174	1702	311	349	0,83	0,9951	0,85	0,9945	933	590
2631	37.90	63806	1305	138	287	0,82	0,9978	0,90	0,9955	972	484
2631	51.10	64574	727	104	131	0,85	0,9984	0,87	0,9980	696	227
2631	57.70	64904	415	42	175	0,70	0,9994	0,91	0,9973	650	225
2857	21.10	65244	228	33	31	0,88	0,9995	0,87	0,9995	842	282
2857	27.70	65152	296	48	40	0,88	0,9993	0,86	0,9994	844	270
2876	16.80	65180	231	102	23	0,91	0,9984	0,69	0,9996	1048	479
2876	23.40	65217	236	73	10	0,96	0,9989	0,76	0,9998	656	234
2936	21.30	65445	40	36	15	0,73	0,9995	0,53	0,9998	468	336
2936	27.90	65404	81	4	47	0,63	0,9999	0,95	0,9993	314	118
2946	25.00	65438	56	11	31	0,64	0,9998	0,84	0,9995	392	232
2946	31.60	65469	28	7	32	0,47	0,9999	0,80	0,9995	270	197
3134	6.10	65295	144	44	53	0,73	0,9993	0,77	0,9992	670	179
3134	11.60	65338	130	34	34	0,79	0,9995	0,79	0,9995	614	112
3134	22.60	65427	64	29	16	0,80	0,9996	0,69	0,9998	612	216
3134	28.10	65430	63	13	30	0,68	0,9998	0,83	0,9995	496	204
3134	39.10	65405	72	21	38	0,65	0,9997	0,77	0,9994	1043	217
3134	44.60	65392	78	37	29	0,73	0,9994	0,68	0,9996	712	193
3206	30.30	65494	21	1	20	0,51	1,0000	0,95	0,9997	430	108
3206	36.90	65469	35	6	26	0,57	0,9999	0,85	0,9996	670	381
3293	55.80	65491	19	5	21	0,48	0,9999	0,79	0,9997	405	142
3369	26.50	64975	351	105	105	0,77	0,9984	0,77	0,9984	790	260
3369	33.10	64206	1005	129	196	0,84	0,9980	0,89	0,9970	723	248
3369	39.70	63858	1103	215	360	0,75	0,9966	0,84	0,9944	872	136
3369	46.30	64083	1055	144	254	0,81	0,9978	0,88	0,9961	686	101
3369	52.90	65122	256	44	114	0,69	0,9993	0,85	0,9983	767	201
3369	59.50	64966	374	134	62	0,86	0,9979	0,74	0,9990	751	149
3369	66.10	65264	185	13	74	0,71	0,9998	0,93	0,9989	952	232
3369	72.70	65352	110	32	42	0,72	0,9995	0,77	0,9994	902	448
3526	9.90	65457	40	3	36	0,53	1,0000	0,93	0,9995	851	369
3526	15.40	65308	153	14	61	0,71	0,9998	0,92	0,9991	974	262

Mittelwert	0,75	0,9988	0,78	0,9986	692,26	260
Standardabweichung	0,12	0,0012	0,14	0,0015	245,47	112,2

Tabelle 2: Ergebnistabelle für die Segmentierung von ischämischen Hirninfarkten mit den klassischen Snake-Verfahren. Der Goldstandard wurde unabhängig durch manuelle Segmentierung durch einen Radiologen definiert. Dargestellt sind richtig negative (Rn), richtig positive (Rp), falsch positive (Fp) und falsch negative (Fn) Werte, sowie die hieraus errechnete Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), positiver und negativer Vorhersagewert (posVS, negVS). Zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen Segmentierungstechniken sind zusätzlich Mittelwert und Standardabweichung des apparenten Diffusionskoeffizienten (mwadc, stdadc) angegeben. Als Parameter sind $wline=-0,2$ und $wedge=0,1$ gewählt (siehe Parametersatz 1 aus Kap. 3.2.2). Die ersten fünf Datenreihen zeigen die Auswertung der Parameter-Testdatensätze (siehe Tabelle 1), welche für die Gesamtauswertung übernommen wurden. Am Ende der Tabelle sind der Mittelwert und die Standardabweichung über die gesamten Datensätze angegeben. Die Patientenummer ergibt sich aus dem Untersuchungsprotokoll.

