

QUANTITATIVE UNTERSUCHUNG DER WALDMANTELGESELLSCHAFTEN DES HAARDTRANDES ZWISCHEN LANDAU UND BAD DÜRKHEIM

Mit 8 Abbildungen und 9 Tabellen

THOMAS ABT, PETER FRANKENBERG und CHRISTOPHE NEFF

Summary: Quantitative investigations of the forest-edge communities at the margin of the Haardt Hills between Landau and Bad Dürkheim

Applying cluster analytic methods to the area along the margin of the Haardt Hills, the ubiquitous forest-edge community of *Rubus-Prunetum* can be subdivided into a "richer" norther variant and a "poorer" southern counterpart. Specific spectra of the northern area show a tendency towards thermophilic species of sub-Mediterranean/Eurasian provenance, while mesophilic and more hygrophilic types with sub-oceanic/Central European characteristics are found in the south. The different floristic composition, best described as a domination of Oceanic species in the south and Continental species in the north, seems to be caused by climatic differentiation in the area investigated. Soil analyses and ecological range spectra (according to ELLENBERG) of the specific plant communities show an influence of the substrata, which is also reflected in the cluster analytic pattern. Different mesoclimates presumably determine soil-building processes, which in turn affect the spatial distribution of the vegetation. Due to the importance of such climatic factors, the observed variance of area types cannot be successfully explained without knowledge of climate-dependent meridional soil gradients.

Untersuchungsgebiet und Problemstellung

Die Klimagunst der westlichen Vorderpfalz und des Haardtrandes am Ostabfall des Pfälzerwaldes nutzten bereits die römischen Siedler zu Beginn unserer Zeitrechnung. Sie führten den Weinbau ein und brachten Pflanzenarten ihrer mediterranen Heimat mit. So gelangte die Edelkastanie (*Castanea sativa*) an den Haardtrand, die sich als Archäophyt in diesem Klimagunstraum v. a. in Waldrandbereichen gegen die Konkurrenz der einheimischen Arten behaupten konnte (vgl. MURMANN-KRISTEN 1987, S. 131f. und Abb. 1). Die Klimagunst resultiert aus der geschützten Beckenlage im Oberrheingraben. Bei vorherrschenden Westwetterlagen ergibt sich am Ostrand des Pfälzerwaldes ein föhnartiger Lee-Effekt. Das Absinken der Luftmassen im Lee des Grabenrandgebirges führt zu Wolkenauflösung, damit zu erhöhtem Strahlungsgenuß und zu adiabatischer Erwärmung der herangeführten Luftmassen. Daher eignet

der westlichen Vorderpfalz ein strahlungsreiches, relativ warmtrockenes Klima im Sommer bei noch nicht sehr kalten Wintern.

Entlang des Haardtrandes zwischen Landau im Süden und Bad Dürkheim im Norden unterliegt das Klima einem meridionalen Wandel. Dies verdeutlichen Karten der mittleren Julitemperatur, der mittleren jährlichen Niederschlagssummen und des Trockenheitsindex nach REICHEL (vgl. Deutscher Wetterdienst 1957). Klimakennwerte der Stationen Bad Bergzabern, Landau, Neustadt und Bad Dürkheim (Tab. 1) veranschaulichen, daß im südlichen Bereich des Haardtrandes (vgl. Stationen Bad Bergzabern und Landau) höhere Niederschläge und geringere Jahrestemperaturschwankungen auftreten als im nördlichen Bereich (vgl. Stationen Neustadt und Bad Dürkheim). Die stärker ozeanische Prägung des südlichen Haardtrandes ergibt sich aus der Öffnung des Pfälzerwaldes nach Westen durch zahlreiche Täler und in der Zaberner Senke. Die Auswirkungen des Lee-Effektes werden dadurch gemindert. Feuchte ozeanische Luftmassen können nahezu ungehindert diesen Abschnitt des Oberrheingrabens beeinflussen und unter Abschwächung nach Norden bis in das Gebiet um Landau ausstrahlen. Im Bereich der Nördlichen Oberhaardt zwischen Landau und Neustadt und der Mittelhaardt zwischen Neustadt und Bad Dürkheim ist der Gebirgsrand „mauerartig“ ausgeprägt und überragt den Grabengrund

Tab. 1: Mittlere Jahrestemperaturschwankungen und Jahresniederschläge im Süd-Nord-Profil des Haardtrandes

Average annual temperature variations and annual precipitations in a south-north section of the Haardtrand

Stationen	Tmax-Tmin in Kelvin	Niederschlag mm/a
Bad Bergzabern	17,8 ¹⁾	759 ¹⁾ , 811 ²⁾
Landau	17,8 ¹⁾	676 ²⁾
Neustadt	17,9 ²⁾	584 ¹⁾ , 663 ²⁾
Bad Dürkheim	18,4 ²⁾	538 ¹⁾ , 567 ²⁾

¹⁾ Quelle: LANG (1969); Periode 1934-63

²⁾ Quelle: GEIGER (1981); Periode 1951-70

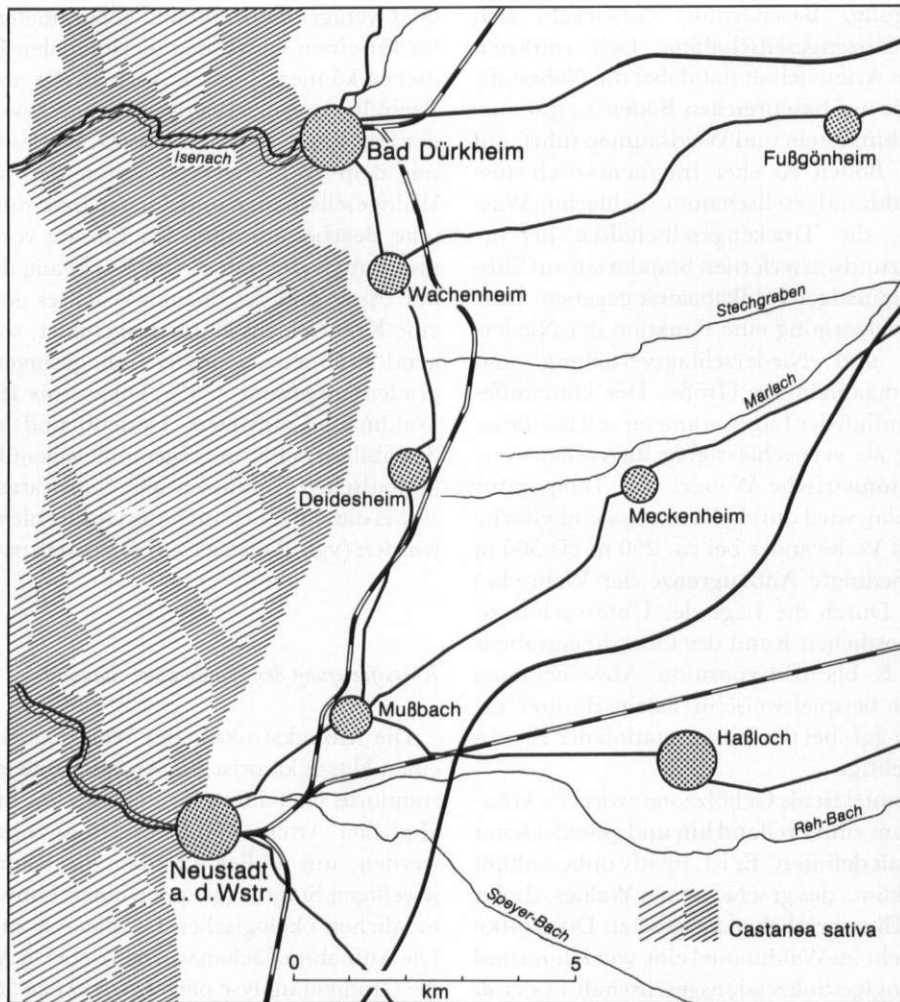


Abb. 1: Nordteil des Untersuchungsraumes am Haardttrand mit der Verbreitung der Edelkastanie (*Castanea sativa*); enge Schraffur = geschlossene Bestände, weite Schraffur = Mischbestände
Quelle: LANG 1970

Northern study area at the Haardttrand with distribution of *Castanea sativa*; narrow hatching = pure population, wide hatching = mixed population

um bis zu 500 m. Dies bewirkt den orographischen Föhnwind. Auch die Verbindung des Oberrheingrabens mit dem submediterran/mediterranen Raum über die Burgundische Pforte trägt zur Wärmegunst des Haardttrandes bei. Über diesen Weg wird nicht nur die Zufuhr subtropischer Luftmassen begünstigt, sondern es können auch Vertreter des submediterran/mediterranen Geoelements in die Klimagunstgebiete des Oberrheingrabens eindringen (extrazonale Elemente). Ziel der folgenden Analyse ist es, einen dem klimatischen Gradienten entsprechenden Nord/Süd-Wandel der Waldmantelgesellschaften des Haardttrandes zu erkennen.

