

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### **4.1 Räumliche und zeitliche Muster der benthischen Besiedlung auf den Substratplatten**

#### **4.1.1 Material**

Von den Besiedlungsexperimenten aus dem Untersuchungszeitraum von 1992 bis 1996 standen aus 10 und 20 m Tiefe jeweils vollständige Plattensätze zur Auswertung zur Verfügung.

Auf die Auswertung der EES Platten wurde verzichtet, da die Akkretion dieser Platten sehr Brucit- haltig war und besonders die langen Expositionszeiten nur stark angegriffen überstanden. Zum Zeitpunkt der Herstellung waren die Titananoden noch nicht verfügbar, so dass die Platten mit zentralen Graphitanoden bestromt werden mußten, ein Design, welches eine homogenen Feldausbildung auf der planen Kathode kaum zuließ (siehe Kap. 2.1.1.4). Zudem war über die simultane Exposition der wesentlich besser akkretierten EES- Zylinder nach wie vor ein Vergleich aller drei Substrattypen möglich. Die konzentrische Anordnung der Zylinderkathode um die zentrale Graphitanode ermöglichte hier durchaus die Erzeugung eines weitgehend homogenen Feldes und Akkretion ohne störende Brucitanteile.

Pro Entnahmeterrain (0,5, 1, 1,5, 2, 3,5 Jahre) stand aus 10 und 20 m Tiefe pro Substrattyp mindestens ein Satz von Substratplatten zur Verfügung, insgesamt gingen 63 Platten (eine Platte ging verloren) mit Ober- und Unterseite in die Auswertung ein.

Mit Ausnahme der einjährigen Exponate wurden alle Platten zum gleichen Zeitpunkt ausgebracht und unterscheiden sich daher nicht in Bezug auf den Starttermin des Experimentes. Die einjährigen Platten wurden später exponiert, als schon Platten entnommen worden waren und so Platz für weitere Substrate auf den Gestellen vorhanden war (Zur genauen Orientierung der Platten und Simultanität der Expositionszeiten siehe Kap. 2.1.2.1).

Die 126 Plattenoberflächen wurden auf Besiedlung durch Fouling-Organismen hin untersucht. Zur Auswertung wurde auf jede Oberfläche ein Rahmen von 25 x 25 cm gelegt und die von diesem Rahmen umschlossene Oberfläche ausgewertet. Auf diese Weise konnten Randeffekte weitgehend ausgeschlossen werden. In Kapitel 4.5 wird eingehend auf die Bedeutung von schwer beweidbaren Substratflächen eingegangen.

625 cm<sup>2</sup> jeder Platte wurden fotografiert, digitalisiert, sessile Organismen soweit als möglich determiniert und Flächenanteile an der Besiedlung über ein computergestütztes, interaktives Bildanalysesystem (LUCIA M, Nikon) vermessen.

Für die weitere Auswertung wurden 12 Taxa unterschieden, die farblich kodiert auf den digitalen Vorlagen eingezeichnet wurden. Die Zusammenfassung zum Teil artenreicher Gruppen wie der Bryozoa und Porifera zu „Sammeltaxa“ maskiert möglicherweise spezifische Unterschiede, war jedoch angesichts der zum Teil

schwierigen und aufwendigen Präparationstechniken nicht trennschärfer zu bearbeiten. Besonders betroffene Taxa, wie die Bryozoa wurden am Beispiel der EES-Zylinder detaillierter bis auf Gattungsniveau bearbeitet (siehe Kapitel 4.3).

Die Besiedlungsmuster jeder Plattenseite wurde auf der Basis der Flächenanteile dieser 12 Taxa sowie der Kategorie „unbesiedelt“ verglichen. Hierzu wurde als Maß die Dominanzidentität nach Renkonen modifiziert. Während die Quantität einzelner Taxa normalerweise über Individuenzahlen in die Berechnung der Renkonenzahl integriert wird, wurden im folgenden die prozentualen Flächenanteile als quantitatives Maß herangezogen. Der relative Charakter der prozentualen Flächenanteile entbindet sowohl von der schwierigen Abgrenzung der Individualität bei kolonialen Organismen sowie von der problematischen Gewichtung einzelner Individuen.

Als Grundlage für die weitere Auswertung dienten die folgenden farblich kodierten Karten.

### Farbcodierung der Plattenkarten



### Verwandte Abkürzungen:

B = Betonplatte  
 K = Korallenplatte  
 H = horizontal ausgerichtet  
 V = vertikal ausgerichtet  
 N = nach Norden orientiert bzw. vom Licht abgewandt  
 S = nach Süden orientiert bzw. dem Licht zugewandt

### Beispiel der Plattenkodierung:

10bsh073 = Exposition in 10m Tiefe, Betonsubstratplatte, nach Süden ausgerichtet bzw. belichtete Seite, horizontal orientiert, entnommen im Juli 1993.

Wurde zu einem Termin mehr als eine Platte pro Orientierung und Substrattyp entnommen, wurde die Angabe um Buchstaben ergänzt, z.B. 10bsh073d.

### Abbildungen der folgenden Seiten:

**Farbtafel 1:** Besiedlungsplatten aus 10 m Tiefe, 0,5 Jahre exponiert.

**Farbtafel 2:** Besiedlungsplatten aus 10 m Tiefe, 1 Jahr exponiert.

**Farbtafel 3:** Besiedlungsplatten aus 10 m Tiefe, 1,5 Jahre exponiert.

**Farbtafel 4:** Besiedlungsplatten aus 10 m Tiefe, 2 Jahre exponiert.

**Farbtafel 5:** Besiedlungsplatten aus 10 m Tiefe, 3,5 Jahre exponiert.

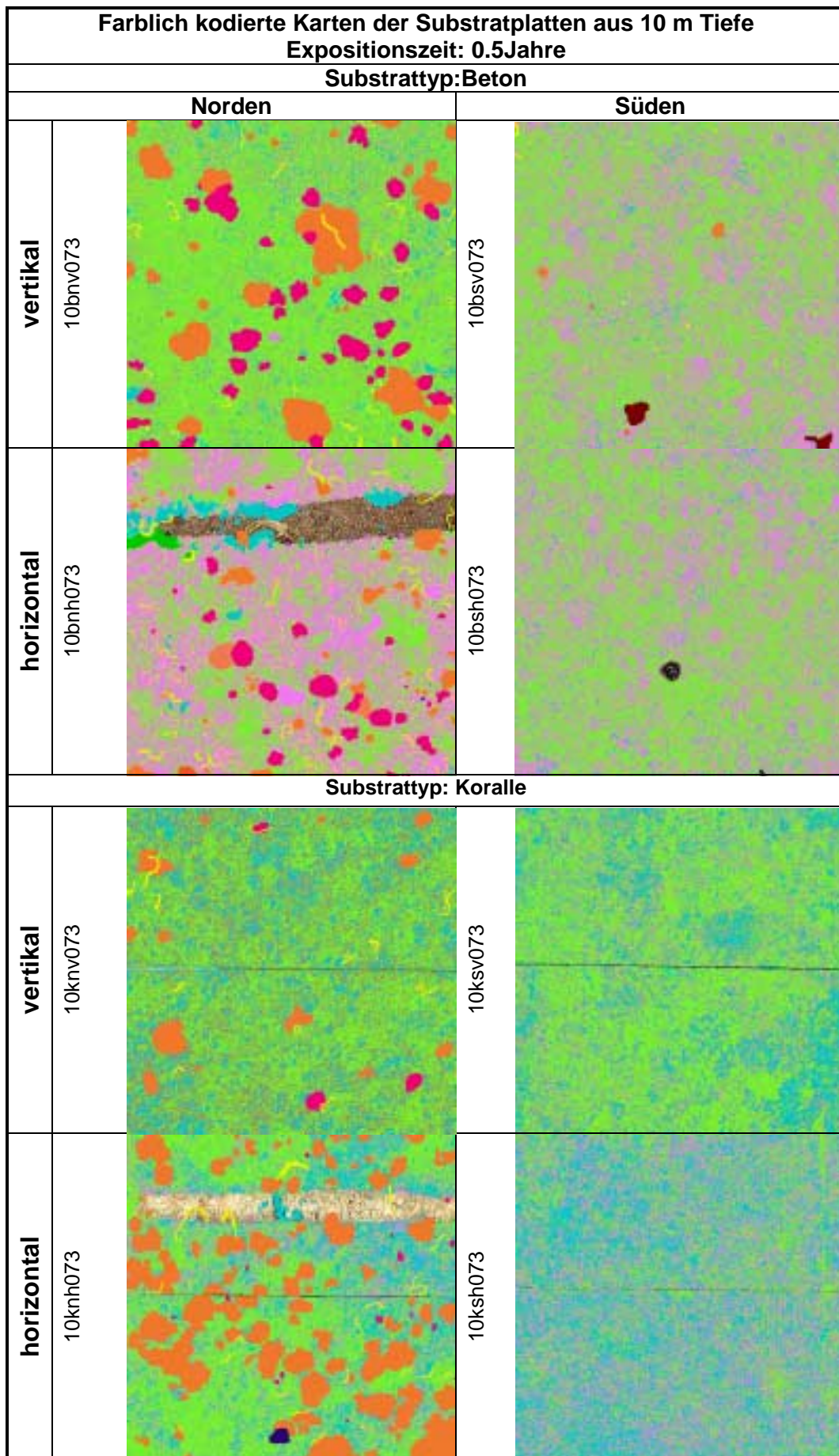
**Farbtafel 6:** Besiedlungsplatten aus 20 m Tiefe, 0,5 Jahre exponiert.

**Farbtafel 7:** Besiedlungsplatten aus 20 m Tiefe, 1 Jahr exponiert.

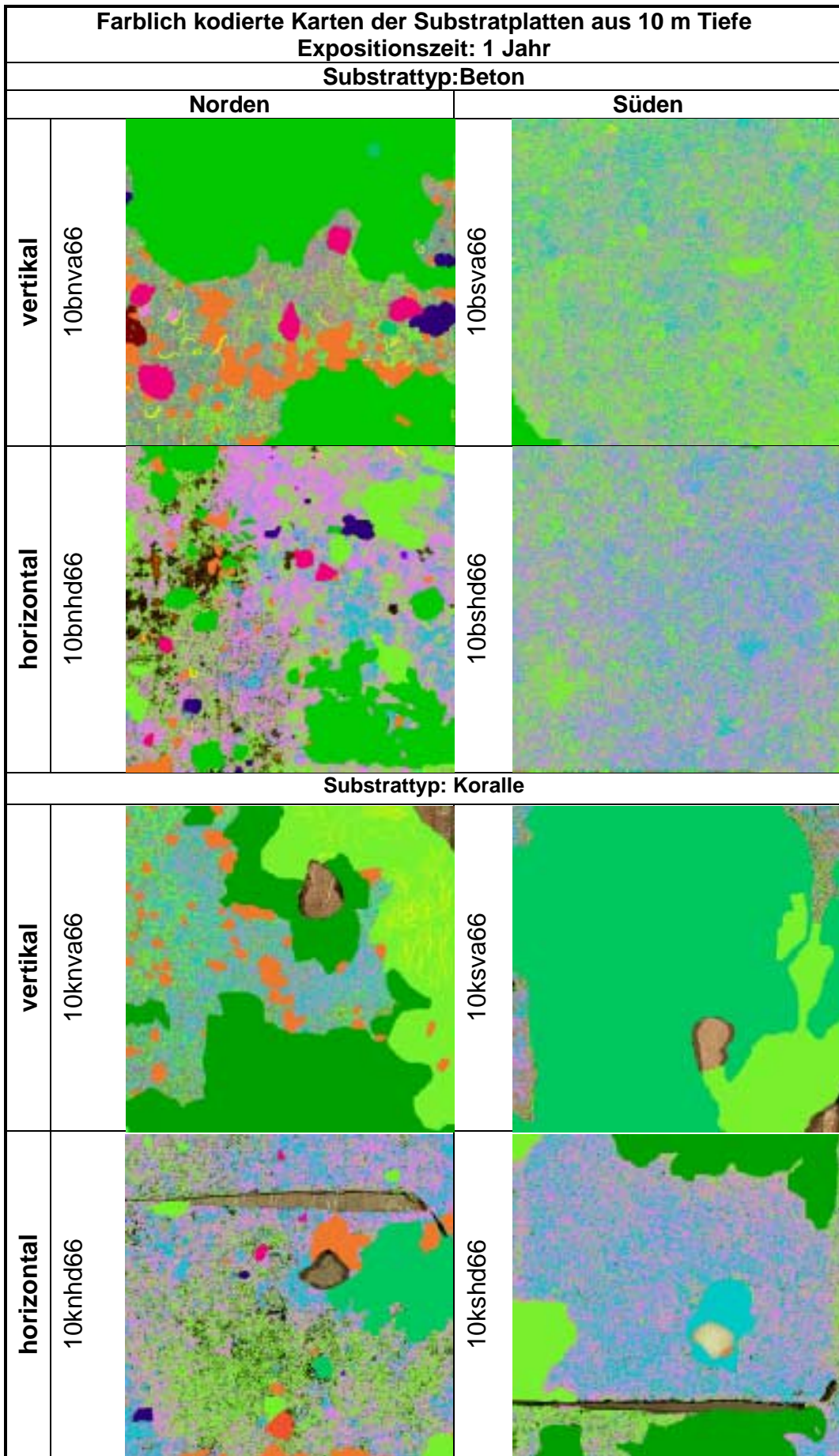
**Farbtafel 8:** Besiedlungsplatten aus 20 m Tiefe, 1,5 Jahre exponiert.