3.3 Vergleich des SplineSnake-Verfahrens mit dem Goldstandard

Im folgenden Abschnitt werden die Segmentierungsergebnisse des SplineSnake-Verfahrens gegen den Goldstandard vorgestellt.

3.3.1 Grundlegende Eigenschaften des SplineSnake-Verfahrens

Bei der Anwendung des SplineSnake-Verfahrens lassen sich folgende charakteristische Eigenschaften festhalten:

- Aufgrund der Snake Struktur können bevorzugt rundliche Gewebeareale segmentiert werden.
- Vorteilhaft ist, dass der SplineSnake aufgrund seines Aufbaus eine gekrümmte regelmäßige Oberfläche besitzt, welche sich besser den physiologischen Gegebenheiten anpasst als ein einfacher Polygonzug.
- Sehr kleine Gewebeareale (Durchmesser unter 5 Bildpunkten) können mit dem SplineSnake-Verfahren nicht segmentiert werden.
- Innerhalb des segmentierten Areals erfolgt keine weitere Gewebedifferenzierung.

3.3.2 Einfluss der Parameter bei der Segmentierung mit dem SplineSnake-Verfahren

Die Parameter des SplineSnake-Verfahrens sind in Kap. 2.5.5 zusammengefasst. Durch das spezielle Design ist das SplineSnake-Verfahren weitestgehend unabhängig von seinen Eingabeparametern [47]. Hierdurch ist das SplineSnake-Verfahren nur in begrenztem Maße durch den Benutzer beeinflussbar.

Tabelle 3 zeigt den Einfluss der Bildenergie auf die Segmentierung mit dem SplineSnake-Verfahren. In den Parametern des SplineSnake-Verfahrens lässt sich hierbei zwischen der Gewichtung von gradientenbasierten Bildenergie und regionbasierten Bildenergie (siehe Kap. 2.3.3) variieren. Im Parametersatz 1 wird nur die gradientenbasierte Bildenergie (100% Gradient, 0% Region) und im Parametersatz 2 nur die regionbasierte Bildenergie verwendet. Hinsichtlich der Ergebnisse in Tabelle 3 zeigt sich, dass die Wahl der Bildenergie nur geringe Auswirkungen auf das Segmentierungsergebnis hat. Da der Vorteil der gradientenbasierten Bildenergie in der präzisen Detektion von Gewebeübergängen liegt, wird für die weitere Datenauswertung der Parametersatz 1 („100% Gradient“) gewählt.

Testdaten- satz Nr.	Parameter- satz Nr.	Bildenergie	Se	Sp	posVS	negVS
1	1	100% Gradient	0,97	0,9995	0,61	1,0000
1	2	100% Region	0,95	0,9992	0,53	1,0000
2	1	100% Gradient	0,97	0,9978	0,90	0,9994
2	2	100% Region	0,97	0,9976	0,90	0,9994
3	1	100% Gradient	0,99	0,9969	0,66	0,9999
3	2	100% Region	0,94	0,9977	0,72	0,9996
4	1	100% Gradient	0,93	0,9936	0,31	0,9998
4	2	100% Region	0,64	0,9942	0,26	0,9989
5	1	100% Gradient	0,93	0,9986	0,71	0,9997
5	2	100% Region	0,91	0,9990	0,77	0,9997

Tabelle 3: Einfluss der Bildenergie auf die Segmentierung der Testdatensätze 1-5 mit dem SplineSnake-Verfahren. Angeben sind Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), positiver und negativer Vorhersagewert (posVS, negVS)

Abbildung 3.3 zeigt das Ergebnis der Segmentierung der Testdatensätze 1 und 2 (siehe Kap. 3.1) mittels SplineSnake-Verfahren. Da kleine Strukturen mit dem SplineSnake-Verfahren schwierig zu erfassen sind, ist der kleine homogene Infarkt aus Testdatensatz 1 nur grob zu segmentieren. Der große homogene Infarkt aus Testdatensatz 2 kann hingegen sehr gut segmentiert werden.

