

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.1.1	Kontext und Hintergrund	1
1.1.2	Ziele der Arbeit	2
1.2	Beschreibung des verwendeten Datensatzes	3
1.2.1	Lage der Untersuchungsflächen	3
1.2.2	Standortparameter	3
1.2.3	Vegetationsaufnahme	5
1.2.4	Erfassung der Fauna	6
1.3	Wichtige Charakteristika ökologischer Datensätze	6
1.3.1	Räumliche und zeitliche Aspekte	6
1.3.2	Geschachteltes Versuchsdesign	8
1.3.3	Phänologien der Arten	9
1.3.4	Pestizid-Problematik	9
1.3.5	Spezifische Eigenschaften des Ökosystems	10
1.3.6	Vergesellschaftungen, Artengemeinschaften und Nahrungsnetze	10
1.3.7	Referenzen	11
1.3.8	Probenahmemethodik	11
1.4	Einige Definitionen	12
1.4.1	Biozönose, Biotop und Ökosystem	12
1.4.2	Autökologie, Synökologie und Ökosystemanalyse	12
1.4.3	Biodiversität	12
1.4.4	Bioindikation	14
1.5	Ökologische Modellierung	14
1.5.1	Modellierung und Simulation	15
1.5.2	Funktionaler und statistischer Modellbegriff	19
1.5.3	Datenbasierte Modellierung ökologischer Systeme	21
1.6	Dimensionsreduktion	23
1.6.1	Optimale Modellkomplexität und Parameterschätzung in stochastischen Modellen durch Maximum Likelihood Schätzung	25

1.6.2	Merkmalsselektion und Merkmalsextraktion	28
1.7	Data mining	31
1.7.1	Der data mining-Algorithmus	33
1.7.2	Anwendung in der Biozönotik	34
1.7.3	Interdisziplinarität und iterative Natur	35
1.8	Statistische Mustererkennung	36
1.8.1	Struktur des allgemeinen Mustererkennungsprozesses	36
1.8.2	Das grundlegende Modell	38
1.9	Eine kurze Übersicht über die vorliegende Arbeit	39
2	Explorative Datenanalyse	45
2.1	Einleitung	45
2.2	Analyse der Primärdatenmatrix	46
2.2.1	Verteilungseigenschaften der Abundanzwerte	46
2.2.2	Deskriptive Analyse	50
2.2.3	Ausreißeranalyse	57
2.2.4	Schätzung der Artenzahl: Artenakkumulationskurven und nichtparametrische Schätzer	64
2.2.5	Dominanz-Diversitätskurve und Frequenz-Abundanzkurve	68
2.2.6	Korrelationsstruktur	73
2.2.7	Räumliche Analyse	78
2.3	Analyse der Umweltvariablen	81
2.3.1	Abiotische Charakterisierung der Standorttypen	81
2.3.2	Streumatrix der Umweltvariablen	93
2.3.3	Verteilungseigenschaften der metrischen Umweltvariablen	95
2.3.4	Klassenhäufigkeiten nominaler Umweltvariablen und a priori Wahrscheinlichkeiten	99
3	Biozönotisch-integrative Klassifikation	103
3.1	Einleitung	103
3.2	Diagnostische Artengruppen	104
3.3	Biozönos der Glatthaferwiesen und ruderalen Glatthaferwiesen	111
3.4	Eigenschaften der Standortgruppen	113
3.5	Modellierungsgegenstände im Rahmen der statistischen Musterer- kennung	114
4	A priori- und nichtüberwachte Klassifikation	115
4.1	Einleitung	115
4.2	A priori Klassifikation der Standorte	119
4.2.1	Nullklassifikation (= Null classification NC)	119
4.2.2	Biozönotische Klassifikation (= Expert classification EC)	121
4.3	Nichtüberwachte Klassifikation der Standorte	122
4.3.1	Hierarchisch, divisive Klassifikation mit TWINSPAN (TW)	122

4.3.2	Hierarchisch agglomerative Klassifikation (Clusteranalyse HC)	128
5	Skalare Merkmalsselektion und Dimensionsreduktion	135
5.1	Einleitung	135
5.2	Indikatorartenanalyse für die Nullklassifikation	140
5.3	Indikatorartenanalyse für die TWINSPAN-Klassen	152
5.4	Indikatorartenanalyse für die hierarchische Clusteranalyse	157
5.5	Indikatorartenanalyse für die biozönotische Klassifikation	163
5.6	Kovarianz und Merkmalsextraktion	165
6	Statistische Modellierung, Teil 1: Ordination	167
6.1	Einleitung	167
6.2	Detrended Correspondence Analysis (DCA)	176
6.2.1	Gradientenlänge	178
6.3	Korrespondenzanalyse (CA)	180
6.3.1	Kennwerte der Korrespondenzanalyse	181
6.3.2	Vergleich von Korrespondenzanalyse und Nullklassifikation	184
6.3.3	Vergleich von Korrespondenzanalyse und TWINSPAN-Analyse	198
6.3.4	Vergleich von Korrespondenzanalyse und biozönotischer Klassifikation	202
6.4	Nichtmetrische multidimensionale Skalierung (NMDS)	213
6.4.1	Voranalyse (Explanatory series)	213
6.4.2	Zweidimensionale Konfiguration	216
6.4.3	Klassifikation von Ordinationsergebnissen: Ein alternativer Ansatz	220
6.5	Indirekte Gradientenanalyse	223
6.5.1	Gradientenextraktion	223
6.5.2	Faktorenkomplex und Wirkungskette	226
6.5.3	Ökogramm, Entscheidungstheorie und Bayesscher Klassifikator	228
7	Konstruktion eines Klassifikators	231
7.1	Einleitung	231
7.2	Vergleich von Klassifikationsergebnissen	232
7.2.1	Manueller Vergleich - Clusterstabilität	233
7.2.2	Der Classification Similarity Index (CSI)	235
7.3	Gütebeurteilung der Standortklassifikation	238
7.3.1	Ökologische Definition anhand von Umweltvariablen	238
7.3.2	Ökologische Gütebeurteilung über die Indikatorartenanalyse	240
7.3.3	Separation der Standortklassen	240
7.3.4	Alternative Methoden	241