**Farbtafel 9:** Besiedlungsplatten aus 20 m Tiefe, 2 Jahre exponiert.

**Farbtafel 10:** Besiedlungsplatten aus 20 m Tiefe, 3,5 Jahre exponiert.

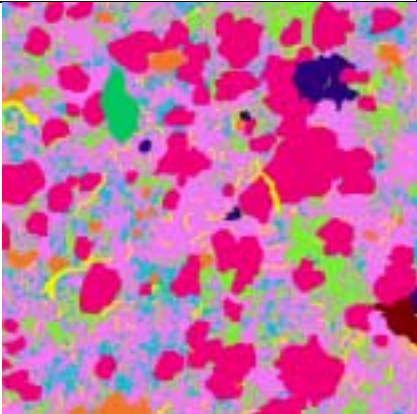

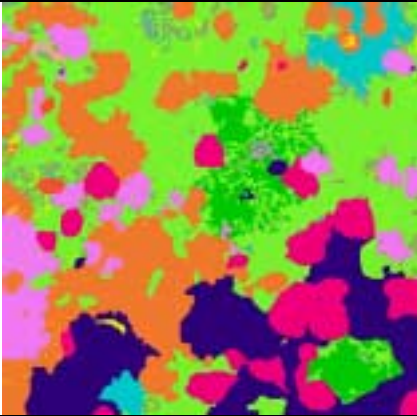
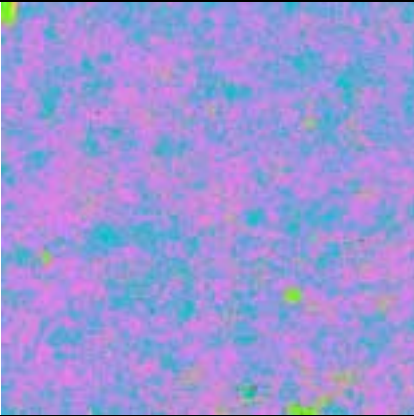
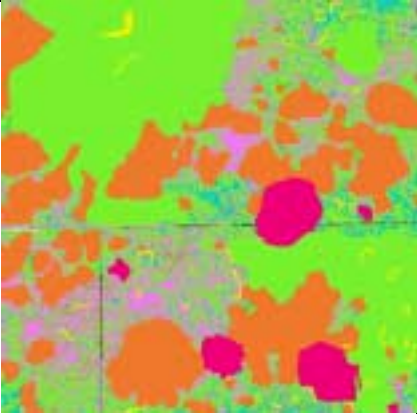

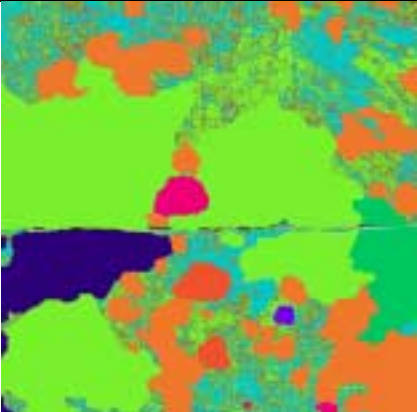



Farbtafel 1

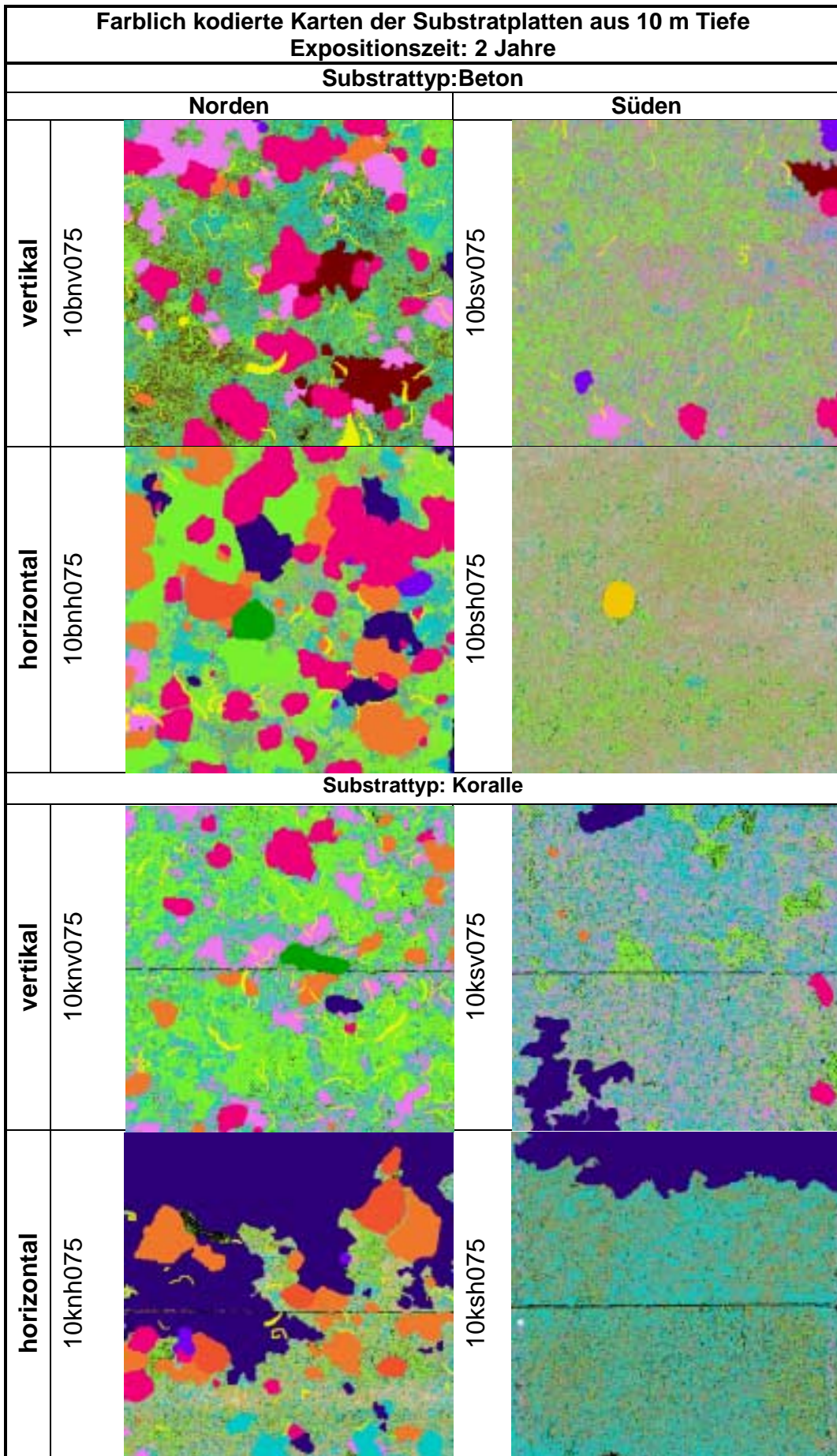


Farbtafel 2

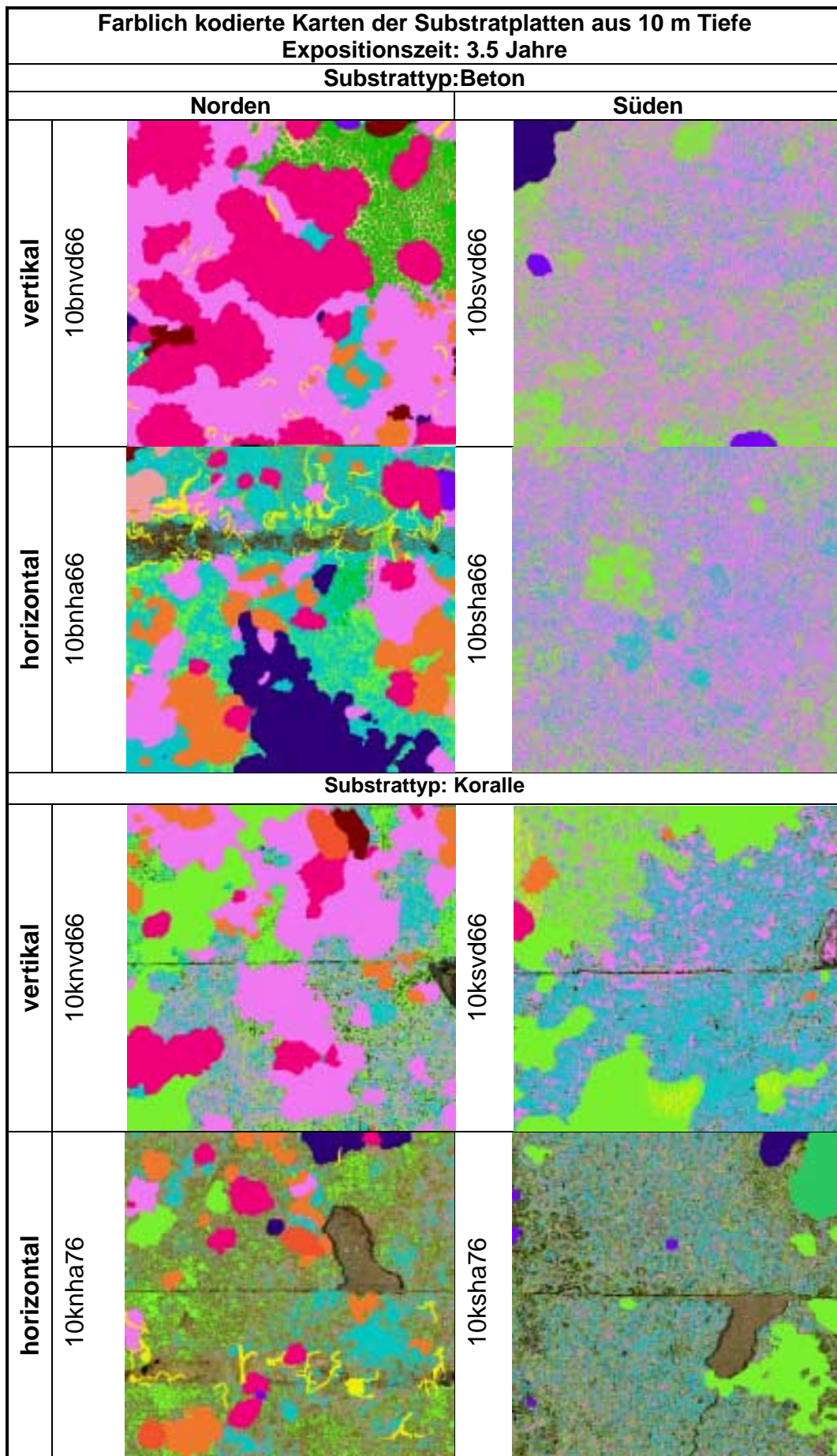


Farblich kodierte Karten der Substratplatten aus 10 m Tiefe			
Expositionszeit: 1.5 Jahre			
Substrattyp: Beton			
		Norden	Süden
vertikal	10bnv036		
horizontal	10bnh036		
Substrattyp: Koralle			
vertikal	10knav036		
horizontal	10knh036		