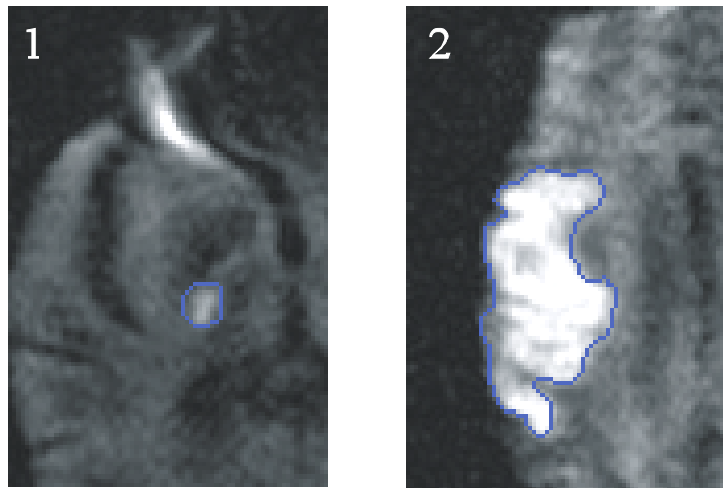


Abbildung 3.3: Vergrößerter Ausschnitt der Segmentierungsergebnisse mit dem Parametersatz 1 von Testdatensatz 1 (Bild 1) und Testdatensatz 2 (Bild 2) mittels SplineSnake-Verfahren. Auffällig ist, dass das SplineSnake-Verfahren den kleinen homogenen Infarkt in Bild 1 nur grob umschließen kann, wohingegen der große homogene Infarkt sehr gut segmentiert wird.

3.3.3 Ergebnistabellen des SplineSnake-Verfahrens im Vergleich mit dem Goldstandard

Die mit dem SplineSnake-Verfahren erzielten Ergebnisse sind in Bezug auf den Goldstandard in Tabelle 4 zusammengefasst. Angegeben sind jeweils richtig positive (Rn), richtige negative (Rp), falsch positive (Fp) und falsch negative (Fn) Werte des SplineSnake-Verfahrens im Vergleich mit dem Goldstandard. Hieraus errechnen sich Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), positiver und negativer Vorhersagewert (posVS, negVS). Zusätzlich wird der Mittelwert und die Standardabweichung des apparenten Diffusionskoeffizienten (mwadc, stdadc) angegeben.