Im Untersuchungsgebiet mit seiner relativ geringen Ausdehnung kann der Einfluß schwach vorhandener Klimagradienten auf das Florenzspektrum von stark variierenden Substratverhältnissen und Lageparametern (Höhe, Exposition) überlagert werden. DIERSCHKE (1974, S. 15 u. 219) hat nach eingehenden Untersuchungen an Waldrändern festgestellt, daß speziell die Zusammensetzung der Waldmantelvegetation bei Substratänderungen innerhalb eines klimatisch relativ homogenen Raumes stabil bleibt (Nachbarschaftseffekte: Diasporeneintrag, vegetative Ausbreitung, ähnliche anthropogene Einflüsse). Erst bei ausgesprochenen Extrembedingungen (angespannte

Wasserversorgung, Basenarmut) entwickeln sich spezifische Pflanzengesellschaften. Den stärksten Einfluß auf die Artenvielfalt hat dabei die Nährstoffversorgung, die auf basenreichen Böden zu gut ausgebildeten Waldmänteln und Waldsäumen führt, auf basenärmeren Böden zu eher fragmentarisch ausgebildeten Waldrandgesellschaften. Schlechte Wasserversorgung, die Trockengesellschaften hervorbringt, ist an grundwasserfernen Standorten auf Substraten mit ungünstiger Feldkapazität gegeben. Dort ist die Wasserversorgung eine Funktion der Niederschlagsmenge und Niederschlagsverteilung und somit eine klimaabhängige Größe. Der klimadifferenzierende Einfluß der Lageparameter soll bei dieser Untersuchung als vernachlässigbar angesehen werden. Der hypsometrische Wandel von Temperatur und Niederschlag wird durch die in etwa einheitliche Höhenlage des Waldrandes bei ca. 250 m bis 300 m ü. NN (reliefbedingte Anbaugrenze der Weinrebe) ausgeschaltet. Durch die Lage des Untersuchungsgebietes am westlichen Rand des Oberrheingrabens überwiegt die E- bis SE-Exposition. Abweichungen davon, die sich beispielsweise in Taleinschnitten ergeben, werden ggf. bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt.

Der Waldmantel ist als Gehölzzone zwischen krautigem Waldsaum zum Freiland hin und geschlossener Waldgesellschaft definiert. Er ist, relativ unbeeinflusst vom Bestandsklima des geschlossenen Waldes, direkt dem zonalen Klimageschehen ausgesetzt. DIERSCHKE (1974, S. 17) sieht im Waldmantel eine von Klima und Substrat abhängige Sukzessionsgesellschaft in der *de natura* Arten der potentiellen Waldvegetation eines Standortes auftreten. Sie sind vergesellschaftet mit spezifischen lichtliebenden Gehölzgattungen des Mantels (*Crataegus*, *Prunus*, *Rosa*, *Cornus*, *Corylus*, *Rubus*, *Lonicera* etc.; vgl. ELLENBERG 1978, S. 776), die es erlauben, die Pflanzengesellschaften des Waldmantels zusammen mit denen der Heckengesellschaften pflanzensoziologisch in einer eigenen Ordnung *Prunetalia spinosae* innerhalb der *Querco-Fagetea* zu fassen. Aufgrund des weitgehenden Fehlens von Waldarten in optimal entwickelten, größerflächigen Mänteln werden Hecken- und Waldmantelgesellschaften auch oft in einer eigenständigen Klasse *Rhamno-Prunetea* vereinigt (vgl. SCHWABE-BRAUN u. WILMANN 1982, S. 53). Die primär klimaabhängige spezifische Artenzusammensetzung des Waldmantels wird von edaphischen Faktoren und anthropogenen Eingriffen modifiziert (vgl. OBERDORFER 1992a, S. 81). Diese primäre Abhängigkeit der Artenkomposition des Waldmantels vom Klima sollte bei ähnlichen edaphischen Bedingungen und mehr

oder weniger konstanten Lageparametern als Indikator für einen schwachen meridionalen Klimawandel dienen können. Je nach Ausmaß der anthropogenen Beeinflussung der Waldgesellschaft bzw. des Freilandes reagiert die Zusammensetzung des Waldmantels mit dem Auftreten von Arten der naturferneren Waldgesellschaften und Forsten bzw. durch mechanische Bearbeitung und den Einsatz von Herbiziden und Fungiziden mit einem Rückgang der Artenvielfalt. Aufgrund des dichten Wuchses der Gehölze ist eine Krautschicht kaum ausgebildet, so daß vorwiegend Frühjahrsgeophyten mit geringen Deckungsgraden (insgesamt < 5%; DIERSCHKE 1974, S. 16) im Waldmantel auftreten. Deshalb und aufgrund der Sensibilität der Krautvegetation gegenüber bestandsklimatischen Einflüssen und Substratvariationen ist sie bei diesem Untersuchungsansatz nicht einbezogen worden (vgl. RETUERTO u. CARBALLEIRA 1992).

Klassifizierung der Waldmantel-Standorte

Die Mosaikstruktur des Waldmantels unterstützt einen klassifikatorischen Ansatz, in dem Aufnahme-standorte über ihren Artenbesatz zu Standorttypen ähnlicher Artenzusammensetzung zusammengefaßt werden, um schließlich über die Raummuster der jeweiligen Standortgruppen einen Hinweis auf einen möglichen ökologischen Gradienten zu bekommen. Die Aufnahmeflächen wurden dabei in Anlehnung an die Gradientanalyse nach WHITTAKER (1967) entlang eines N-S Transektes in mehr oder weniger gleichen Abständen angeordnet. Bei Unsicherheiten wurden mehrere Aufnahmen an einer Lokalität (2 bis 3) vorgenommen. Die Größe der Aufnahmeflächen lag zwischen 150 und 200 m² (vgl. WILDI 1986, S. 25 f.). Dabei orientierte sich die Flächengröße an der Aufnahmemethode nach dem Minimumareal. Die einzelnen Gehölzarten (Bäume, Sträucher, Halbsträucher) wurden mit ihrer Individuenzahl (Abundanz) am Standort erfaßt. Von einer Aufnahme der Artmächtigkeiten nach BRAUN-BLANQUET oder DU RIETZ wurde abgesehen, um für die anschließenden statistischen Berechnungen ein geeignetes intervallskaliertes Skalenniveau der Daten zu erreichen. Auch eine Untergliederung nach Wuchsformen erschien wenig sinnvoll, da der Waldmantel weniger durch Etagerung als vielmehr durch das mosaikartige Nebeneinander der Arten physiognomisch geprägt wird. Zwischen Landau und Bad Dürkheim wurden so im Spätsommer 1990 47 Aufnahmen der Gehölze des Waldmantels zwischen Wingert (Weinberg) und Wald

Tabelle 3: Clusterzugehörigkeit der Standorte zu den Clustern einer 6er-Partition in Nord-Süd-Anordnung; Gruppierungsvariable: Artenbesatz

Cluster membership of locations at clusters of a 6th-partition in north-south orientation; grouping variable: species

lfd. Standort-Nr.*)	Cluster-Nr.					
	I	II	III	IV	V	VI
01	x	.	.	.	.	.
02	x	.	.	.	.	.
03	x	.	.	.	.	.
04	.	x	.	.	.	.
05	x	.	.	.	.	.
06	.	x	.	.	.	.
07	x	.	.	.	.	.
08	x	.	.	.	.	.
09	.	x	.	.	.	.
10	x	.	.	.	.	.
11	.	x	.	.	.	.
12	.	.	x	.	.	.
13	.	x	.	.	.	.
14	.	x	.	.	.	.
15	x	.	.	.	.	.
16	x	.	.	.	.	.
17	.	x	.	.	.	.
18	.	x	.	.	.	.
19	.	x	.	.	.	.
20	.	x	.	.	.	.
21	.	x	.	.	.	.
22	.	x	.	.	.	.
23	.	x	.	.	.	.
24	.	.	.	x	.	.
25	.	.	.	x	.	.
26	.	x	.	.	.	.
27	.	.	.	x	.	.
28	.	.	x	.	.	.
29	.	.	.	x	.	.
30	.	x	.	.	.	.
31	x	.
32	x
33	x
34	.	.	.	x	.	.
35	.	x	.	.	.	.
36	.	.	.	x	.	.
37	.	.	.	x	.	.
38	.	x	.	.	.	.
39	x	.
40	.	.	.	x	.	.
41	.	.	.	x	.	.
42	.	x	.	.	.	.
43	.	x	.	.	.	.
44	.	x	.	.	.	.
45	.	x	.	.	.	.
46	.	x	.	.	.	.
47	.	x	.	.	.	.

*1) Standorte geordnet von Nord nach Süd

durchgeführt (vgl. Abb. 4). Einundfünfzig Gehölzarten stellen die unabhängigen Variablen der resultierenden Matrix (Tab. 2).

Eine Clusteranalyse über die 47 Vegetationsaufnahmen faßt die Standorte nach der Ähnlichkeit ihres Artenbesatzes in Gruppen (Clustern) zusammen. Die Analyse basiert auf dem hierarchisch-agglomerativen Gruppierungsalgorithmus nach WARD (1963), die Ähnlichkeitsstruktur wird auf der Grundlage quadrierter euklidischer Distanzen ermittelt (vgl. Tab. 3 u. Abb. 2). Zwei Probleme treten bei der hier durchgeführten Clusteranalyse der Waldmantel-Standorte auf. Das erste liegt im massenhaften Auftreten einzelner Arten (Bsp. *Rubus*), das zu einer Überbewertung der Art führt und ihr eine nichtbegründete „Trennstärke“ verleiht. Das zweite Problem liegt im „Nichtauftreten“ vieler Arten an den meisten Standorten, so daß eine Ähnlichkeit zwischen Standorten vielmehr auf gemeinsamem Nichtvorhandensein von Arten als auf einem ähnlichen Artenbesatz beruhen kann. Der

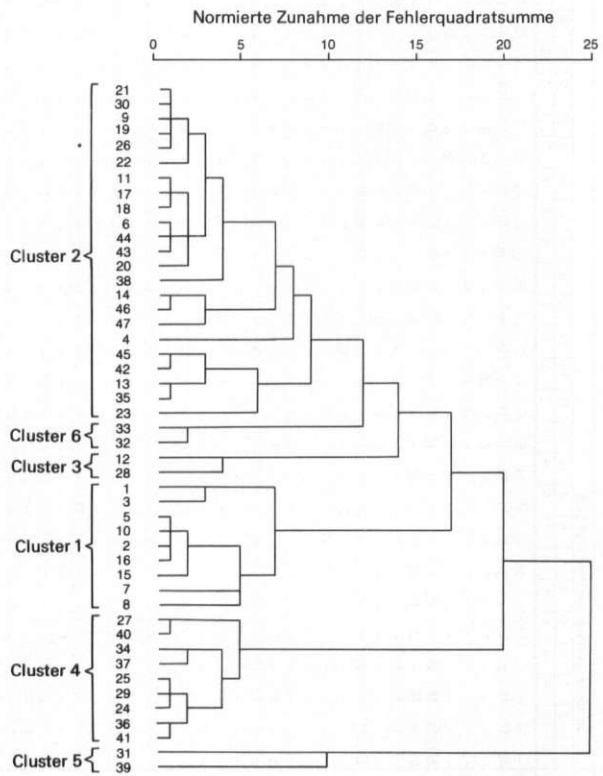


Abb. 2: Fusionsdendrogramm der Clusteranalyse für die 6er-Partition mit normierter Zunahme der Fehlerquadratsumme