Farbtafel 3

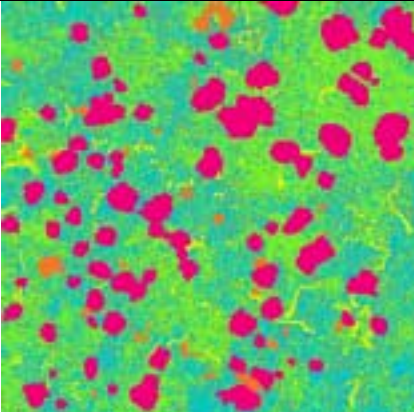
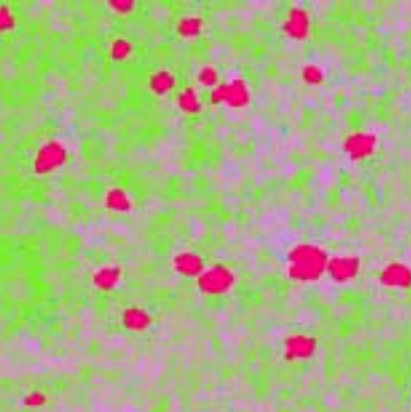
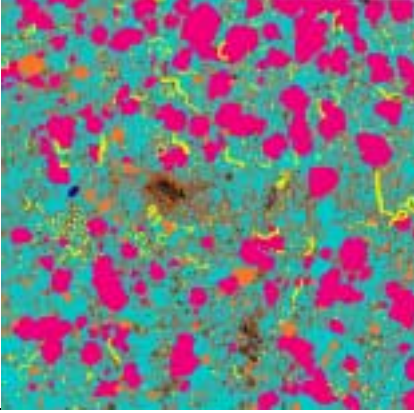
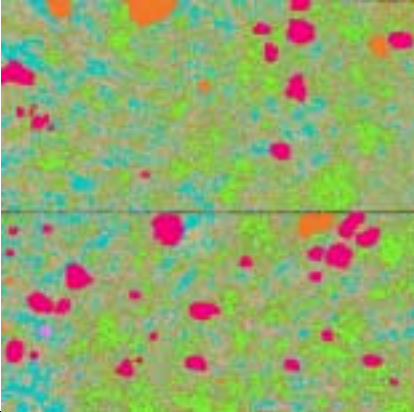
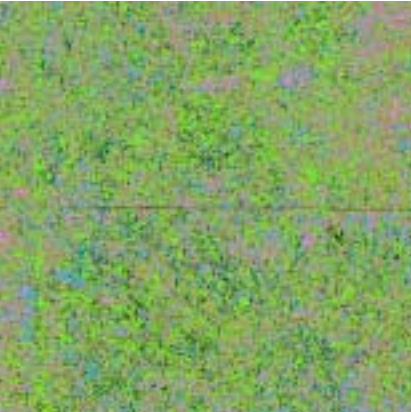
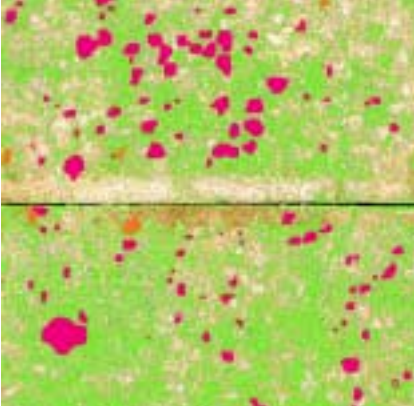


Farbtafel 4


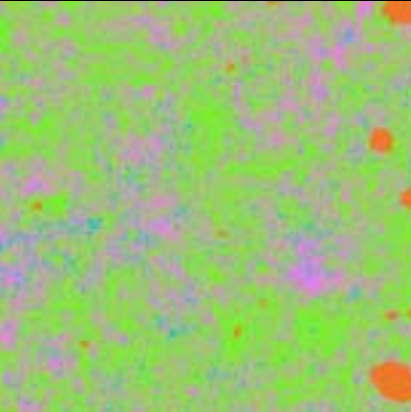
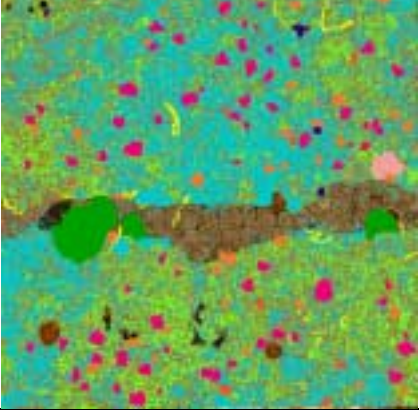
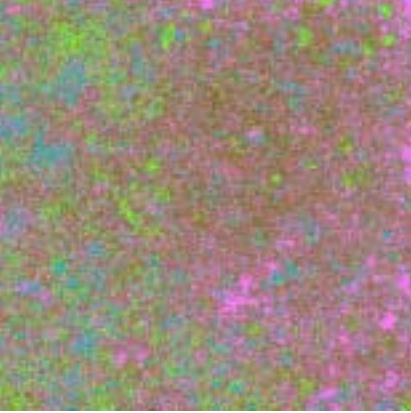
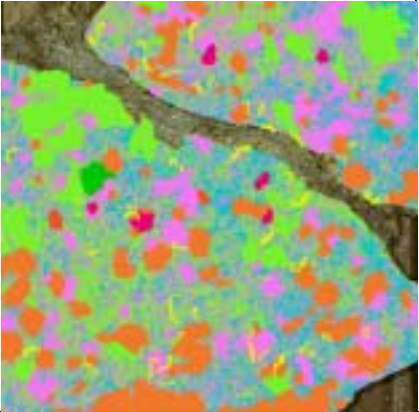
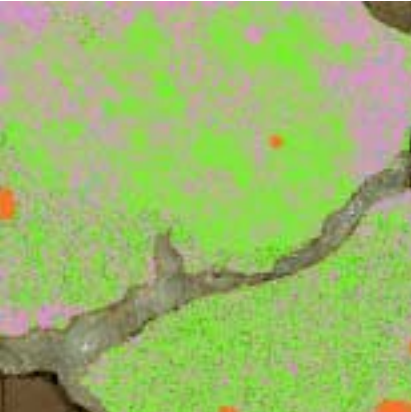
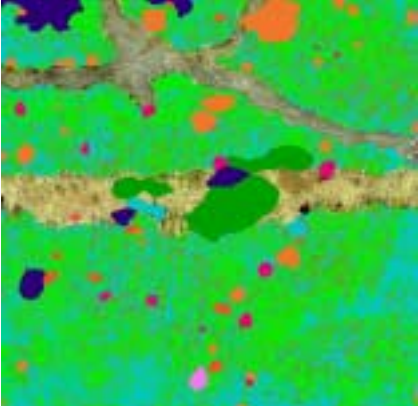



Farbtafel 5

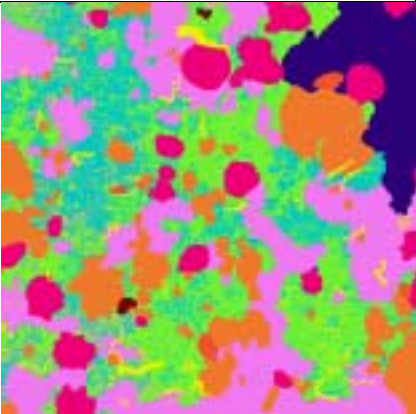

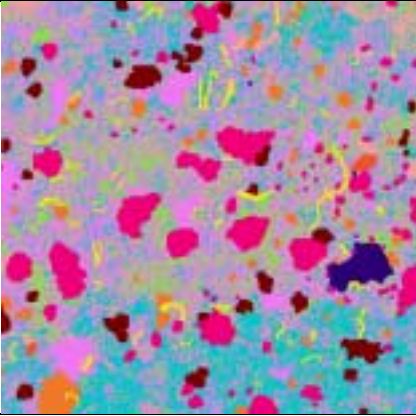

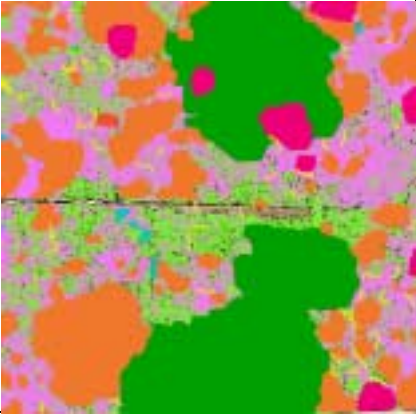

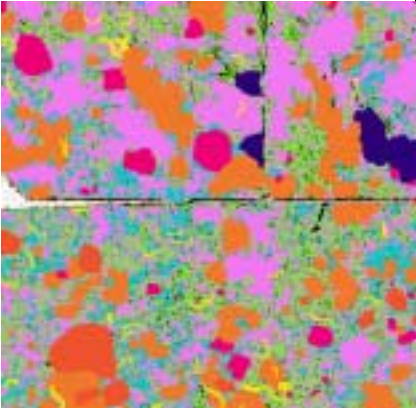
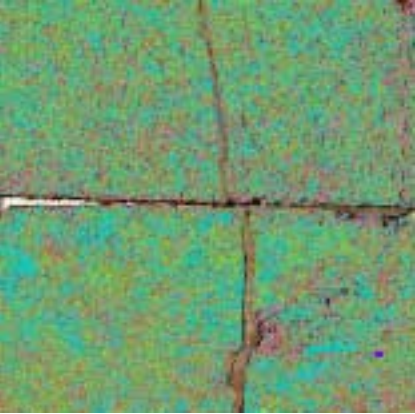


Farblich kodierte Karten der Substratplatten aus 20 m Tiefe				
Expositionszeit: 0.5 Jahre				
Substrattyp: Beton				
		Norden	Süden	
vertikal	20bnv073		20bsv073	
	horizontal	20bnh073		20bsh073
Substrattyp: Koralle				
vertikal	20knv073		20ksv073	
	horizontal	20knh073		20ksh073