Patient	Schicht	Rn	Rp	Fp	Fn	Se	Sp	posVS	negVS	mwadc	stdadc
1550	20.90	65441	57	36	2	0,97	0,9995	0,61	1,0000	549	209
2631	44.50	64029	1326	142	39	0,97	0,9978	0,90	0,9994	637	271
3867	7.10	64925	401	205	5	0,99	0,9969	0,66	0,9999	466	148
3452	37.80	64914	187	420	15	0,93	0,9936	0,31	0,9998	766	432
1699	18.60	65204	224	90	18	0,93	0,9986	0,71	0,9997	1658	504
1068	7.10	65469	22	27	18	0,55	0,9996	0,45	0,9997	413	98
1068	12.60	64959	305	108	164	0,65	0,9983	0,74	0,9975	1017	345
1068	18.00	65317	143	4	72	0,67	0,9999	0,97	0,9989	503	170
1068	23.50	64572	582	132	250	0,70	0,9980	0,82	0,9961	1114	406
1324	12.40	65404	101	21	10	0,91	0,9997	0,83	0,9998	1024	250
1324	19.00	64938	462	24	112	0,80	0,9996	0,95	0,9983	542	233
1324	25.60	65212	213	86	25	0,89	0,9987	0,71	0,9996	631	304
1324	27.20	65408	83	31	14	0,86	0,9995	0,73	0,9998	548	452
1324	33.80	65392	82	59	3	0,96	0,9991	0,58	1,0000	1422	388
1939	1.00	64966	383	139	48	0,89	0,9979	0,73	0,9993	662	222
1939	5.60	65289	105	72	70	0,60	0,9989	0,59	0,9989	907	100
1939	7.60	64962	373	38	163	0,70	0,9994	0,91	0,9975	600	186
1939	18.80	65285	184	39	28	0,87	0,9994	0,83	0,9996	763	340
1939	25.40	65297	116	96	27	0,81	0,9985	0,55	0,9996	545	96
1939	32.00	65265	130	34	107	0,55	0,9995	0,79	0,9984	558	141
1939	51.80	65490	28	16	2	0,93	0,9998	0,64	1,0000	581	494
1941	3.20	65330	117	63	26	0,82	0,9990	0,65	0,9996	567	202
2027	2.50	65485	39	3	9	0,81	1,0000	0,93	0,9999	719	72
2072	10.30	65315	182	12	27	0,87	0,9998	0,94	0,9996	1131	369
2072	23.50	65339	139	29	29	0,83	0,9996	0,83	0,9996	664	304
2072	30.10	65348	136	31	21	0,87	0,9995	0,81	0,9997	786	264
2072	36.70	65311	172	29	24	0,88	0,9996	0,86	0,9996	1130	393
2072	43.30	65279	193	32	32	0,86	0,9995	0,86	0,9995	1048	528
2217	2.40	65309	154	57	16	0,91	0,9991	0,73	0,9998	568	145
2217	9.00	65303	94	100	39	0,71	0,9985	0,48	0,9994	570	143
2292	65.40	65154	327	31	24	0,93	0,9995	0,91	0,9996	624	414
2292	72.00	65138	355	27	16	0,96	0,9996	0,93	0,9998	489	379
2361	10.60	65399	109	16	12	0,90	0,9998	0,87	0,9998	314	116
2424	3.30	65390	112	22	12	0,90	0,9997	0,84	0,9998	513	105
2424	9.90	65392	105	21	18	0,85	0,9997	0,83	0,9997	503	109
2426	1.20	63863	1223	138	312	0,80	0,9978	0,90	0,9951	867	281
2426	6.70	63444	1697	300	95	0,95	0,9953	0,85	0,9985	796	261
2426	12.20	63346	1792	208	190	0,90	0,9967	0,90	0,9970	754	264
2426	17.70	64200	1052	135	149	0,88	0,9979	0,89	0,9977	605	297
2426	23.20	63677	1398	272	189	0,88	0,9957	0,84	0,9970	851	299
2437	52.70	65161	304	38	33	0,90	0,9994	0,89	0,9995	443	285
2437	59.30	65374	80	51	31	0,72	0,9992	0,61	0,9995	524	407
2628	22.30	65459	51	24	2	0,96	0,9996	0,68	1,0000	410	371
2630	56.10	65414	81	33	8	0,91	0,9995	0,71	0,9999	655	510
2631	11.50	63764	1517	198	57	0,96	0,9969	0,88	0,9991	755	292
2631	18.10	63252	2013	202	69	0,97	0,9968	0,91	0,9989	576	287
2631	24.70	62732	2338	322	144	0,94	0,9949	0,88	0,9977	644	278
2631	31.80	63150	1846	335	205	0,90	0,9947	0,85	0,9968	788	355
2631	37.90	63769	1298	175	294	0,82	0,9973	0,88	0,9954	684	71
2631	51.10	64544	738	134	120	0,86	0,9979	0,85	0,9981	613	307
2631	57.70	64837	454	109	136	0,77	0,9983	0,81	0,9979	863	480
2857	21.10	65182	251	95	8	0,97	0,9985	0,73	0,9999	949	409