Dendrogramm showing the hierarchic classification of locations beginning on the level of a 6th-partition

Überrepräsentanz von Arten kann durch geeignete partielle Datentransformationen (Wurzelziehen, Logarithmieren) begegnet werden (vgl. WILDI 1986, S. 43 f.). Das zweite Problem kann mit Distanzmaßen nach Art der Tanimoto-Metrik umgangen werden, die den Fall des gemeinsamen Nichtvorhandenseins eliminieren. Das Problem tritt auch bei einer einfachen binären Presence/Absence-Analyse nicht auf, auf der z. B. die Konzentrationsanalyse (vgl. WILDI 1986, S. 176 f.) beruht. Bei ihr geht jedoch jede unterschiedliche Repräsentanz der Arten an den Standorten verloren. Eine im Anschluß an die Gruppierung durchgeführte Diskriminanzanalyse extrahiert über einen Trennwert *Wilks Lambda* 17 Gehölzarten mit signifikanter, univariater Trennrelevanz (vgl. Tab. 4). Dieselben 17 Gehölzarten werden auch über einen Repräsentationswert T separiert:

$$T = \frac{x_g - x_{ges}}{s_{ges}},$$

wobei x_g den Variablenmittelwert über die Standorte eines Clusters, x_{ges} den Variablenmittelwert über alle Standorte und s_{ges} die Standardabweichung der Variablen über alle Standorte darstellt. Die Repräsentanz der 51 Arten in jedem Cluster kann Tab. 5 entnommen werden. Die endgültige Clusterpartition der 47 Standorte der Waldmantelanalyse wird durch das Heterogenitätsmaß der Fehlerquadratsumme

Tabelle 4: Signifikant gruppentrennende Arten, geordnet nach abnehmender Trennstärke

Significantly separating species in the order of decreasing separating value

Art	<i>Wilks Lambda</i>	IW ¹⁾
01 <i>Vaccinium myrtillus</i>	0.127	<0.1%
02 <i>Hedera helix</i>	0.191	<0.1%
03 <i>Prunus spinosa</i>	0.225	<0.1%
04 <i>Castanea sativa</i>	0.229	<0.1%
05 <i>Rosa canina</i>	0.331	<0.1%
06 <i>Cytisus scoparius</i>	0.337	<0.1%
07 <i>Tilia cordata</i>	0.511	<0.1%
08 <i>Calluna vulgaris</i>	0.545	<0.1%
09 <i>Acer campestre</i>	0.646	<1.0%
10 <i>Pinus sylvestris</i>	0.676	<1.0%
11 <i>Rubus spec.</i>	0.683	<1.0%
12 <i>Fagus sylvatica</i>	0.688	<1.0%
13 <i>Rhus typhina</i>	0.725	<5.0%
14 <i>Betula pendula</i>	0.728	<5.0%
15 <i>Sorbus aucuparia</i>	0.742	<5.0%
16 <i>Larix decidua</i>	0.749	<5.0%
17 <i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.789	<10.0%

¹⁾ IW = Irrtumswahrscheinlichkeit

innerhalb der Cluster auf 6 festgelegt. Weitere Fusionschritte mit normierter Fehlerquadratsummen-Zunahme sind dem Fusions-Dendrogramm zu entnehmen (vgl. Abb. 2).

Um das Raummuster der Standorttypen auf eine mögliche Beeinflussung durch einen Klimagradien hin zu untersuchen, soll versucht werden, den Klimaeinfluß auf das Artengefüge der Cluster über eine Arealtypenanalyse zu operationalisieren. Dazu wird der relative Anteil der Arten an den vorkommenden Florenelementen je Cluster bestimmt (vgl. FRANKENBERG 1979, S. 47). Die im Untersuchungsgebiet vertretenen Arealtypen (Florenelemente) sind in ihren Beziehungen zueinander in Abb. 3 dargestellt. Die Zuordnung der einzelnen Gehölzarten zu den Florenelementen wurde nach OBERDORFER (1970) vorgenommen. Die relativen Anteile der einzelnen Arealtypen an der Gesamtartenzahl pro Cluster einer 6er-Partition können den Arealtypenspektren in Abb. 6 entnommen werden. Um eventuell artenkonfigurierende Einflüsse weiterer Standortfaktoren zu ermitteln, sind nach ELLENBERG Zeigerwertspektren (vgl. ELLENBERG 1979, S. 21) für die einzelnen Cluster ermittelt worden (vgl. Tab. 6).

Interpretation der Analyseergebnisse

Zur Interpretation der Artengruppen der sechs Standort-Cluster der Gruppierungsanalyse können statistisch signifikante Trenngrößen (T-Wert), Florenspektren der einzelnen Cluster, Zeigerwertspektren und zu deren Verifikation Ergebnisse von Bodenanalysen herangezogen werden. Bei der Auswertung der Repräsentanzwerte (T-Werte) erweist es sich als problematisch, daß trotz der Gruppierung eine relativ große innere Heterogenität der Cluster besteht. Dies war angesichts der beinahe quadratischen Matrixform (51 Arten bei 47 Standorten) zu erwarten und muß bei der Interpretation der Cluster berücksichtigt werden.

Die Waldmäntel im gesamten untersuchten Gebiet zwischen Landau und Bad Dürkheim lehnen sich überwiegend an Edelkastanienwälder an, die als zusammenhängender Gürtel den Übergang zu den zonalen Eichen-Buchenwald-Gesellschaften bilden. Sie treten als Mischbestände oder in Form von mehr oder weniger geschlossenen Reinbeständen auf (vgl. Abb. 1). Anhand der Arthäufigkeiten in Tab. 2 lassen sich die Bestandsformen ableiten, die sehr gut mit den qualitativen Mengenangaben bei LANG (1970, S. 105–108) korrelieren. LANG beschreibt die ausgedehntesten Kastanienwälder am Ausgang des Moden-

Tabelle 5: Über- bzw. Unter(-)Repräsentanz der einzelnen Arten in den Clustern einer 6er-Partition
 Over- and under(-)representation of the individual species in clusters of a 6th-partition

Arten	Cluster-Nr.					
	I	II	III	IV	V	VI
<i>Castanea sativa</i>	-0,275	-0,502	-0,640	1,756	0,148	-0,456
<i>Rubus spec.</i>	-0,354	0,047	0,006	-0,470	-0,851	-0,666
<i>Cytisus scoparius</i>	-0,360	-0,052	1,912	0,315	-0,554	-0,554
<i>Betula pendula</i>	-0,493	-0,054	0,002	0,519	0,695	-0,196
<i>Pinus sylvestris</i>	-0,414	-0,205	2,276	0,383	0,518	-0,294
<i>Robinia pseudacacia</i>	0,170	0,177	-0,340	-0,322	-0,505	-0,505
<i>Hedera helix</i>	1,821	-0,359	-0,542	-0,542	-0,542	-0,542
<i>Rosa canina</i>	-0,183	-0,130	-0,300	-0,180	-0,356	3,830
<i>Sambucus nigra</i>	0,334	0,058	-0,079	-0,301	-0,365	-0,365
<i>Acer platanoides</i>	-0,066	0,280	-0,389	-0,389	-0,389	-0,389
<i>Quercus petraea</i>	-0,320	0,229	0,131	-0,219	-0,019	-0,320
<i>Prunus spinosa</i>	0,017	-0,205	-0,277	-0,273	-0,312	4,101
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	-0,358	-0,049	1,585	-0,007	-0,358	1,261
<i>Picea abies</i>	-0,332	0,007	0,839	-0,072	1,230	-0,332
<i>Clematis vitalba</i>	0,778	-0,173	-0,202	-0,202	-0,202	-0,202
<i>Ligustrum vulgare</i>	-0,072	0,205	-0,272	-0,272	-0,272	-0,272
<i>Vitis vinifera</i>	-0,292	-0,060	-0,292	0,386	0,089	0,471
<i>Carpinus betulus</i>	-0,240	0,229	-0,240	-0,185	-0,240	-0,240
<i>Crataegus spec.</i>	-0,100	0,228	-0,289	-0,289	-0,289	-0,289
<i>Larix decidua</i>	-0,320	-0,227	0,755	0,372	-0,320	1,829
<i>Vaccinium myrtillus</i>	-0,261	-0,225	-0,261	-0,018	4,365	-0,261
<i>Populus tremula</i>	-0,218	-0,173	-0,218	0,465	-0,218	1,318
<i>Prunus avium</i>	-0,282	0,230	-0,282	-0,118	-0,282	-0,282
<i>Prunus padus</i>	0,431	0,006	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222
<i>Calluna vulgaris</i>	-0,192	-0,160	-0,192	-0,006	3,151	-0,192
<i>Sorbus aucuparia</i>	-0,236	-0,221	-0,236	0,458	2,019	-0,236
<i>Fagus sylvatica</i>	-0,250	0,005	-0,250	-0,250	2,554	-0,117
<i>Quercus robur</i>	0,043	0,060	-0,358	0,043	-0,358	-0,358
<i>Euonymus europaea</i>	0,708	-0,119	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267
<i>Acer campestre</i>	0,029	-0,101	-0,242	-0,242	-0,242	2,599
<i>Acer pseudoplatanus</i>	-0,217	0,047	-0,217	0,242	-0,217	-0,217
<i>Alnus glutinosa</i>	0,259	-0,098	-0,275	0,053	-0,279	-0,279
<i>Fraxinus excelsior</i>	-0,146	-0,146	-0,146	0,615	-0,146	-0,146
<i>Malus sylvestris</i>	0,608	-0,117	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185
<i>Cornus sanguinea</i>	0,616	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146
<i>Laburnum anagyroides</i>	0,094	0,088	-0,191	-0,191	-0,191	-0,191
<i>Ilex aquifolium</i>	-0,232	-0,021	-0,232	0,442	-0,232	-0,232
<i>Corylus avellana</i>	-0,149	0,152	-0,149	-0,149	-0,149	-0,149
<i>Rhus typhina</i>	-0,209	-0,209	2,242	0,334	-0,209	-0,209
<i>Cupressus sempervirens</i>	-0,146	0,152	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146
<i>Juglans regia</i>	-0,146	0,152	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146
<i>Prunus domestica</i>	-0,146	0,152	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146
<i>Sequoia gigantea</i>	-0,146	-0,146	-0,146	0,615	-0,146	-0,146
<i>Syringa vulgaris</i>	0,615	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146
<i>Populus nigra</i>	-0,178	0,113	-0,178	-0,178	-0,178	0,658
<i>Lonicera periclymenum</i>	-0,146	0,152	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146
<i>Rhododendron spec.</i>	-0,146	-0,146	-0,146	0,616	-0,146	-0,146
<i>Rosa corymbifera</i>	-0,146	-0,146	-0,146	0,616	-0,146	-0,146
<i>Salix caprea</i>	-0,146	-0,146	-0,146	0,616	-0,146	-0,146
<i>Tilia cordata</i>	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146	-0,146	3,281
<i>Abies alba</i>	-0,146	-0,146	-0,146	0,615	-0,146	-0,146