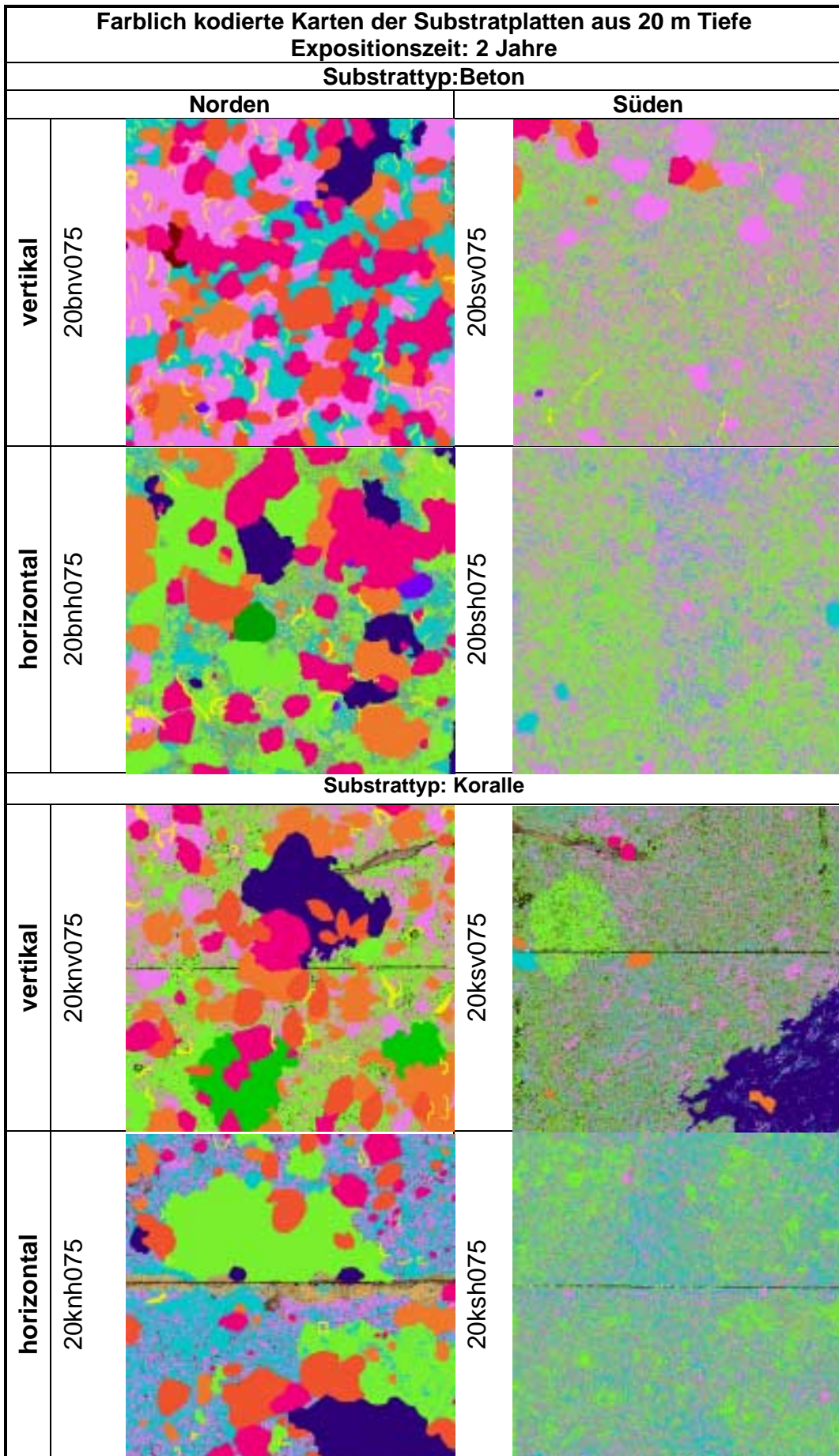
Farbtafel 6

Farblich kodierte Karten der Substratplatten aus 20 m Tiefe			
Expositionszeit: 1 Jahr			
Substrattyp: Beton			
		Norden	Süden
vertikal	20bnva76		
horizontal	20bnhd76		
Substrattyp: Koralle			
vertikal	20knva76		
horizontal	20knhd76		

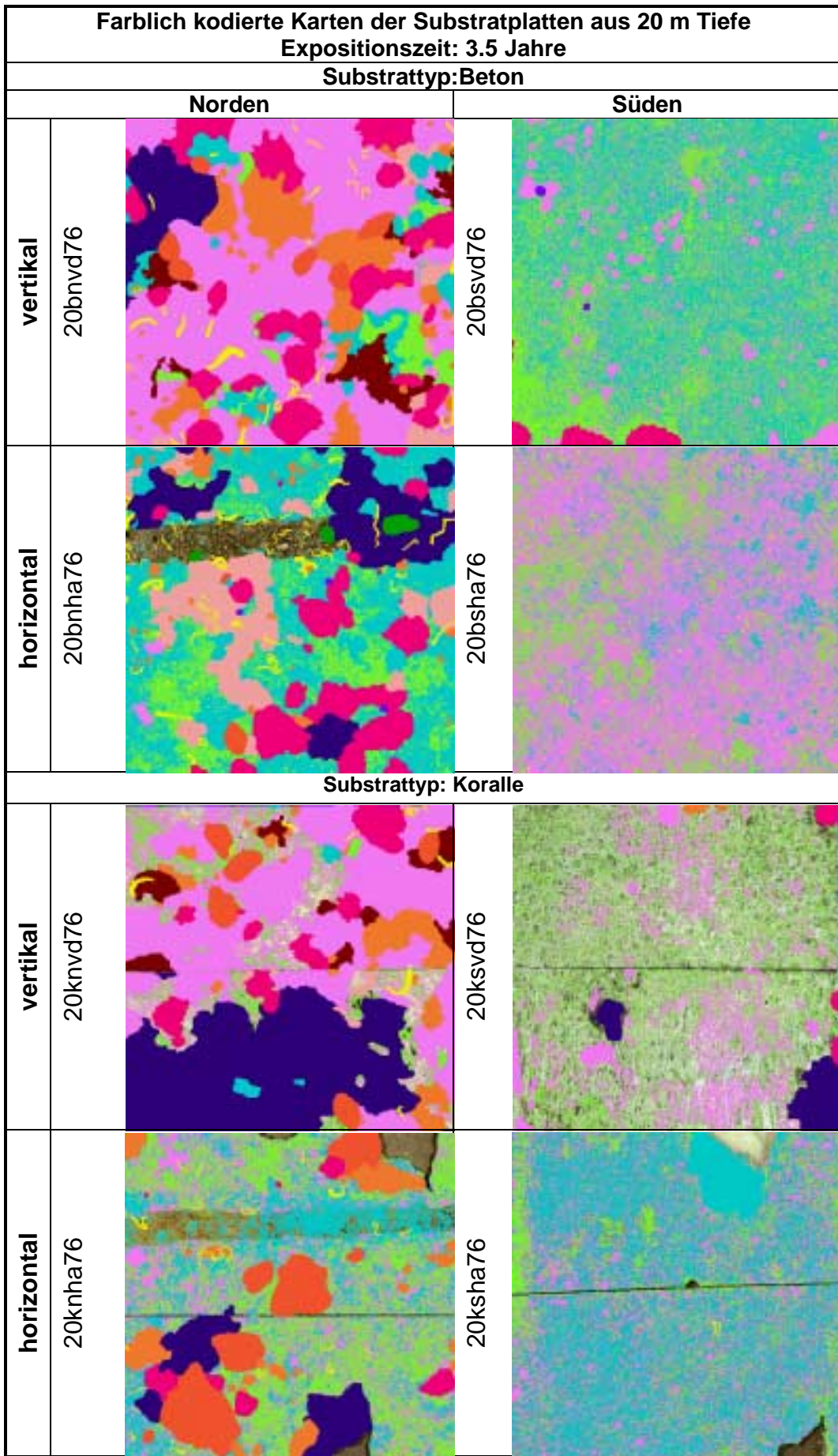
Farbtafel 7

Farblich kodierte Karten der Substratplatten aus 20 m Tiefe			
Expositionszeit: 1.5 Jahre			
Substrattyp: Beton			
		Norden	Süden
vertikal	20bnv026		
horizontal	20bnh026		
Substrattyp: Koralle			
vertikal	20knv026		
horizontal	20knh026		

Farbtafel 8



Farbtafel 9



Farbtafel 10

#### 4.1.2 Generelle Muster der benthischen Besiedlung

Bei beiden zu vergleichenden Substrattypen Beton (B) und Korallenkalk (K) waren unabhängig von der Expositionsdauer und Orientierung der Platten (H und V) jeweils die unbelichteten Oberflächen (N) schneller und diverser besiedelt als die belichteten Oberflächen (S) (vgl. Farbtafeln 1- 10). Besonders augenfällig war der Unterschied zwischen den HN- und HS- Plattenoberflächen. Abgesehen von korallinen Algen, filamentösen Grünalgen und krustenbildenden Foraminifera fanden sich auch nach 3,5 Jahren praktisch keine anderen benthischen Taxa auf den HS-Platten. Das beschattete Pendant (HN) war in der Regel artenreich besiedelt. Die Besiedlungsmuster der vertikalen Plattenoberflächen (V) zeigten im Prinzip den gleichen Trend, wenngleich die Unterschiede weniger drastisch ausfielen. Wieder waren die beschatteten Flächen (N) diverser besiedelt als die belichteten (S).

Einige Taxa wurden fast ausschließlich auf Plattenoberflächen bestimmter Orientierung gefunden. So fanden sich beispielsweise Bryozoa mit Flächenanteilen von bis zu 24 % nur auf den beschatteten Plattenseiten. Auf den belichteten Plattenseiten wurden lediglich Flächenanteile von maximal 1,92 % erreicht (20 m BVS, 1 Jahr Expositionszeit).

Ähnliche Muster zeigten die Bivalvia (Gryphaeidae, Spondylidae), die auf den HS-Platten nie nachgewiesen wurden. Die Muscheln zeigten auf den VS-Oberflächen deutlich geringere Abundanzen als auf den HN- und VN-Platten. Speziell Gryphaeidae zeigten zudem eine Präferenz für die Betonsubstrate mit maximalen Flächenanteilen von bis zu 38,6 % (10 m BNH, 3,5 Jahre exponiert). Auf Korallensubstraten wurden maximal 8% erreicht.

Porifera konnten sich ebenfalls vornehmlich auf den beschatteten Substratflächen etablieren. Auf belichteten, horizontal orientierten Flächen (HS) wurde lediglich nach 3,5 Jahren auf dem 10 m- Korallensubstrat ein Schwamm nachgewiesen (0,93 % Flächenanteil). Auch auf den vertikal orientierten belichteten Substratplatten fehlten die Schwämme bis auf zwei 3,5 Jahre exponierte Proben (10 m BVS und 20 m KVS).

Ein Taxon mit offenbar hoher Toleranz gegenüber Beweidung waren inkrustierende Foraminifera (cf. *Acervulina*). Foraminifera wurden auf allen zum Licht hin orientierten Platten nachgewiesen und bedeckten gemeinsam mit den Grünalgen die größten Flächenanteile. Ein möglicherweise entscheidender Konkurrenzvorteil der Foraminiferen besteht in ihrer Fähigkeit, ihre Skelette nicht ausschließlich aus Kalziumkarbonat, sondern aus Magnesium-haltigem Dolomit zu bilden. Dieses Mischsubstrat kann von bioerodierenden Endolithen, die mittels Kohlensäure den Kalk mariner Invertebratenskelette angreifen, möglicherweise nicht effizient gelöst werden. Eine "Präerodierung" durch Mikrobohrer und spätere mechanische Erosion durch Makroweidegänger (Echinodermata und Fische) würde so behindert.

In Tabelle 4 und 5 wurden die Flächenanteile der verschiedenen Taxa [%] auf den unterschiedlich lang exponierten Platten aufgetragen.