Patient	Schicht	Rn	Rp	Fp	Fn	Se	Sp	posVS	negVS	mwadc	stdadc
2857	27.70	65192	276	8	60	0,82	0,9999	0,97	0,9991	792	149
2876	16.80	65234	243	48	11	0,96	0,9993	0,84	0,9998	983	335
2876	23.40	65161	239	129	7	0,97	0,998	0,65	0,9999	725	300
2936	21.30	65465	48	16	7	0,87	0,9998	0,75	0,9999	358	128
2936	27.90	65404	101	4	27	0,79	0,9999	0,96	0,9996	323	152
2946	25.00	65437	63	12	24	0,72	0,9998	0,84	0,9996	209	127
2946	31.60	65452	46	24	14	0,77	0,9996	0,66	0,9998	377	187
3134	6.10	65322	147	17	50	0,75	0,9997	0,90	0,9992	619	143
3134	11.60	65359	133	13	31	0,81	0,9998	0,91	0,9995	638	169
3134	22.60	65443	78	13	2	0,98	0,9998	0,86	1,0000	565	211
3134	28.10	65432	56	11	37	0,60	0,9998	0,84	0,9994	597	208
3134	39.10	65395	73	31	37	0,66	0,9995	0,70	0,9994	888	78
3134	44.60	65406	73	23	34	0,68	0,9996	0,76	0,9995	642	117
3206	30.30	65494	21	1	20	0,51	1,0000	0,95	0,9997	589	209
3206	36.90	65471	42	4	19	0,69	0,9999	0,91	0,9997	783	434
3293	55.80	65490	22	6	18	0,55	0,9999	0,79	0,9997	566	162
3369	26.50	64945	403	135	53	0,88	0,9979	0,75	0,9992	965	458
3369	33.10	64272	1045	63	156	0,87	0,9990	0,94	0,9976	791	321
3369	39.70	63929	1104	144	359	0,75	0,9978	0,88	0,9944	902	139
3369	46.30	64091	1125	136	184	0,86	0,9979	0,89	0,9971	722	82
3369	52.90	65139	251	27	119	0,68	0,9996	0,90	0,9982	732	188
3369	59.50	65034	332	66	104	0,76	0,9990	0,83	0,9984	784	137
3369	66.10	65266	228	11	31	0,88	0,9998	0,95	0,9995	942	253
3369	72.70	65382	114	2	38	0,75	1,0000	0,98	0,9994	887	305
3526	9.90	65457	40	3	36	0,53	1,0000	0,93	0,9995	874	263
3526	15.40	65296	177	26	37	0,83	0,9996	0,87	0,9994	1050	320
Mittelwert						0,82	0,9988	0,80	0,9990	713	261,04
Standardabweichung						0,12	0,0014	0,13	0,0012	243,6	122,87

Tabelle 4: Ergebnisse des SplineSnake-Verfahrens in Bezug auf den Goldstandard. Dargestellt sind richtig negative (Rn), richtig positive (Rp), falsch positive (Fp) und falsch negative (Fn) Werte, sowie die hieraus errechnete Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), positiver und negativer Vorhersagewert (posVS, negVS). Zusätzlich sind der Mittelwert und die Standardabweichung des apparenten Diffusionskoeffizienten (mwadc, stdadc) angegeben. Als Parameter für die Bildenergie wurde „100% Gradient“ gewählt (siehe Kap. 3.3.2). Am Ende der Tabelle sind der Mittelwert und die Standardabweichung über die gesamten Datensätze angegeben. Die Patientenummer ergibt sich aus dem Untersuchungsprotokoll.

3.4 Vergleich des klassischen Snake-Verfahrens mit dem SplineSnake-Verfahren

Mittels einer Statistiksoftware (SPSS™ Version 12.0) wurden die Ergebnisse des klassischen Snake-Verfahrens und des SplineSnake-Verfahrens mit einer Stichprobenanzahl von 78 auf signifikante Unterschiede untersucht (T-Test). Die Ergebnisse des Vergleiches sind in Tabelle 5 dargestellt.

Parameter	klassischer Snake	SplineSnake	Signifikanz
Sensitivität	0,75 ± 0,12	0,82 ± 0,12	<0,001
Spezifität	0,9987 ± 0,0012	0,9988 ± 0,0013	0,929
positiver Vorhersagewert	0,77 ± 0,13	0,80 ± 0,13	0,035
negativer Vorhersagewert	0,9986 ± 0,0015	0,9989 ± 0,0012	<0,001

Tabelle 5: Vergleich des klassischen Snake-Verfahrens mit dem SplineSnake-Verfahren.

Das SplineSnake-Verfahren ist signifikant besser als das klassische Snake-Verfahren, sowohl in der Sensitivität (75% klassischer Snake, 82% SplineSnake, $p < 0,001$) als auch im positiven Vorhersagewert (77% klassischer Snake, 80% SplineSnake, $p = 0,035$). Spezifität und negativer Vorhersagewert variieren bei beiden Verfahren um 99%, aufgrund der niedrigen Anzahl der Infarktpixel im Vergleich zu den Gesamtpixeln der magnetresonanztomographischen Aufnahmen.