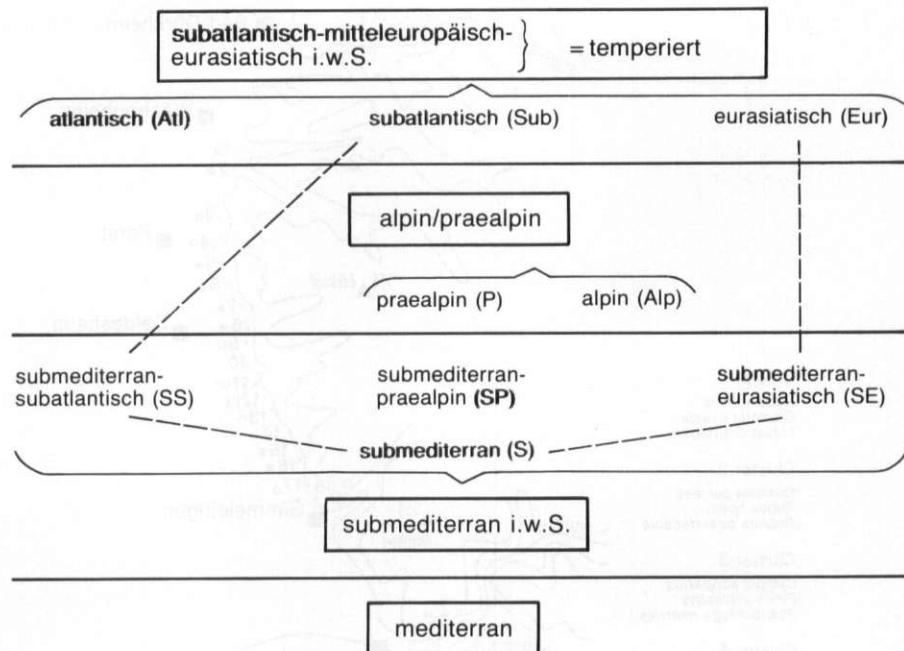


Abb. 3: Schema der Arealtypen des Untersuchungsgebietes

Quelle: FRANKENBERG 1979, S. 4

Chart of areal types within the study area

bachtals (Standort-Nr. 28 bis 37), westlich von Weyher (Standort-Nr. 27) und an der Ludwigshöhe westlich von Edenkoben (Standort-Nr. 25 u. 26). Vor allem auf den ton- und basenreicheren Böden des Unteren Buntsandsteins an den Hangfußbereichen der Nördlichen Oberhaardt zwischen Landau und Neustadt (vgl. Abb. 5) gedeiht die Edelkastanie vorzüglich. Bei genügender Feuchtigkeit (!) erreicht sie auch auf den nährstoffarmen Böden des Mittleren Buntsandsteins gute Wuchseleistungen und bildet geschlossene Bestände (vgl. LANG 1969, S. 32). An der Mittelhaardt sind dagegen reine Kastanienbestände selten. Hier tritt die Kastanie als Unterwuchs von Kiefernwäldern und gemischt mit *Quercus petraea* und *Quercus robur* auf. Die Differenzierung nach Bestandsformen respektive Individuenzahlen wirkt sich sowohl bei *Castanea sativa* als auch bei anderen Arten auf die Clusterbildung aus. Quantitative vegetationsgeographische Untersuchungen von FRANKENBERG u. HIMMLER (1989) und RETUERTO u. CARBALLEIRA (1992) zeigen, daß sich der Vegetationswandel entlang klimatischer Gradienten weniger in Änderungen des Artenbesatzes als vielmehr in ab- bzw. zunehmenden Individuenzahlen identischer, klimasensibler Spezies ausdrückt; ein Aspekt, der bei der klimatischen Interpretation der Standort-Cluster eine wichtige Rolle spielt.

Bei den Waldmantelgesellschaften kann nach DIERSCHKE (1974, S. 45) und OBERDORFER (1992 a, S. 99–105) der subatlantisch geprägte Verband des Rubion subatlanticum (neuerer Nomenklaturvorschlag: Pruno-Rubion, vgl. OBERDORFER 1992 a, S. 99) für das gesamte Untersuchungsgebiet als vorherrschend angesehen werden. Seine Charakterarten *Rubus fruticosus* agg. und *Cytisus scoparius* sind einzeln oder gemeinsam in allen Clustern vertreten. *Lonicera periclymenum* als weitere ausgesprochen subozeanische Charakterart tritt kaum in Erscheinung. Hinzu kommen die typischen Charakterarten der Prunetalia spinosae: *Prunus spinosa*, *Rosa canina*, *Crataegus* spec., *Clematis vitalba*, *Euonymus europaea* und Arten der angrenzenden Waldgesellschaften. Häufig finden sich nur fragmentarische Gesellschaften in denen die Prunetalia- Straucharten ganz zurücktreten können, und nur noch *Rubus* div. spec. als Waldmantelart erscheinen. Die dadurch erschwerte soziologische Einordnung ist im Rahmen dieser Arbeit jedoch weniger von Bedeutung: DIERSCHKE trennt das Carpino-Prunetum (bei OBERDORFER (1992 a, S. 100) durch die Brombeer-Schlehenbusch-Assoziation Rubo-Prunetum vertreten), Zentralassoziation des Pruno-Rubion-Verbandes, in einen „ärmeren Flügel“ mit vorwiegend anspruchslosen Arten (z. B. *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Sorbus aucuparia*) und

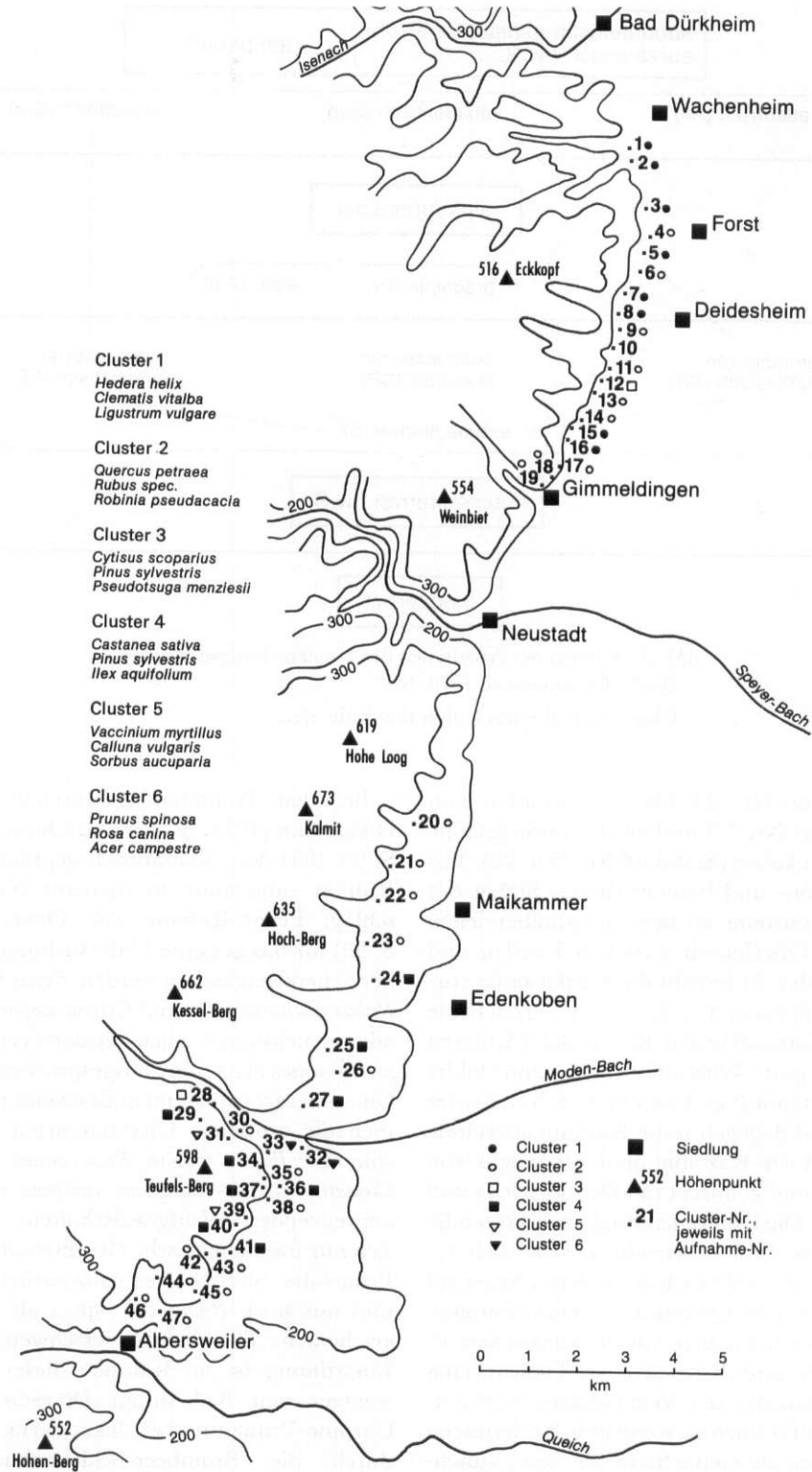


Abb. 4: Übersichtskarte des Haardtrandes zwischen Landau und Bad Dürkheim mit Lage der Vegetationsaufnahmen und deren Clusterzugehörigkeit