		Koralle										
		10m					20m					
Expositionszeit		0.5	1	1.5	2	3.5	0.5	1	1.5	2	3.5	
h o r i z o n t a l	b e s c h a t t e t	Asciacea		8,87					3,45			
		Spondyliidae		0,49		0,38	1,45		0,51		7,56	10,61
		Gryphaeidae	0,30	0,23	3,31	4,32	3,69	6,03	0,74	4,54	4,37	2,33
		Röhrenwürmer	0,94		1,00	0,52	2,23			0,31	0,58	0,73
		Bryozoa	24,58	3,77	16,86	9,13	5,77	0,36	3,34	8,10	7,77	5,66
		Scleractinia		0,02	0,02	0,07	0,08			0,10	0,13	
		Porifera	0,23	0,27	2,09		2,04		2,29			6,23
		Foraminifera	9,86	30,95	28,60	16,48	5,57		0,18	17,32	25,10	19,77
		Corallinacea (rot)	16,89	12,02	8,57	22,94	10,01		22,84	7,86	16,96	18,46
		Corallinacea (weiß)								0,08		
		Braunalgen										
		Grünalgen	39,06	29,51	32,73	45,47	21,01	37,12	34,01	27,02	31,60	27,08
freies Substrat	8,13	13,86	6,83	0,70	48,15	56,48	32,65	34,67	5,94	9,14		
b e l i c h t e t	b e l i c h t e t	Asciacea		17,09								
		Spondyliidae										
		Gryphaeidae										
		Röhrenwürmer				0,84						0,05
		Bryozoa		0,06								
		Scleractinia					0,43					
		Porifera					0,93					
		Foraminifera	30,50	32,03	35,31	15,72	14,02		27,04	41,76	21,37	26,16
		Corallinacea (rot)	35,39	23,81	11,92	53,57	16,52	18,24	13,90	13,48	38,84	43,89
		Corallinacea (weiß)										
		Braunalgen										
		Grünalgen	32,04	20,18	22,99	23,83	21,25	30,24	15,01	20,24	6,32	16,05
freies Substrat	2,07	6,82	29,78	6,04	46,85	51,52	44,05	24,52	33,48	13,85		
v e r t i k a l	b e s c h a t t e t	Asciacea		35,34					0,40			
		Spondyliidae				0,12	1,30		0,24	0,26	0,19	3,47
		Gryphaeidae	0,58		5,93	2,35	8,12	5,12	0,61	4,90	5,13	5,46
		Röhrenwürmer	0,69	1,66	0,38	1,98			1,38	0,45		0,71
		Bryozoa	3,06	5,64	7,24	12,46	4,48	1,61	14,38	9,91	15,27	5,85
		Scleractinia										
		Porifera			0,06	0,85					2,99	28,01
		Foraminifera		5,26	37,22	24,17	30,95	0,06	27,30	12,84	38,03	38,61
		Corallinacea (rot)	19,08	11,97	14,57	7,83	10,45	13,63	14,23	6,36	2,96	0,67
		Corallinacea (weiß)										0,62
		Braunalgen					1,00					3,89
		Grünalgen	46,04	29,82	27,62	48,54	28,26	23,22	27,97	27,43	24,06	6,20
freies Substrat	30,55	10,31	6,98	1,70	15,45	56,37	13,50	37,85	11,37	6,51		
b e l i c h t e t	b e l i c h t e t	Asciacea		75,09								
		Spondyliidae										
		Gryphaeidae					0,73					0,80
		Röhrenwürmer			0,22		1,16			0,05		
		Bryozoa		0,14			1,03		0,93			0,26
		Scleractinia										
		Porifera										3,45
		Foraminifera	10,23	1,83	41,15	27,09	26,72	14,45	26,81	23,11	23,92	13,14
		Corallinacea (rot)	23,10	1,57	13,94	36,50	30,47	8,65	1,43	5,14	9,54	
		Corallinacea (weiß)										
		Braunalgen										
		Grünalgen	54,94	13,90	33,01	15,80	33,80	36,47	49,06	36,03	16,66	19,18
freies Substrat	11,73	7,62	11,53	20,61	6,09	40,43	21,77	35,68	49,87	63,15		

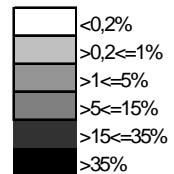


Tabelle 4: Flächenanteile der verschiedenen Taxa an der Besiedlung der Substratplatten aus Korallenkalk über die verschiedenen Expositionszeiten.

		Beton										
		10m					20m					
		Expositionszeit										
		0.5	1	1.5	2	3.5	0.5	1	1.5	2	3.5	
h o r i z o n t a l	b e s c h a t t e	Ascidiacea	0,57	16,86			0,89		2,29			0,85
		Spondylidae	0,18					0,10	0,33	0,53	2,32	0,61
		Gryphaeidae	2,85	0,82	30,10	23,66	6,14	23,85	3,47	10,34	29,32	12,59
		Röhrenwürmer	4,25	0,15	1,60	1,48	3,50	3,18	0,78	1,53	1,19	2,61
		Bryozoa	3,45	2,35	17,53	6,42	13,53	2,66	1,74	6,53	4,83	1,85
		Scleractinia	0,01	0,09	0,09	0,23	0,59			0,15	0,14	0,13
		Porifera		1,00	2,65	10,24	13,98	0,06	0,15	0,02	13,87	12,85
		Foraminifera	40,35	32,09	31,37	31,58	13,41					0,46
		Corallinacea (rot)	0,11	0,09			1,96	37,65	29,15	33,70	2,36	34,54
		Corallinacea (weiß)	2,41	7,02	7,41	0,39	30,15		0,35		4,39	12,67
		Braunalgen				4,79	0,22					
		Grünalgen	33,19	30,18	8,82	20,83	8,80		21,53	13,39	27,29	14,05
freies Substrat	12,64	9,34	0,45	0,37	6,83	32,51	40,22	33,82	14,29	6,77		
b e l i c h t e	b e l i c h t e	Ascidiacea		0,12								
		Spondylidae										
		Gryphaeidae										
		Röhrenwürmer					0,09		0,15	0,30		0,35
		Bryozoa										
		Scleractinia										
		Porifera										
		Foraminifera	37,63	41,73	30,17	43,15	59,57	52,62	27,05	48,27	50,69	62,57
		Corallinacea (rot)						1,36	8,16	4,23	4,80	11,07
		Corallinacea (weiß)	4,05	25,03	6,91	6,52	18,47					
		Braunalgen										
		Grünalgen	56,78	29,64	50,09	47,39	20,96	44,69	11,41	46,16	13,25	24,87
freies Substrat	1,54	3,47	12,83	2,94	0,90	1,33	53,23	1,04	31,26	1,13		
v e r t i k a l	b e s c h a t t e	Ascidiacea		52,99			8,88		3,40			
		Spondylidae			0,02	0,35			0,14	0,33	0,51	2,42
		Gryphaeidae	7,29	2,90	33,72	32,75	38,62	17,16	6,23	36,62	26,73	15,42
		Röhrenwürmer	0,92	0,83	1,68	1,11	0,89	1,96	1,99	1,99	2,03	1,48
		Bryozoa	11,65	9,27	1,49	7,87	2,67	1,68	14,61	8,13	2,42	11,57
		Scleractinia		0,01		0,06	0,25					
		Porifera		1,25	0,30		0,44				3,28	5,87
		Foraminifera	0,07	5,84	1,93	25,48	37,45		16,10	1,92	10,98	40,94
		Corallinacea (rot)						30,50	8,88	28,88	29,04	5,89
		Corallinacea (weiß)	7,60	5,12	22,95	5,86	3,09		1,61		0,11	2,55
		Braunalgen		0,60			1,78					4,26
		Grünalgen	56,90	10,03	36,51	26,16		36,21	33,16	19,44	24,87	3,86
freies Substrat	15,57	11,17	1,38	0,36	5,93	12,48	13,88	2,69	0,04	5,74		
b e l i c h t e	b e l i c h t e	Ascidiacea		1,17								
		Spondylidae			0,03							
		Gryphaeidae	0,24					5,79		3,78	3,15	2,23
		Röhrenwürmer		0,05	0,18	0,19				0,20	0,06	
		Bryozoa			0,22				1,92	0,17		
		Scleractinia					0,91					0,12
		Porifera					2,91			0,02		
		Foraminifera	0,03	25,84	37,00	20,92	54,87	39,11	34,00	29,45	49,34	19,31
		Corallinacea (rot)	0,83	20,42	3,22	5,89	9,82	2,31	4,48	2,70	8,60	39,73
		Corallinacea (weiß)										
		Braunalgen	1,58		0,58							
		Grünalgen	95,55	51,76	58,46	12,92	29,58	51,64	58,43	63,47	38,39	36,15
freies Substrat	1,78	0,75	0,31	60,08	1,92	1,16	1,16	0,23	0,46	2,46		

<0,2%  
 >0,2<=1%  
 >1<=5%  
 >5<=15%  
 >15<=35%  
 >35%

Tabelle 5: Flächenanteile der verschiedenen Taxa an der Besiedlung der Substratplatten aus Beton über die verschiedenen Expositionszeiten.



Während des Untersuchungszeitraumes wurden die angebotenen Substrate nur spärlich von Steinkorallen besiedelt. Von insgesamt 80 ausgewerteten Substratflächen waren nur auf 21 Korallen zu finden. 14 durch Korallen besiedelte Platten stammten aus 10 m Tiefe, die restlichen 7 aus 20 m Tiefe. Obwohl bereits nach einem halben Jahr die ersten Kolonien auf den Substratplatten nachgewiesen werden konnten, kam es mit der Expositionszeit nicht zu einem deutlichen Bestandsaufbau. Der maximale Flächenanteil an der benthischen Besiedlung von 0,91 % wurde nur auf der BSV-Platte in 10 m Tiefe erreicht. Wie schon für andere benthische Taxa gezeigt, fanden sich die wenigen Korallenindividuen ebenfalls zumeist auf den beschatteten Substratflächen. Während von 20 beschatteten, horizontal ausgerichteten Platten 14 Platten von Korallen besiedelt waren, wies lediglich eine (10 m KSH 3.5 Jahre exponiert) der 20 belichteten H- Platten Korallenrekruten auf. Die Unterschiede zwischen NV und SV waren weniger deutlich, jedoch fanden sich ausschließlich auf den Betonsubstraten Korallenkolonien. Die vertikal orientierten Korallensubstrate wurden weder in 10 noch in 20 m Tiefe von Korallen besiedelt.<sup>1</sup>

#### **4.1.3 Dominanzidentitäten der benthischen Gemeinschaften**

Während im vorigen Kapitel die augenfälligen Verteilungsmuster ausgewählter Taxa im Vordergrund standen, folgt nun die synökologische Betrachtungen der Besiedlungsmuster auf der Ebene der benthischen Gemeinschaften. Die Ergebnisse der Dominanzidentitätsberechnung wurden als schattierte Ähnlichkeitsmatrix graphisch dargestellt (vgl. Abb. 35- 40, dunkle Schattierungen kennzeichnen hohe Ähnlichkeiten, helle Grauwerte stehen für geringe Übereinstimmungen).

#### **Selbstvergleich<sup>2</sup> der benthischen Gemeinschaften**

##### **Korallensubstrate aus 10 m Tiefe**

Der Selbstvergleich der benthischen Gemeinschaften auf den Korallensubstraten aus 10m Tiefe zeigt einen interessanten Trend: Während die H- Platten (N und S) um so unähnlicher werden, je mehr sich Ihre jeweilige Expositionsdauer unterscheidet (Schattierungen werden von links nach rechts heller für den Plattensatz innerhalb des fetten Rahmens), deuten die Dominanzidentitäten der V- Platten den entgegen gesetzten Trend an. Die Gemeinschaften der vertikalen Platten werden scheinbar sukzessive um weitere Arten ergänzt, ohne jedoch die Pionierarten zu verdrängen.

---

<sup>1</sup> Einige Scleractinia-Rekruten siedelten in den Spalten zwischen den Substratplatten und dem Expositionsgestell. Diese Individuen wurden nicht gezählt da die Habitatcharakteristika sehr speziell und daher nicht mit den eigentlichen Plattenoberflächen vergleichbar waren.

<sup>2</sup> Selbstvergleich bezeichnet den Vergleich von Platten des selben Typs, der selben Orientierung und gleicher bathymetrischen Exposition. Die verglichenen Platten unterscheiden sich lediglich in Bezug auf die Expositionszeiten.