7.4	Ein einfacher Klassifikator	241
7.4.1	Mittelwertvektoren (Diskrete Systemzustände)	241
7.4.2	Vertrauensbereiche und Vorhersageintervalle diskreter Systemzustände	242
7.4.3	Präsenzbasierter Klassifikator	249
7.5	Bewertung der Klassifikationsgüte	250
7.5.1	Frequentistische Fehlklassifikationsrate	250
7.5.2	Ein probabilistisches Expertensystem zur Fehlklassifikationsrate auf der Basis ökologischer Indikatorwerte	251
7.5.3	Fazit	262
8	Statistische Modellierung, Teil 2: Potentielle Pestizideffekte	265
8.1	Einleitung	265
8.2	Partielle kanonische Korrespondenzanalyse	266
8.3	Negativ- und Positivindikatoren des potentiellen Pestizideinflusses	269
8.4	Dominanzverschiebungen in den Biozönosen	273
8.5	Diskussion relevanter ökotoxikologischer Testarten	281
8.6	Ein Ansatz zum Nachweis indirekter Stoffeffekte im Freiland	283
8.6.1	Die Species Sensitivity Distribution (SSD)	283
8.6.2	Community-based Species Sensitivity Distributions (CB-SSD)	286
8.6.3	Vorschlag für ein Multi-Spezies Testsystem	294
8.6.4	Vergleich von Standard-SSD und CB-SSD zum Nachweis indirekter Effekte	295
9	Statistische Modellierung, Teil 3: Retrospektive Analyse	299
9.1	Einleitung	299
9.2	Partielle CCA mit manueller Variablenselektion	302
9.3	Das Minimalmodell im Ordinationsraum der CCA	306
9.4	Nischenmodellierung für ausgewählte Schlüsselfaktoren	319
10	Maschinelles Lernen: Prospektive Modellierung	325
10.1	Einleitung	325
10.2	Training und Optimierung neuronaler Netzwerke	334
10.2.1	Vorversuche	337
10.2.2	Optimierung der Netzwerke	344
10.3	Simulationsstudien	350
10.3.1	<i>Pseudoophonus rufipes</i> (L)	351
10.3.2	<i>Rumex thyrsiflorus</i> (L)	351
10.3.3	<i>Anchomenus dorsalis</i> (W)	358
10.3.4	<i>Galium mollugo</i> (W)	359

11 Zusammenfassung, Ausblick und Diskussion	361
11.1 Zusammenfassung	361
11.2 Abgeleitete Hypothesen und Problemstellungen	364
11.2.1 Methodische Hypothesen und Probleme	364
11.2.2 Organismische Hypothesen und Probleme	371
11.3 Ausblicke	373
11.3.1 Räumliche Analyse	374
11.3.2 Artfizielle Datensätze / poevers-Effekt / TWINSPAN	374
11.3.3 Erweiterung diagnostischer Artengruppen	374
11.3.4 Erweiterte und symmetrische Indikatorartenanalyse	375
11.3.5 Integration von ökologischem Wissen	375
11.3.6 Modellierung und Simulation multipler Verteilungsmuster und Kausalanalyse	376
11.3.7 Zeitreihenmodellierung in der Ökotoxikologie	379
11.3.8 Sukzessionsmodellierung mit diskreten Systemzuständen	379
11.3.9 Klassifikation von Ordinationsergebnissen	380
11.3.10 CSI-Rand-Homologie und alternative Methoden	380
11.3.11 Entwicklung nichtparametrischer Vertrauensbereiche und Vorhersageintervalle für Zentroide	380
11.3.12 Entwicklung Bayesscher Klassifikatoren	380
11.3.13 Weiterentwicklung des Bayesschen Netzes	381
11.3.14 Entwicklung ökotoxikologischer Testbatterien	381
11.3.15 Regionalisierte Effektbewertung	381
11.3.16 Validierung der CB-SSD	382
11.3.17 Validierung der ökologischen Relevanz datenbasierter Interaktions-Hypothesen / Strukturelle Modellierung, SEM	382
11.4 Diskussionen	382
11.4.1 Statistische Modellierung in der Ökologie	382
11.4.2 Vergleich von ökologischer und maschineller Mustererkennung	385
11.4.3 Klassifikatoren und Bayes-Netzwerke	386
11.4.4 Dimensionsreduktion	387
11.4.5 Diversität, Negentropie und Informationsgehalt	388
11.4.6 Botschaft, inhärente Bedeutung und Kontext	392
11.5 Der ökologische Mustererkennungsprozess	393
11.5.1 Kontrastverschärfung, Bioindikationspotential und Indika- torzahlsumme	393
11.5.2 Komponenten des ökologischen Mustererkennungsprozesses	394
11.5.3 Ökologische Mustererkennung im Kontext der Ökotoxikologie	397
11.6 Fazit	397
A Tabellarischer Anhang	465
B Abbildungsanhang	467