General map of the Haardtrand between Landau and Bad Dürkheim with position of vegetation plots and their cluster membership

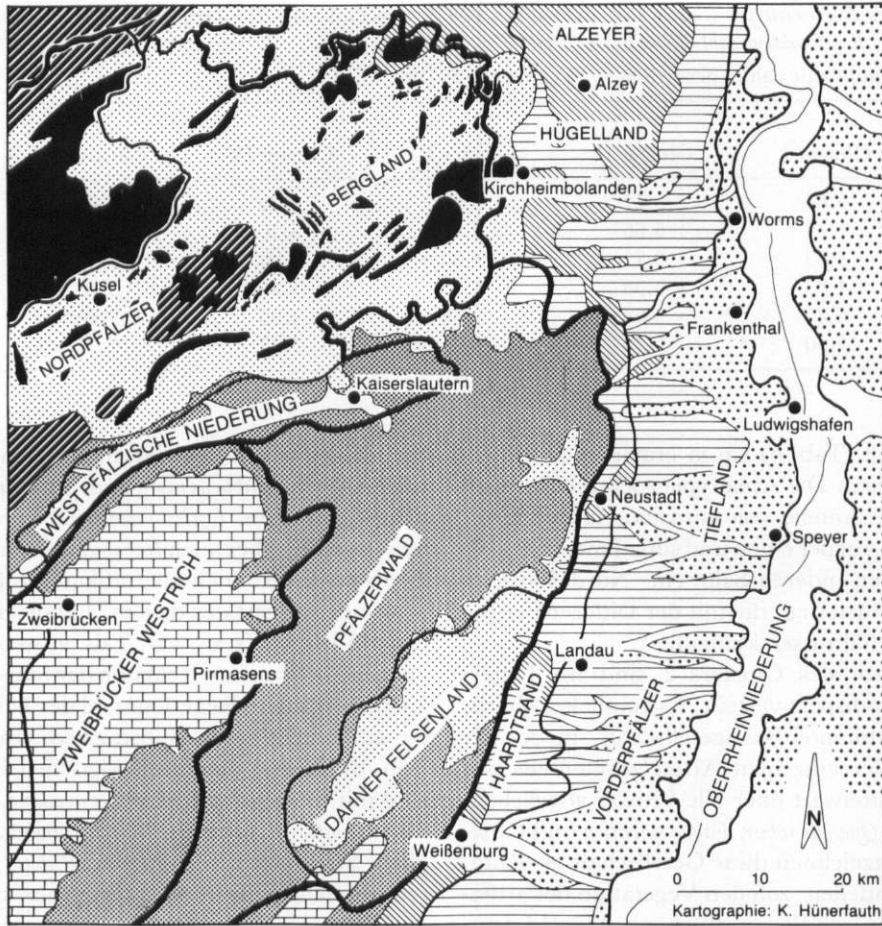


Abb. 5: Geologische Übersichtskarte der Pfalz mit naturräumlichen Einheiten

Quelle: DÖRRER 1989, S. 15

Geological map of the Palatinate with landscape units

einen „reicheren Flügel“ mit anspruchsvolleren Spezies (z. B. *Cornus sanguinea*, *Euonymus europaea*). Diese Spaltung nach Bodenfaktoren läßt sich im Untersuchungsgebiet nachvollziehen und zwar vorzugsweise durch eine Partition der Standorte in einen „ärmeren“ südlichen Teil (Cluster 4 u. 5) und einen „reicheren“ Nordteil (Cluster 1), wobei der Übergangsbereich zwischen Neustadt und Maikammer zu lokalisieren ist (vgl. Abb. 4). Zu den genannten Arten kommen im Bereich des südlichen Teils noch *Vaccini-*

nium myrtillus und *Calluna vulgaris* hinzu, im „reicheren“ Nordteil *Clematis vitalba*, *Prunus padus*, *Acer campestre* und *Malus sylvestris*. Betrachtet man mittlere Reaktionszahlen (vgl. Tab. 6) und pH-Werte der Bodenanalysen (vgl. Tab. 9) als Maße für die Nährstoffversorgung, so bestätigt sich die Güte der Zeigerarten. Eine klimatische Gliederung der Cluster in subatlantische und eher eurasiatische Typen ist nach den Zeigerwertspektren allein nicht möglich, da entsprechende Zeigerwerte (Kontinentalitätszahl, Tem-

Tabelle 6: Mittlere Zeigerwerte pro Cluster nach ELLENBERG (1979; L = Lichtzahl, T = Temperaturzahl, K = Kontinentalitätszahl, F = Feuchtezahl, R = Reaktionszahl, N = Stickstoffzahl)

Mean cluster indicator values according to ELLENBERG (1979)

Standortfaktoren	Cluster I	Cluster II	Cluster III	Cluster IV	Cluster V	Cluster VI
L	5,85	5,77	6,63	6,00	5,84	5,91
T	5,77	5,66	5,50	5,50	6,00	6,00
K	3,63	3,72	4,00	3,95	3,87	4,18
F	4,83	5,38	4,33	5,23	5,33	4,83
R	6,81	5,68	3,50	4,90	3,80	6,33
N	5,90	5,33	5,75	5,27	3,33	5,00

peraturzahl; vgl. Tab. 6) kaum gravierende Unterschiede aufweisen. Die Arealtypenspektren dagegen lassen über die Anteile von eurasiatisch/mediterranen Elementen auf der einen und subatlantisch/mediterranen auf der anderen Seite eine Nord/Süd-Einordnung der Cluster zu, die mit der Differenzierung nach Bodenverhältnissen koinzidiert.

Die Standorte des Clusters 2 sind im Untersuchungsgebiet dispers verteilt. Es beinhaltet gleichsam eine Waldmantel-Basisgesellschaft, in der die Abundanzen der einzelnen Arten größtenteils nur wenig vom Mittelwert über alle Cluster abweichen. *Quercus petraea*, *Quercus robur*, *Fagus sylvatica* und *Carpinus betulus* kennzeichnen diese Gesellschaft als Rudiment der potentiellen, zonalen Vegetation des artenarmen, bodensauren Eichen-Buchenwaldes (Melampyro-Fagetum OBERDORFER) und bilden gemeinsam mit der Edelkastanie die Waldgesellschaft bzw. den Waldrand. *Lonicera periclymenum*, *Euonymus europaeus*, *Ilex aquifolium* und vor allem *Cytisus scoparius* können als Vertreter der subatlantisch/gemäßigten Elementen angesehen werden. Bis auf *Cytisus scoparius* sind sie vorwiegend im Südteil des Untersuchungsgebietes vertreten. *Ligustrum vulgare* und *Clematis vitalba* betonen dagegen den thermophilen Charakter des Haardtrandes. Sie haben jedoch ihren Schwerpunkt an den nördlichen Standorten. *Ligustrum vulgare* tritt südlich von Neustadt nur in einer warmen Hangzone eines südexponierten Hanges nördlich von Albersweiler in Erscheinung (Standort-Nr. 46, 47). Häufig trifft man am Rand des Reblandes Gehölzbestände mit der wärmeliebenden *Robinia pseudacacia*, die hier meist als Rebsteckenlieferant angepflanzt worden ist, sich jedoch subspontan ausbreitet und wie *Castanea sativa* bereits als eingebürgert angesehen werden kann. Deshalb findet man sie vielfach auch eingestreut in Kastanien/Eichen/Kiefern-Mischbeständen. Die stickstoffautotrophe *Robinia* trägt über ihre stickstoffhaltige Blattstreu zur Eutrophierung ihres

Standortes bei, infolgedessen sich häufig die nitrophilen Arten *Sambucus nigra* und *Urtica dioica* im Unterwuchs einstellen. *Cytisus scoparius*, vereinzelt *Vaccinium myrtillus*, aber auch *Ilex aquifolium* und die häufige *Betula pendula* können als Indikatoren für die Basenarmut des Substrates dienen. Laboruntersuchungen des pH-Wertes (s. u., vgl. Tab. 9) weisen eine überwiegend bodensaure Reaktion der Standorte auf, und auch die mittlere Reaktionszahl der Zeigerwerte deutet auf mäßig saure Substratverhältnisse hin (vgl. Tab. 6). Neben diesen ökologischen Indikatorarten sind mit *Crataegus spec.*, *Corylus avellana*, *Prunus avium*, *Prunus padus*, *Rosa canina*, *Prunus spinosa* und der fast an allen Standorten vertretenen *Rubus fruticosus* agg. (zusammengefaßt unter *Rubus spec.*) typische Arten und Gattungen des Waldmantels vertreten. Das Florenspektrum (vgl. Abb. 6) von Cluster 2 weist einen Schwerpunkt bei den zonalen Arten und weitere Peaks bei subatlantisch/submediterranen und submediterranen Florenelementen auf. Darin spiegeln sich die zu Beginn beschriebenen Klimaverhältnisse wider. Die fünf weiteren Spektren weichen mehr oder weniger stark von dieser Artenkomposition und -repräsentanz ab.