3.5 Vergleich der Snake-Verfahren mit einer automatischen histogrammbasierten Segmentierung

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten magnetresonanztomographischen Daten wurden bereits mit automatischen histogrammbasierten Verfahren von der Arbeitsgruppe Braun et al. ausgewertet und mit dem Goldstandard verglichen [3, 5, 42]. Mittels der Statistiksoftware (SPSS™ Version 12.0) wurden die Ergebnisse der automatischen histogrammbasierten Segmentierung und der vorgestellten Snake-Verfahren mit einer Stichprobenanzahl von 64 auf signifikante Unterschiede untersucht (T-Test). Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Tabelle 6 dargestellt.

Parameter	automatische Segmentierung	klassischer Snake	Sign.¹	SplineSnake	Sign.²
Sensitivität	0,59 ± 0,20	0,75 ± 0,12	<0,001	0,83 ± 0,11	<0,001
Spezifität	0,9999 ± 0,0090	0,9988 ± 0,0013	0,242	0,9988 ± 0,0012	0,219
positiver Vorhersagewert	0,80 ± 0,21	0,78 ± 0,13	0,761	0,82 ± 0,11	0,359
negativer Vorhersagewert	0,9932 ± 0,0350	0,9985 ± 0,0016	0,233	0,9989 ± 0,0012	0,198

Tabelle 6: Vergleich der automatischen, histogrammbasierten Segmentierung mit den vorgestellten Snake-Verfahren. Sign.¹: Signifikanz im Vergleich der automatischen Segmentierung mit dem klassischen Snake-Verfahren. Sign.²: Signifikanz im Vergleich der automatischen Segmentierung mit dem SplineSnake-Verfahren.

Das klassische Snake-Verfahren ist in der Sensitivität signifikant besser als die automatische Segmentierung (75% klassischer Snake, 59% automatische Segmentierung, $p < 0,001$). Das SplineSnake-Verfahren ist ebenfalls in der Sensitivität signifikant besser als die automatische Segmentierung (83% SplineSnake-Verfahren, 59% automatische Segmentierung, $p < 0,001$). In der Spezifität und im positiven und negativen Vorhersagewert zeigen sich sowohl im Vergleich der automatischen Segmentierung mit dem klassischen Snake-Verfahren als auch im Vergleich der automatischen Segmentierung mit dem SplineSnake-Verfahren keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 7 zeigt den Vergleich des gemittelten apparenten Diffusionskoeffizienten (ADC) über allen segmentierten Infarktgebieten zwischen dem durch einen Radiologen manuell segmentierten Goldstandard, der automatischen Segmentierung, dem klassischen Snake- und dem SplineSnake-Verfahren.

Vergleich Mittelwert / Std. des apparenten Diffusionskoeffizienten (ADC)			
Goldstandard	automatische Segmentierung	klassischer Snake	SplineSnake
724 ± 285	698 ± 336	692 ± 245	712 ± 243

Tabelle 7: Vergleich des gemittelten apparenten Diffusionskoeffizienten (ADC) über allen segmentierten Infarktgebieten zwischen dem Goldstandard, der automatischen histogrammbasierten Segmentierung, dem klassischen Snake- und dem SplineSnake-Verfahren in $\mu\text{m}^2/\text{s}$.

Das SplineSnake-Verfahren zeigt im Vergleich zum Goldstandard den höchsten gemittelten ADC, welcher nahe am Goldstandard liegt (712 $\mu\text{m}^2/\text{s}$ SplineSnake-Verfahren, 724 $\mu\text{m}^2/\text{s}$ Goldstandard). Die Ergebnisse des gemittelten ADC liegen bei der automatischen histogrammbasierten Segmentierung und beim klassischen Snake-Verfahren etwa auf gleichem Niveau (698 $\mu\text{m}^2/\text{s}$ automatische Segmentierung, 692 $\mu\text{m}^2/\text{s}$ klassischer Snake). Die Standardabweichung des gemittelten ADC ist beim SplineSnake-Verfahren am geringsten und bei der automatischen Segmentierung am höchsten. Signifikante Unterschiede sind beim gemittelten ADC zwischen den untersuchten Verfahren nicht vorhanden.