Das Muster der horizontalen Platten legt den Schluß nahe, dass hier Arten erscheinen, aber auch wieder verschwinden und Pioniere auf den 3,5 Jahre exponierten Platten unterrepräsentiert sind

### **Korallensubstrate aus 20 m Tiefe**

Das differenzierte Muster der 10 m- Korallensubstrate findet sich auf den Korallenplatten aus 20 m Tiefe nicht wieder. Alle vier Datensätze (A-D) zeigen eine zunehmende Differenzierung (Abnahme der Ähnlichkeit) der sessilen Gemeinschaften mit der Expositionszeit. Es fällt auf, dass die Ähnlichkeit auch bei zeitlich weit auseinander liegenden Proben immer noch vergleichsweise hoch ist.

### **Betonsubstrate aus 10 m Tiefe**

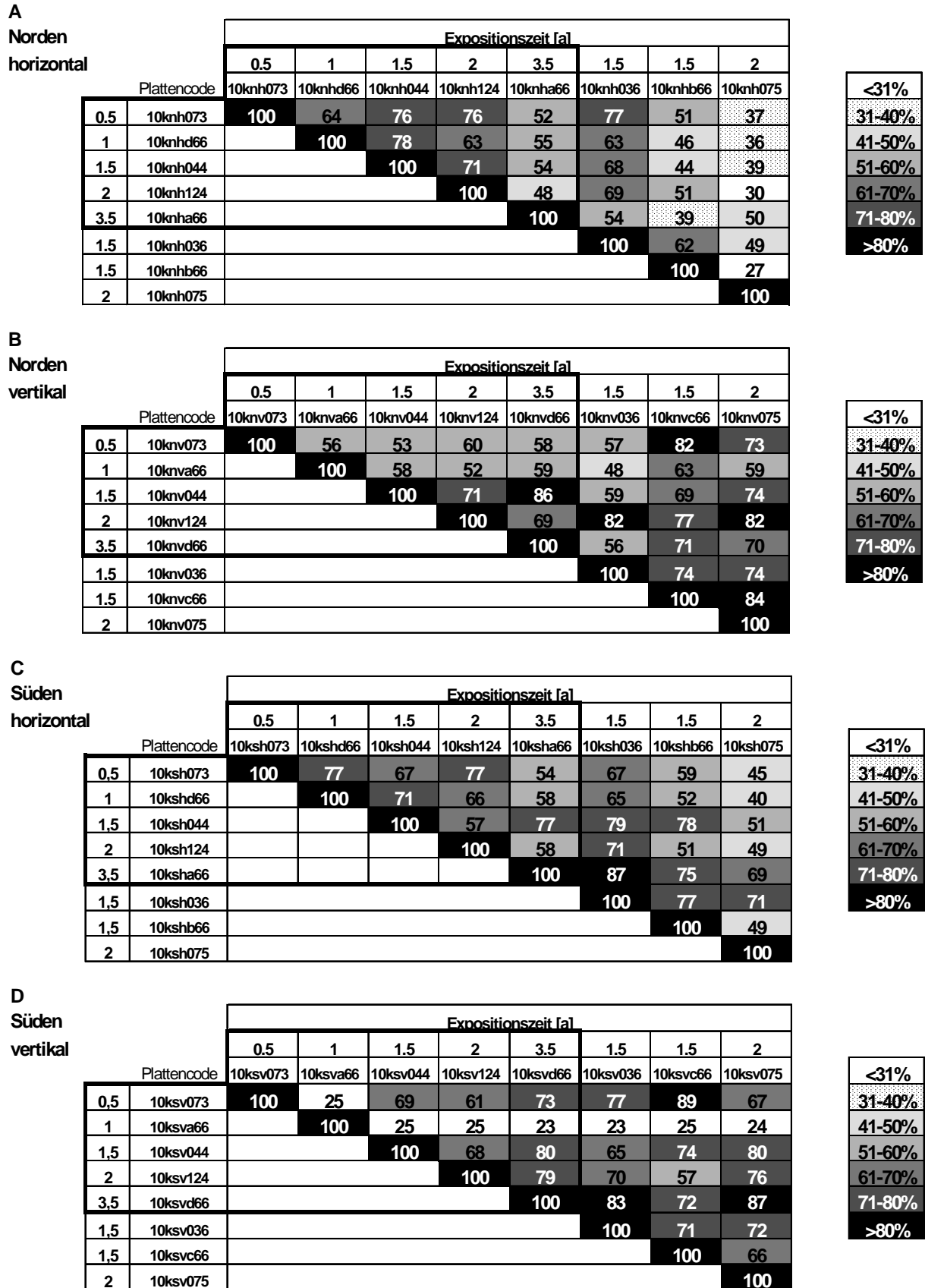
Die Betonsubstrate aus 10 m Tiefe entwickelten sich mit der Zeit unterschiedlich. Selten werden Ähnlichkeiten über 60 % erreicht. Platten, die nur durch wenige Taxa besiedelt wurden, suggerieren hohe Übereinstimmungen, dies kann jedoch auf die hier beteiligten Generalisten zurückgeführt werden, die hohe Flächenanteile besetzen und nur wenig charakteristische, oligospezifische Zönosen ausbilden.

### **Betonsubstrate aus 20 m Tiefe**

Auch die Gemeinschaften auf den Betonplatten aus 20m Tiefe entwickeln sich mit der Expositionszeit unterschiedlich. Die 3,5 Jahre exponierte NV- Platte war mit keiner anderen Platte mehr als 53 % identisch. Dem entgegen unterschied sich die 3,5 Jahre exponierte SV- Platte maximal um 39 % (Dominanzidentität 61%) von jeder anderen Platte des Selbstvergleichssatzes. Unterschiede der Gemeinschaften auf den Betonplatten aus 20 m Tiefe waren somit nur schwach ausgeprägt.

Wie in den Abbildungen zur Dominanzidentität (Abb. 35- 38) ersichtlich und in Kap. 2.1.2 erläutert, standen zur Auswertung neben dem Hauptplattensätzen für die Expositionszeiten 1,5 und 2 Jahre zwei beziehungsweise ein Replikat zur Verfügung. Diese Plattensätze waren zwar zeitlich gleich lang exponiert, decken aber mit ihrer Expositionszeit unterschiedliche Jahreszeiten ab. Es mag daher nicht verwundern, dass die Übereinstimmung der benthischen Gemeinschaften dieser Platten mit der gleich lang exponierten Platte des Hauptsatzes nicht unbedingt hoch identisch sein musste und in der Regel auch nicht war.

Diese methodische "Blindprobe" belegt zu den bereits angesprochenen Unterschieden die Bedeutung der saisonalen Simultanität bei Vergleichen von Besiedlungssukzessionen (vgl. Tabelle 1 und 2, Kap. 2.1.2.2).



**Abbildung 35:** Dominanzidentitäten der Gemeinschaften auf den Korallensubstraten aus 10 m Tiefe im Selbstvergleich (eingetragene Werte in [%]).

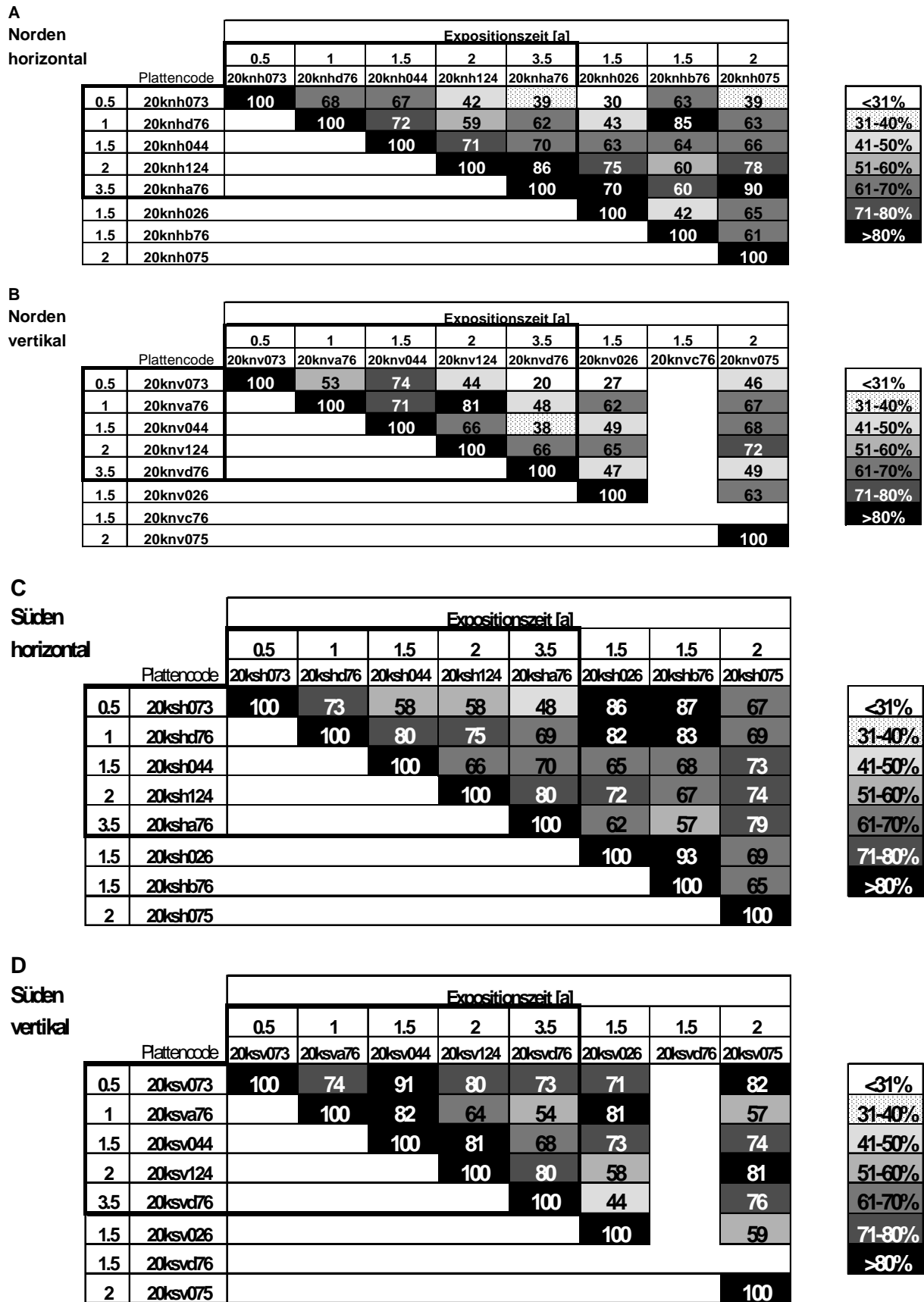


Abbildung 36: Dominanzidentitäten der Gemeinschaften auf den Korallensubstraten aus 20 m Tiefe im Selbstvergleich (eingetragene Werte in [%]).