Cluster 4 beinhaltet Standorte am Rande geschlossener Kastanienbestände, wie sie von LANG zwischen der Ludwigshöhe bei Edenkoben und dem Ausgang des Modenbachtals beschrieben worden sind (s. o.). *Castanea sativa* ist an diesen Standorten am stärksten im gesamten Untersuchungsgebiet vertreten. An fast allen Standorten ist *Pinus sylvestris* beigemischt. Weinreben (*Vitis vinifera*) kennzeichnen die Standorte als Teil ehemaliger Weinberge. Dies erklärt das signifikante Vorkommen der Vorwaldarten *Betula pendula*, *Populus tremula* und *Sorbus aucuparia* an den Standorten von Cluster 4 (vgl. Tab. 5). Daneben tritt *Prunus spinosa* als Vertreter des Rubion-Verbandes auf. Den etwas schwächer erscheinenden *Rubus spec.* stehen höhere Individuenzahlen von *Cytisus scoparius* gegen-

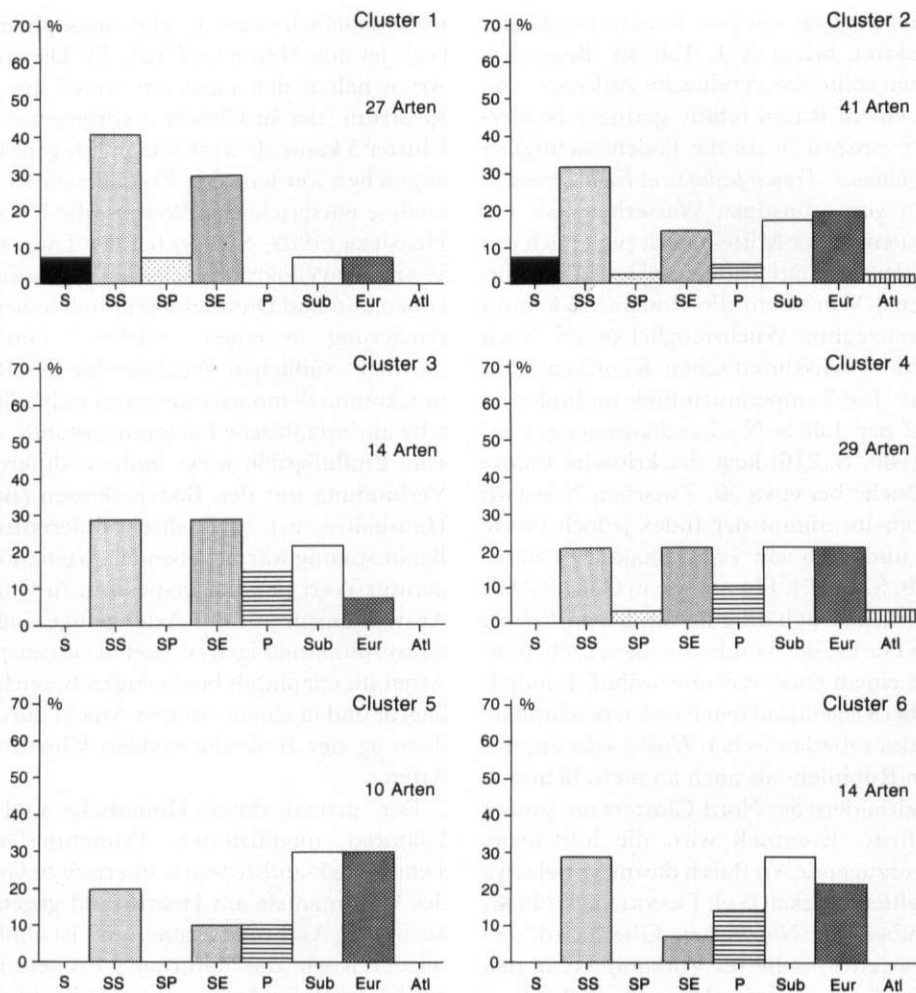


Abb. 6: Relativer Anteil der Arealtypen nach Abb. 3 je Cluster einer 6er-Partition (S = submediterranean, SS = submed./subatl., SP = submed./präalpin, SE = submed./euras., P = präalpin, Sub = subatl./mitteleurop.-zonal, Eur = eurasiatisch, Atl = atlantisch)

Relative frequency of areal types (see Fig. 3) at each cluster of a 6th-partition

über. Zusammen mit *Ilex aquifolium* betonen sie den subatlantischen Aspekt. Die Bodenanalysen belegen ein mäßig bis stark saures Bodenmilieu (vgl. Tab. 9; pH 4,2–5,0), ebenso die Werte des Zeigerwertspektrums. Das dennoch *Castanea sativa* höchste Abundanzwerte erreicht, ebenso *Cytisus scoparius*, kann als Beleg für den Einfluß eines Kontinentalitäts-Gradienten auf die Stärke des Auftretens klimasensibler Gehölze gewertet werden.

Cluster 5 faßt stark edaphisch kontrollierte Standorte zusammen. Ihre Böden sind extrem sauer (pH < 3,8); selbst im Zeigerwertspektrum sinkt die Reaktionszahl auf ein Minimum ab. Säurezeiger sind *Vaccinium myrtillus* und *Calluna vulgaris*, die in „Mas-

sen“ auftreten. Die Zeigerarten von Cluster 4 sind in Cluster 5 noch dominanter vertreten. Die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) wird zur bestimmenden Waldmantel-Baumart.

Das nördlich lokalisierte Cluster 1 stellt sich mit seinen Standorten als „reiche“ Variation des Rubo-Prunetum dar. *Clematis vitalba*, *Ligustrum vulgare*, *Cornus sanguinea*, *Prunus padus*, *Acer campestre* und *Euonymus europaea* vertreten die basiphile Gruppe, dazu kommen mit hohen Individuenzahlen als Charakterarten des Verbandes *Rubus spec.* und mit geringerer Stetigkeit die Prunetalia-Arten *Prunus spinosa*, *Rosa canina* und *Crataegus spec.* Der hohe Basengehalt der Böden im nördlichen Bereich des Untersuchungsraumes

wird durch die höchste mittlere Reaktionszahl der Zeigerwertspektren belegt (vgl. Tab. 6). Besonders erwähnt werden sollte das vereinzelte Auftreten von Arten, die in einem Raum relativ geringer Niederschläge höhere Ansprüche an die Bodenfeuchtigkeit stellen: *Alnus glutinosa*, *Prunus padus* und *Fagus sylvatica*. Sie profitieren vom günstigen Wasserhaushalt der schluffigen Böden an der Mittelhaardt (vgl. auch das Kapitel über den vegetationsdifferenzierenden Einfluß des Bodens). Vor allem die Rot-Buche kommt hier an die Grenze ihrer Wachsmöglichkeiten. Nach der Formel zur wuchsklimatischen Kontinentalität (Quotient aus Juli-Temperaturmittel multipliziert mit 1000 und der Jahres-Niederschlagsmenge) bei ELLENBERG (1986, S. 216) liegt der kritische Indexwert für die Buche bei etwa 30. Zwischen Neustadt und Bad Dürkheim nimmt der Index jedoch Werte zwischen 30 und 34,5 ein (vgl. FRANKENBERG u. HIMMLER 1989, S. 443 f.). Ebenso wie in Cluster 2 bilden an der Mittelhaardt häufig Bestände von *Robinia pseudacacia* das Gerüst der Waldmantelgesellschaften. Seltsam mutet einem dabei das ungewöhnlich individuellenstarke, überwiegend auf den Norden beschränkte Vorkommen des subatlantischen *Hedera helix* an, das sowohl an den Robinien- als auch an meist lichterem Kastanienwaldrändern des Nord-Clusters mit großer Stetigkeit auftritt. Eventuell wird die luftfeuchte Standorte bevorzugende Art durch die im Mittel etwa 5% höhere Luftfeuchtigkeit (vgl. FRANKENBERG 1988, S. 21) gegenüber der Nördlichen Oberhaardt begünstigt. Ein zweites, isoliertes Vorkommen an den Standorten des südexponierten Hanges nördlich von Albersweiler legt die Vermutung nahe, daß das Verbreitungsmuster der frostempfindlichen Art thermische Gründe hat.

Zieht man für einen Nord/Süd-Vergleich nun die Arealtypenspektren als Klimaindikation heran, so bestätigen sich eindeutig die bisher erarbeiteten Differenzierungen. Im Nord-Cluster 1 treten „zonale“ subatlantisch/mitteleuropäische und eurasiatische Elemente relativ zurück. Der atlantische Arealtyp und präalpine Elemente als Zeiger thermischer Ungunst fallen vollkommen aus. Sehr markant sind demgegenüber die submediterranean/subatlantischen, submediterranean/eurasiatischen und submediterranean/praealpinen Elemente präsent. Generell wird so der thermophile Charakter akzentuiert. Die submediterranean/subatlantischen Arten werden durch edaphische Faktoren begünstigt (s. u.) Die Süd-Cluster 4 und 5 weisen den Schwerpunkt ihrer Arealtypenspektren sukzessive zunehmend über Cluster 4 nach Cluster 5 bei den zonalen atlantischen, subatlantisch/mitteleuropäischen und präalpinen Florenelementen mit

mehr feuchteliebenden, eher mesophilen Arten auf (vgl. jeweils Abb. 6 und Tab. 6). Die eurasiatischen Arten halten den mittleren Anteil am Arealtypenspektrum, der in Cluster 2 vorgegeben wird. Auch Cluster 5 kann als stark edaphisch geprägtes Cluster angesehen werden. Das Ergebnis dieser Arealtypenanalyse entspricht den Werten, die FRANKENBERG u. HIMMLER (1989, S. 449) bei der Untersuchung von Weinberg-Wildkrautgesellschaften zwischen Edenkoben und Bad Dürkheim ermittelt haben. Die Differenzierung in einen „reichen“ nördlichen und „armen“ südlichen Wuchsbezirk des Rubo-Prunetum kommt demnach durch unterschiedliche klimatische und edaphische Faktoren zustande. Die klimatische Einflußgröße wirkt indirekt differenzierend in Verbindung mit den Bodenfaktoren (Bodenwasserhaushalt, s. u.), sowie direkt differenzierend durch Begünstigung wärmeliebender Arten (höchster Temperatur-Wert der Zeigerspektren in Cluster 1). Die Auswirkungen auf das Artengefüge äußern sich im schwerpunktmäßigen Auftreten von anspruchsvollen Arten im edaphisch begünstigten Bereich der Mittelhaardt und in einem zweiten Aspekt durch die Beeinflussung der Individuenzahlen klimatisch sensibler Arten.

Den primär durch klimatische und edaphische Faktoren modifizierten Prunetum-Gesellschaften stehen stark anthropogen überprägte Gesellschaften des Waldmantels am Haardtrand gegenüber. Doch auch das „Anthropo-Prunetum“ ist ähnlich zu differenzieren wie das naturnahe Prunetum. Zunächst zeichnet sich im Artenspektrum die direkte Prägung durch den Menschen ab. Cluster 3 ist durch *Picea abies*, *Pseudotsuga menziesii*, *Larix decidua* und *Rhus typhina* gekennzeichnet. Aspektbildend sind v. a. *Pinus sylvestris* und *Cytisus scoparius*, die zusammen mit *Betula pendula* die Basenarmut der Böden der Standorte dieses Clusters verdeutlichen (vgl. Zeigerwertspektrum Tab. 6, Bodenanalyse Tab. 8 und 9). Cluster 3 ist also auf eine Ebene mit Cluster 4 zu stellen, ergänzt durch azonale vom Menschen eingebrachte Baumarten der Wirtschaftswälder. In Cluster 6 sind *Pseudotsuga menziesii* und die etwas anspruchsvolleren *Populus nigra* und *Larix decidua* die Wirtschaftsbaumarten. *Vitis vinifera* tritt wie in Cluster 4 zusammen mit den Vorwaldarten *Populus tremula* und *Betula pendula* auf. Sie kennzeichnen die Sukzessionsgesellschaften brachgefallenen Rebgeleändes. Das charakteristische dieser Standorte sind jedoch dichte, meterhohe *Prunus spinosa/Rosa canina*-Gebüsche. Sie sind durch *Acer campestre* und die etwas anspruchsvollen Wirtschaftsbaumarten als Gesellschaften basen- und nährstoffreicher Standorte einzustufen. Die Zeigerwerte und

Tabelle 7: *Korngrößenanalysen und Humusgehalte von Bodenproben des nördlichen Untersuchungsgebietes*
 Grain-size analysis and content of humus of soil samples in the northern study area

Standort ¹⁾	Sand %	Schluff %	Ton %	Bodenart	C-org. %	Humus %	geol. Unterlage ³⁾	VC ²⁾
1	71,29	19,65	9,07	Ls	2,12	3,65	s _m -K	1
2	78,95	16,36	4,69	Ls	2,04	3,51	s _m -K	1
3	28,48	55,39	16,13	Lu	1,83	3,16	Löß	1
4	68,84	23,08	8,08	Ls	1,94	3,34	s _m -K	2
5	59,53	26,66	13,81	Ls	2,59	4,47	s _m -K	1
6	48,80	37,20	13,99	Lu	0,56	0,97	Löß	2
7	81,93	8,61	9,47	Ls	0,90	1,55	s _m -K	1
8	77,25	17,62	5,13	Ls	1,13	1,95	s _m -K	1
9	68,05	22,66	9,29	Ls	0,78	1,35	s _m -K	2
10	75,14	21,18	3,67	Ls	1,97	3,39	s _m -K	1
11	34,59	46,99	18,41	Lu	0,72	1,24	s _m -K	2
12	44,20	35,22	20,58	Lu	0,49	0,85	s _m -K	3
13	66,87	20,41	12,72	Ls	1,16	1,99	s _m -K	2
14	70,31	23,11	6,58	Ls	0,83	1,44	s _m -R	2
15	74,46	19,49	6,06	Ls	1,47	2,53	s _m -R	1
16	75,49	15,56	8,95	Ls	1,70	2,93	s _m -R	1
17	73,63	17,16	9,21	Ls	0,55	0,95	s _m -T	2
18	82,19	12,68	5,13	Ls	2,92	5,03	s _m -T	2
19	77,43	17,76	4,80	Ls	0,82	1,41	s _m -T	2

¹⁾ geordnet von Nord nach Süd

²⁾ VC = Vegetationscluster

³⁾ s_m = Mittlerer Buntsandstein, K = Karlstal-Schichten, R = Rehberg-Schichten, T = Trifels-Schichten

die Bodenanalyse (Tab. 9) unterstreichen die Zeiger-
güte des Artenbesatzes mit höchsten pH-Werten zwi-
schen pH 6,2 und 8,2 und guten Puffereigenschaften.
Der an das Cluster 1 erinnernde Artenbesatz mit
anspruchsvollen Arten zeichnet Cluster 6 gleichfalls
als stark edaphisch geprägten Typ aus.

Einfluß der Böden auf die Standortdifferenzierung

Typisch für den Gebirgsabfall des Pfälzerwaldes
zur Oberrheinebene sind podsolige oder podsolierte
Braunerden und Podsole mit geringem Basen- und
Nährstoffvorrat (PEMÖLLER 1969). Der Haardtrand
als Vorbergzone zeigt als Bodenarten vorwiegend
tonigen bis sandigen Lehm, lehmigen Sand und Ton.
Die Bodentypen wechseln mit dem geologischen
Untergrund, vorherrschend sind Braunerden, sowie
auf Kalksteinschollen Rendzinen oder Braunerde-
Rendzinen. Sind diese stärker verwittert, treten meist
Mergelböden mit den Bodenarten toniger Lehm bis
lehmiger Ton (HÖHL, DÖRRER u. SCHWEINFURTH
1983) auf. Kalke treten jedoch selten bis an den
Gebirgsfuß heran und sind an den Standorten des
Aufnahmenkollektivs nicht präsent. Das östlich vor-

gelagerte Riedelland (vgl. Abb. 5, naturräumliche
Einheit Vorderpfälzer Tiefland) weist im Bereich von
Lößlehmedden vorwiegend Schluff und Lehm, im
Bereich von Flußablagerungen meist sandig-schluffig-
kiesige Bodenarten auf. Typische Böden sind Löß- und
Lößlehm Böden, vor allem Pararendzinen und Braun-
erden mit hohem Nährstoffgehalt. In den Talzügen
treten vor allem Auesande mit wechselndem Lehm-
anteil auf (HÖHL, DÖRRER u. SCHWEINFURTH 1983).

Zwischen Nördlicher Oberhaardt und Mittel-
haardt besteht morphologisch und geologisch ein
deutlicher Unterschied (vgl. Abb. 5). An der Ober-
haardt bildet die Vorhügelzone einen mehrere Kilo-
meter breiten Streifen vor dem Gebirgsabfall. Die
Böden am Übergang vom Hangbereich des Gebirgs-
abfalls zum gebirgsrandnahen Hangfuß haben sich
meist auf Hangschutt entwickelt. Substrat-Liefer-
anten sind überwiegend die Gesteine des Oberrot-
liegenden und des Unteren Buntsandsteins. An der
Mittelhaardt setzen die Lößriedel dagegen direkt am
Gebirgsrand an. Hier wechseln sich in der Hangfuß-
zone Löß- bzw. Lößlehm Böden und Böden, die stär-
ker von den Sandsteinen des Mittleren Buntsand-
steins geprägt sind, ab. Oft kommt es auch zu Misch-
substraten aus umgelagerten Lössen und Hang-

Tabelle 8: Humusklassen der Bodenproben im nördlichen Untersuchungsgebiet

Humus-classes of soil samples in the northern study area

Humus-Gruppe	Standort-Nr.	Humusgehalt der Probe	VC ¹⁾
<2%	6	0,97%	2
schwach	7	1,55%	1
humos	8	1,95%	1
	9	1,35%	2
	11	1,24%	2
	12	0,95%	3
	13	1,99%	2
	14	1,44%	2
	17	0,95%	2
	19	1,41%	2
2-4%	1	3,65%	1
humos	2	3,51%	1
	3	3,16%	1
	4	3,34%	2
	10	3,39%	1
	15	2,53%	1
	16	2,93%	1
4-8%	5	4,47%	1
stark	18	5,03%	2
humos			

¹⁾ VC = Vegetationscluster

schuttmaterial. Die Böden des Mittleren Buntsandsteins müssen nach Substraten der Trifels-, Rehberg- und Karlstalschichten differenziert werden. Allgemein kann festgestellt werden, daß Verwitterungsböden des gesamten Mittleren Buntsandsteins einen geringen bis sehr geringen Basen- und Nährstoffvorrat aufweisen. Substrate der Trifels- und Rehberg-schichten sind jedoch deutlich stärker ausgelaugt als die der Karlstalschichten (vgl. HÖHL, DÖRRER u. SCHWEINFURTH 1983, S. 26-28). Dafür sind höhere Tongehalte bei generell sehr geringen Anteilen der Tonfraktion verantwortlich. Böden des Unteren Buntsandsteins sind dagegen feinsandig-lehmige Substrate. Bei doppelt so hohen Tongehalten des Ausgangsgesteins im Vergleich zum Mittleren Buntsandstein sind sie wesentlich fruchtbarer (vgl. ATZBACH 1964, S. 548). Auf Gesteinen des Oberrotliegenden entwickeln sich schwachtonige bis sandige Lehme, die im Basen- und Nährstoffcharakter eher den Substraten des Mittleren Buntsandsteins ähnlich sind. Im Bereich der Nördlichen Oberhaardt, zwischen St. Johann, nördlich von Albersweiler, und Weyher, westlich von Edenkoben, tritt als Besonderheit formationsübergreifend der gebleichte, hydrothermal ver-

änderte Haardtsandstein auf. Auf ihm entwickeln sich die ärmsten Sandböden im gesamten Untersuchungsraum.