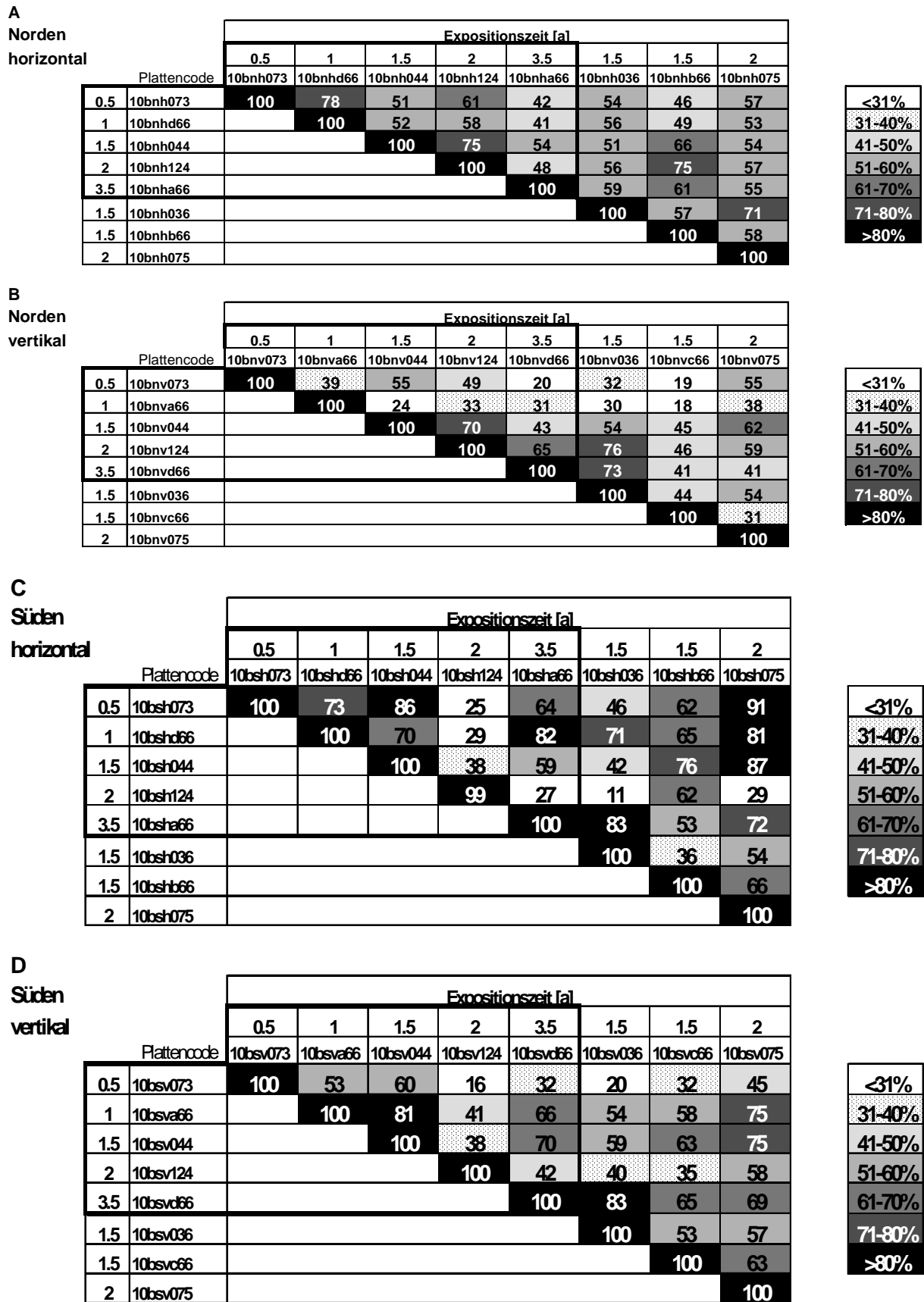


Abbildung 37: Dominanzidentitäten der Gemeinschaften auf den Betonsubstraten aus 10 m Tiefe im Selbstvergleich (eingetragene Werte in [%]).

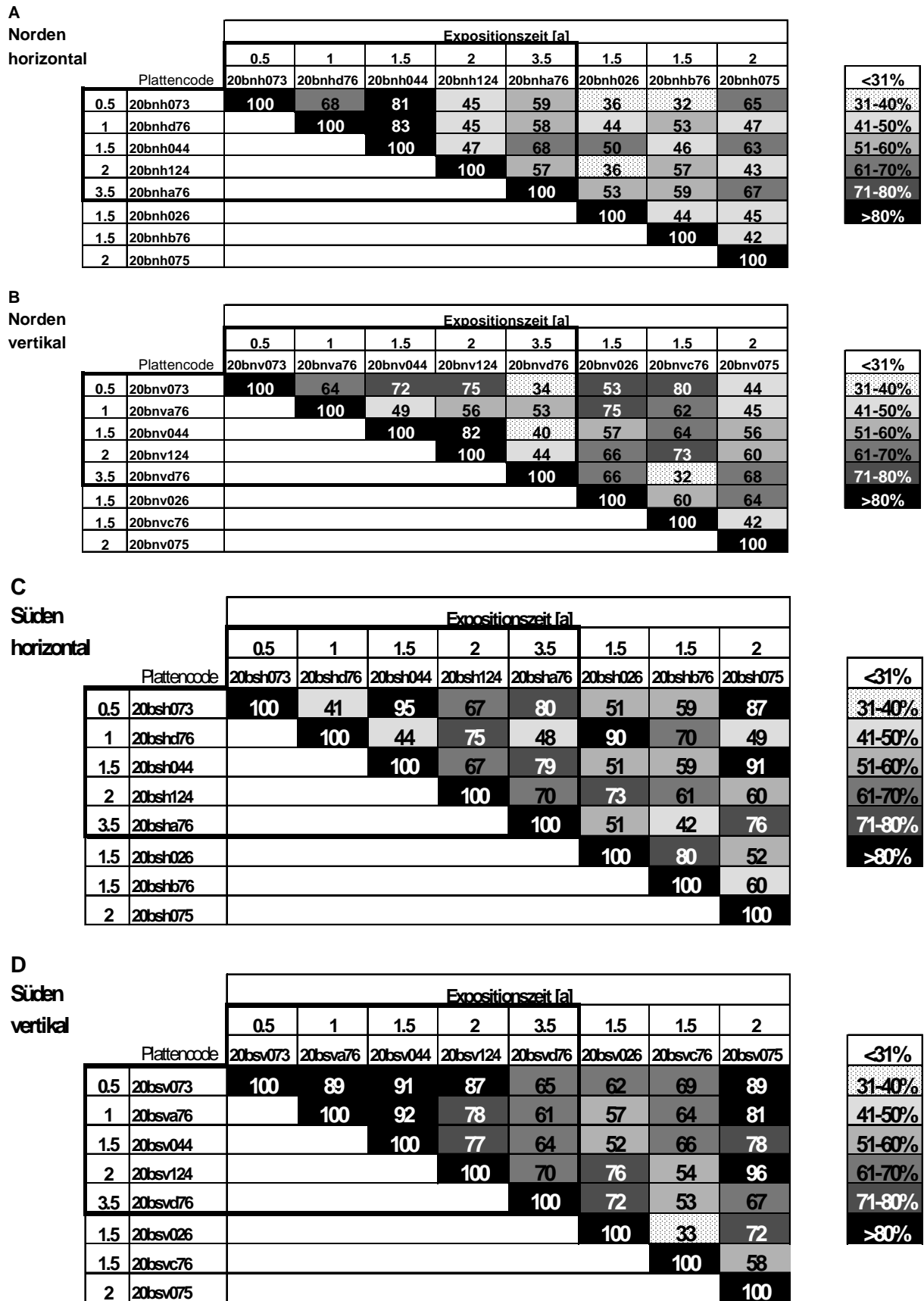


Abbildung 38: Dominanzidentitäten der Gemeinschaften auf den Betonsubstraten aus 20 m Tiefe im Selbstvergleich (eingetragene Werte in [%]).

### **Vergleich der Besiedlung auf Platten unterschiedlicher Orientierung**

In der folgenden Abbildung 39 wurden die berechneten Dominanzidentitäten in Hinblick auf Unterschiede durch die Ausrichtung graphisch aufgetragen (vgl. Abb.: 3, A - D). Die Plattenpaarungen unterscheiden sich jeweils in Bezug auf die Orientierung (horizontal / vertikal) und / oder die Belichtung (Nord / Süd).

Auf den ersten Blick ist erkennbar, daß die Matrices in den Abbildungsteilen C und D insgesamt dunkler schattiert sind als die Matrizes in den Abbildungsteilen A und B. Die Dominanzidentität der Zönosen auf den Korallenplatten war demnach deutlich höher als die der Betonplatten. Insbesondere die kurz exponierten Platten aus 20 m Tiefe (0,5- 1,5 Jahr Expositionszeit) unterschieden sich unabhängig von der Orientierung nur geringfügig. Erst die 2- 3,5-jährigen Exponate zeigten ausgeprägtere Differenzierungen.

In 20 m Tiefe scheinen die Faktoren Belichtung und Orientierung verglichen mit dem Substrattyp (Korallenkalk) eine eher untergeordnete Rolle zu spielen. Mit Ausnahme der 3,5- jährigen Proben waren alle anderen Paarungen vergleichsweise hoch identisch.

Die Dominanzidentitäten der Gemeinschaften auf den Korallensubstraten aus 10 m Tiefe zeigen weniger einheitliche Muster. Das Niveau der Ähnlichkeit ist insgesamt ebenfalls höher als bei den Betonsubstraten, allerdings sind zeitliche Muster nicht so deutlich ausgeprägt wie bei den 20 m - Proben (vgl. Abb. 39, C und D).

Die Ähnlichkeiten der Gemeinschaften auf den Betonsubstraten (Abbildungsteile A und B) sind weniger ausgeprägt als die der Korallensubstrate (C und D). Die dunkleren Felder in der ersten und letzten Zeile der Graphik (Teil B) deuten an, daß bei diesem Substrattyp die Belichtung (Süden bzw. Norden) der entscheidende Faktor war. Alle anderen Paarungen der 20 m -Platten zeigen Werte < 60% für die Dominanzidentität.

### **Bathymetrischer Vergleich**

Bei diesen Berechnungen wurden jeweils Plattenpaare gleichen Substrattyps, identischer Orientierung und Expositionszeit aus 10 und 20 m Tiefe miteinander verglichen (vgl. Abb. 40 A) Die Dominanzidentitäten deuten darauf hin, daß die Gemeinschaften auf den Betonsubstraten aus 10 und 20 m bis zu einer Expositionszeit von etwa 1,5 Jahren immer ähnlicher werden. Danach fällt die Übereinstimmung bis zum Versuchsende auf ungefähr 70 % zurück.

Der Vergleich der Korallensubstrate zeigt ein ähnliches Muster. Bereits nach einem Jahr werden Übereinstimmungen von 63 % erreicht. Zum Versuchsende hin nimmt die Dominanzidentität jedoch auf etwa 60 % ab.

Der Vergleich der Plattenpaare aus der selben Tiefe, identischer Orientierung und Expositionszeit brachte für beide untersuchten Tiefenstufen ähnliche Ergebnisse.

Sowohl in 10 m als auch in 20 m Tiefe waren die Übereinstimmungen nach 1 Jahr Expositionszeit am deutlichsten. Abgesehen von der Paarung KSV-BSV (10 m) waren alle anderen Vergleichspaare zu über 73 % identisch. Die Abnahme der Dominanzidentität im weiteren Verlauf des Experimentes markiert die einsetzende Differenzierung der jeweiligen Gemeinschaften.

### **Substrattypenvergleich**

Vergleicht man die Besiedlung von Substratplatten, die sich lediglich in Bezug auf den Substrattyp unterscheiden, so zeigten sich für beide untersuchten Tiefenstufen ähnliche Muster (vgl. Abb. 40 B). Nach einem halben Jahr unterscheiden sich die benthischen Gemeinschaften noch vergleichsweise deutlich, die Unterschiede in 20 m Tiefe sind ausgeprägter als in 10 m Tiefe.

Nach einem Jahr sind alle Vergleichspaarungen hoch identisch (durchschnittlich über 80 %) mit der Ausnahme der Plattenpaarung für die Orientierung SV aus 10 m Tiefe.

In der Folge des ersten Jahres differenzieren sich die Gemeinschaften auf den beiden Substrattypen bis zum Ende der Untersuchung nach 3,5 Jahren zunehmend und sind nach 3,5 Jahren nur noch zu etwa 50 % identisch.



## A

## Vergleich horizontal-vertikal Beton 10m

gleicher Substrattyp, selbe Tiefe, unterschiedliche Orientierung

	Expositionsdauer [a]								
	Datensatz					Replikate			
	0.5	1	1.5	2	3.5	1.5	1.5	2	
NH-NV	56	52	52	78	34	40	56	66	<31%
NH-SH	75	72	46	53	42	17	46	38	31-40%
NH-SV	36	65	44	35	37	33	62	55	41-50%
NV-SV	60	23	42	40	43	64	45	61	51-60%
NV-SH	62	25	47	58	42	54	10	50	61-70%
SH-SV	59	77	84	43	87	76	56	44	71-80%
									>80%

## B

## Vergleich horizontal-vertikal Beton 20m

gleicher Substrattyp, selbe Tiefe, unterschiedliche Orientierung

	Expositionsdauer [a]								
	Datensatz					Replikate			
	0.5	1	1.5	2	3.5	1.5	1.5	2	
NH-NV	64	53	64	62	41	73	55	64	<31%
NH-SH	3	60	19	30	27	46	36	21	31-40%
NH-SV	15	29	24	36	56	79	35	23	41-50%
NV-SV	51	57	31	48	36	58	58	39	51-60%
NV-SH	39	50	27	29	52	48	53	40	61-70%
SH-SV	86	44	80	71	56	48	91	86	71-80%
									>80%

## C

## Vergleich horizontal-vertikal Koralle 10m

gleicher Substrattyp, selbe Tiefe, unterschiedliche Orientierung

	Expositionsdauer [a]								
	Datensatz					Replikate			
	0.5	1	1.5	2	3.5	1.5	1.5	2	
NH-NV	68	70	83	83	62	69	63	30	<31%
NH-SH	61	79	67	64	84	49	57	53	31-40%
NH-SV	74	34	77	56	46	58	71	32	41-50%
NV-SV	77	60	86	49	73	60	79	70	51-60%
NV-SH	53	61	77	50	61	42	71	33	61-70%
SH-SV	67	41	82	74	58	68	73	49	71-80%
									>80%

## D

## Vergleich horizontal-vertikal Koralle 20m

gleicher Substrattyp, selbe Tiefe, unterschiedliche Orientierung

	Expositionsdauer [a]								
	Datensatz					Replikate			
	0.5	1	1.5	2	3.5	1.5	1.5	2	
NH-NV	85	60	94	70	52	67		72	<31%
NH-SH	82	62	70	51	63	44	60	72	31-40%
NH-SV	77	58	84	56	46	57		67	41-50%
NV-SV	72	71	81	55	30	43		57	51-60%
NV-SH	88	69	64	42	40	31		53	61-70%
SH-SV	79	65	73	71	43	59		66	71-80%
									>80%

Abbildung 39: Dominanzidentitäten der benthischen Gemeinschaften.

(A) Vergleich der Gemeinschaften auf den horizontal bzw. vertikal ausgerichteten Betonsubstraten aus 10 m Tiefe.

(B) Vergleich der Gemeinschaften auf den horizontal bzw. vertikal ausgerichteten Betonsubstraten aus 20 m Tiefe.

(C) Vergleich der Gemeinschaften auf den horizontal bzw. vertikal ausgerichteten Korallensubstraten aus 10 m Tiefe.

(D) Vergleich der Gemeinschaften auf den horizontal bzw. vertikal ausgerichteten Korallensubstraten aus 20 m Tiefe.

**A**  
bathymetrischer Vergleich gleicher Substrattyp, gleiche Orientierung, unterschiedliche Tiefe

Vergleich 10m +20m Beton

	Expositionsdauer [a]							
	Datensatz					Replikat		
	0.5	1	1.5	2	3.5	1.5	1.5	2
BNH	24	43	35	62	73	43	60	49
BNV	66	48	83	72	67	60	21	52
BSH	85	50	82	64	93	33	85	28
BSV	55	83	91	43	61	74	43	82

Vergleich 10m +20m Koralle

	Expositionsdauer [a]							
	Datensatz					Replikat		
	0.5	1	1.5	2	3.5	1.5	1.5	2
KNH	46	63	71	79	58	57	64	46
KNV	70	63	66	69	57	60		54
KSH	51	63	92	67	60	85	69	56
KSV	67	25	73	70	39	77		61

<31%
31-40%
41-50%
51-60%
61-70%
71-80%
>80%

**B**  
Substrattypenvergleich gleiche Orientierung, selbe Tiefe, unterschiedliche Substrattypen

Vergleich Koralle mit Beton 10m

	Expositionsdauer [a]							
	Datensatz					Replikat		
	0.5	1	1.5	2	3.5	1.5	1.5	2
KNH-BNH	58	89	69	49	45	67	24	52
KNV-BNV	74	73	53	68	52	38	16	62
KSH-BSH	68	80	73	49	52	46	91	57
KSV-BSV	58	19	74	60	68	42	50	72

Vergleich Koralle mit Beton 20m

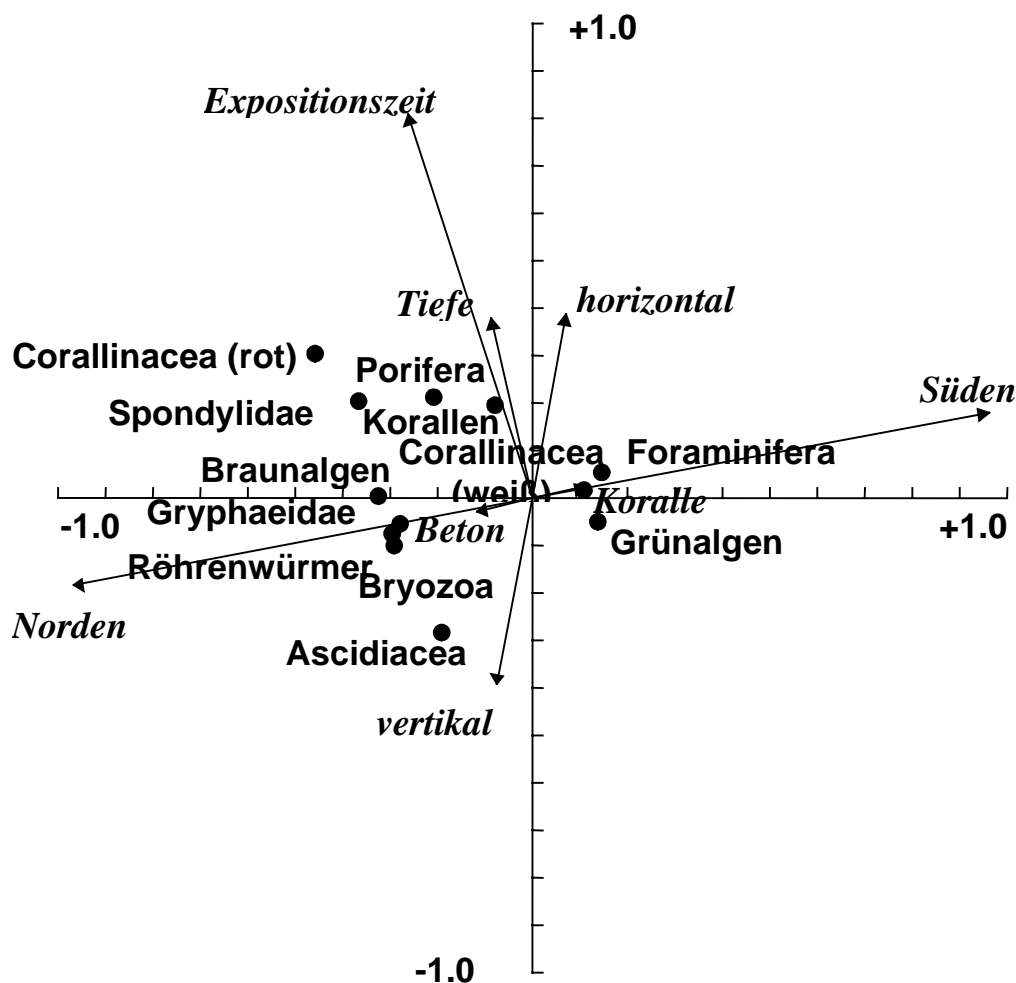
	Expositionsdauer [a]							
	Datensatz					Replikat		
	0.5	1	1.5	2	3.5	1.5	1.5	2
KNH-BNH	39	82	67	48	51	74	55	70
KNV-BNV	56	83	44	49	74	62		46
KSH-BSH	33	91	67	64	54	77	74	66
KSV-BSV	60	79	66	53	38	61		45

<31%
31-40%
41-50%
51-60%
61-70%
71-80%
>80%

**Abbildung 40:** Dominanzidentitäten der benthischen Gemeinschaften:  
 (A) Vergleich der Besiedlung von Platten identischer Orientierung, des selben Substrattyps, aber unterschiedlicher Bathymetrie.  
 (B) Vergleich der Besiedlung von Platten aus gleicher Tiefe, identischer Orientierung, aber unterschiedlichen Substrattyps.

#### 4.1.4 Ordination (Kanonische Korrespondenzanalyse, KANOKO)

Die Ordination ist ein multivariates statistisches Verfahren, mit dem Zusammenhänge zwischen Taxa, Probestellen und/oder abiotischen Faktoren ermittelt und dargestellt werden können. Dabei wird zwischen klassischer Ordination (CA, PCA) und kanonischer Ordination (CCA) unterschieden. Interpretiert wird die Gruppenbildung von Taxa oder Probestellen in einem Koordinatenkreuz. Als Interpretationshilfen dienen die Gradienten der abiotischen Parameter. Einen hohen Aussagewert haben nahe der Achsen des Koordinatenkreuzes liegende, lange Gradienten (als Pfeile dargestellt). Detaillierte Informationen zu KANOKO finden sich bei NOY-MEIR et al. (1975), NOY-MEIR (1973) und AHN (1997).



**Abbildung 41:** Graphische Darstellung von Ergebnissen der Korrespondenzanalyse von Daten zur Besiedlungssukzession von Substratplatten (Gradienten kursiv beschriftet).

Die graphische Darstellung der Korrespondenzanalyse faßt die bereits im Detail beschriebenen Befunde zusammen. Der auffälligste bi- direktionale Gradient wird von der Belichtungssituation gebildet (Norden - Süden). Im Vergleich hierzu bildet sich die unidirektionale "Tiefe" auf dem dargestellten relativ niedrigen Niveau der

taxonomischen Differenzierung deutlich geringer in den benthischen Gemeinschaften ab.

Des Weiteren wird die Expositionszeit als relevanter unidirektionaler Gradient ausgewiesen.

Interessant ist die fast deckungsgleiche Richtung des Gradienten Substrattyp (*Koralle* bzw. *Beton*) mit der Belichtung (*Norden* bzw. *Süden*).

Die untersuchten Taxa gruppieren sich zu zwei Grundtypen von Gemeinschaften:

1. Photophile Gemeinschaften: charakterisiert durch Grünalgen und Foraminifera;
2. Photophobe Gemeinschaften: charakterisiert durch Muscheln (Spondylidae, Gryphaeidae), Kalkrotalgen und Schwämme.

Koloniale Ascidien scheinen eine Art Subtyp von Gemeinschaften mit Präferenzen für lichtabgewandte, vertikale Substratflächen zu charakterisieren.

Die Interpretation des KANOKO Befundes muß mit der gebotenen Vorsicht bewertet werden. Zum einen kann nicht davon ausgegangen werden, daß die zugrunde gelegten Kategorien unabhängig sind, (mit zunehmender Tiefe oder auch durch die Veränderung der Orientierung der Platten ändert sich beispielsweise auch die Belichtungssituation) zum anderen suggeriert die isolierte Betrachtung der kanonischen Ordination die Zuordnung eines Steuerungseffektes zu einem "Parameter", der vielleicht nicht ursächlich zur Strukturierung der Gemeinschaft beigetragen hat. Der Zusammenhang von belichteten Substratflächen, einer hierdurch gesteuerten Primärproduktion, die wiederum eine potentielle Beweidung und damit die Substraterosion, wie auch die Überlebenschancen von Aufwuchsorganismen kontrolliert, wird und kann über KANOKO nicht aufgelöst werden. Die speziellen Probleme der Isolation teil- korrelierter Parameter und indirekter Steuerungsmechanismen werden in den Kapiteln Weidedruck (4.4), Bioerosion (4.5) und Synopsis (5) näher betrachtet.