Räumlich höher auflösende Analysen der Böden im Nordteil des Untersuchungsraumes (SCHWEINFURTH 1988) zeigen im Korngrößenspektrum charakteristische Unterschiede je nach Stärke des Einflusses des westlich gelegenen Substrat-Liefergebietes „Pfälzerwald“. So sind für den westlichen Bereich des Haardtrandes in topographischer Nähe zu den Buntsandsteinschollen des Grabenrandgebirges Substrate mit der Bodenart Sand bis lehmiger Sand vorherrschend. Charakteristisch für Böden der Lößauflagerungen der Riedelrücken des Haardtrandes sind die Bodenarten sandiger Lehm und schluffig-sandiger Lehm. Substrate der Bodenarten lehmiger Schluff oder sandig-lehmiger Schluff treten in Bereichen auf, die durch wachsende Distanz zum Pfälzer Wald und damit durch geringere Einflüsse des sandigen Ausgangsgesteins geprägt sind. In diesen Bereichen dominiert als Ausgangssubstrat der Löß. Im selben Untersuchungsraum wurden für die Standorte Nr. 1-19 Korngrößenanalysen vorgenommen und die Humusgehalte bestimmt. Die Bodenproben (Entnahmetiefe 0,1-0,3 m unter Flur) ergaben in der Korngrößenanalyse die Zusammensetzung nach Tab. 7 (vgl. auch Abb. 8). Die Clusterung der Proben

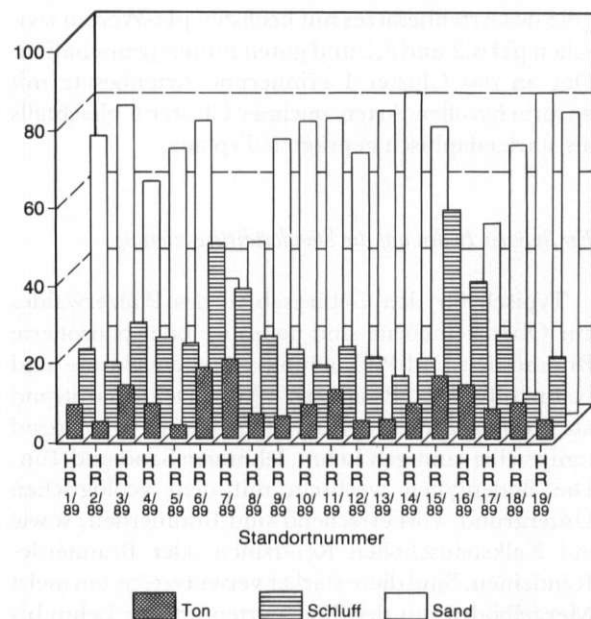


Abb. 7: Relative Anteile der Hauptfraktionen von 19 Bodenproben des nördlichen Untersuchungsgebietes

Grain-size content of main fractions from 19 soil samples in the northern study area

Tabelle 9: pH-Werte in wässriger (H₂O) und salzhaltiger (KCl) Lösung von Bodenproben des südlichen Untersuchungsgebietes
pH value of aqueous (H₂O) and salinous (KCl) solution of soil samples in the southern study area

pH-Wert	Cluster-Nr.	pH (H ₂ O) Standort-Nr.	Cluster-Nr.	pH (KCl) Standort-Nr. ¹⁾
6,2-8,2	II	22, 26, 35, 43	II	22
	V	31	V	31
	VI	32, 33	VI	32, 33
5,0-6,2	II	38, 42, 42 a	II	26, 35, 43
	III	28		
	IV	41		
4,2-5,0	II	20, 21, 30, 44, 46, 47	II	38, 42, 42 a, 44, 46, 47
	IV	24, 25, 27, 29, 34, 36, 37	III	28
			IV	41
3,8-4,2	II	23, 45	II	20, 21, 30
	IV	40	IV	24, 25, 27, 29, 34, 36, 40
< 3,8	V	39	II	23, 45
			IV	37
			V	39

¹⁾ Proben, die bei der KCl-Messung den pH-Bereich der H₂O-Messung nicht verlassen, sind durch Fettdruck hervorgehoben.

nach Bodenarten zeigt zwei statistisch bestimmte Bodenklassen mit unterschiedlichen Korngrößen-spektren (vgl. Abb. 7). Die Gruppe „sandiger Lehm“ (Ls) beinhaltet den Großteil der Proben (15 Standorte). Sie weist einen hohen Sandanteil (ca. 75%), teilweise aber auch relativ hohe Gehalte der Ton- (bis > 13%) und Schlufffraktion auf (z. B. Standort-Nr. 5, 9 u. 17). Dies kennzeichnet die Böden eindeutig als typische Mischsubstrate aus Hangschuttmaterial und umgelagertem Löß, wie sie SCHWEINFURTH (1988) für die gebirgsrandnahen Wurzelzonen der Riedelbereiche beschreibt. Die Gruppe „schluffiger Lehm“ (Lu; 4 Standorte) wird von einem hohen Schluffanteil (ca. 50%) geprägt, der auf das Ausgangssubstrat Löß zurückzuführen ist. Die Abb. 8 zeigt exemplarisch an den Proben Nr. 1 und Nr. 3 die Korngrößenverteilung beider Gruppen. Bezeichnend für die Gruppe „schluffiger Lehm“ ist der steile Anstieg der Kurve zwischen 4 µm und 50 µm; charakteristisch für Lößproben ist ein Korngrößenmaximum zwischen 10 µm und 50 µm. Die Bestimmung der Humusgehalte ergab allgemein sehr geringe Werte. Entsprechend der Kartieranleitung zur GÖK 25 (LESER u. KLINCK 1988, S. 76) sind die Böden überwiegend in die Humusklassen humos bis schwach humos einzuordnen (vgl. Tab. 8). Dies deckt sich mit den Ergebnissen bei SCHWEINFURTH (1988, S. 302-304). Der allgemein

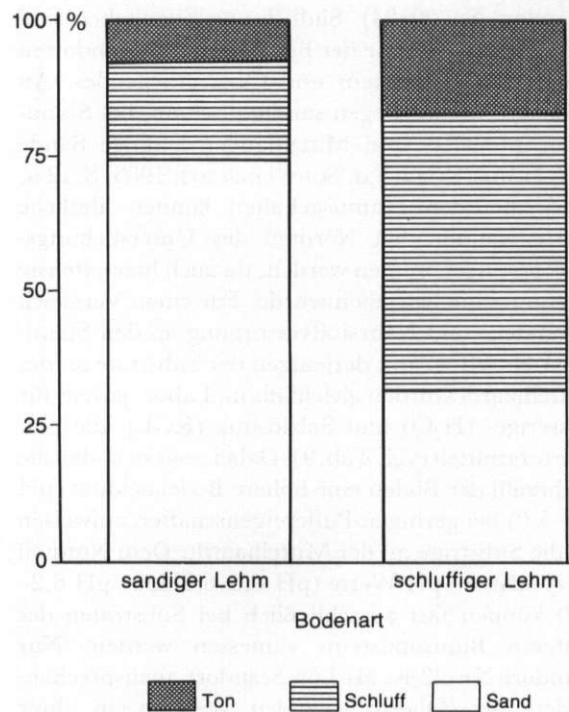


Abb. 8: Korngrößenverteilung bei Referenzproben der zwei Bodengruppen des nördlichen Untersuchungsgebietes
Grain-size distribution at reference samples of two soil groups in the northern study area

geringe Humusgehalt erklärt sich vor allem aus der jahrhundertelangen Streu- und Weidenutzung des Gebietes (Name: Haardt!). Die von SCHWEINFURTH durchgeführten Bodenanalysen ergaben für die waldrandnahen Bereiche im Gebiet um Forst (vgl. Abb. 4, Standort-Nr. 1-7) pH(H₂O)-Werte zwischen 6,2 und 8,2 bei relativ guten Puffereigenschaften sowohl der Löß-Böden als auch der Mischsubstrate. Proben weiter südlich im Gebiet um Gimmeldingen (vgl. Abb. 4, Standort-Nr. 15-19) wiesen, soweit sie Waldrandbereiche betrafen und keine Löß-Standorte, pH(H₂O)-Werte auf, die um eine Klasse (pH 5,0-6,2) tiefer liegen. Auch deren Puffervermögen ist weniger gut entwickelt als das der Proben westlich von Forst. In der geographischen Differenzierung spiegelt sich ein Wandel im Ausgangssubstrat wider. Im Abschnitt zwischen Wachenheim und dem Martental bei Deidesheim sind der Löß und die Karlstal-schichten das Ausgangsgestein der Substrate. Zwischen dem Martental und dem Tal des Speyerbachs bilden dagegen Rehberg- und Trifelschichten den Untergrund.

Im Südteil des Untersuchungsgebietes liegen die Standorte zwischen Neustadt und Edenkoben auf Substraten des Mittleren Buntsandsteins, vorwiegend im Bereich von Trifels- und Rehbergschichten (Standort-Nr. 20-24). Südlich von Edenkoben sind die Ausgangsgesteine der Böden an allen Standorten Unterer Buntsandstein und Oberrotliegendes. An Bodenarten überwiegen sandige Lehme, bei Standorten an Ober- und Mittelhängen lehmige Sande (vgl. HÖHL, DÖRRER u. SCHWEINFURTH 1983, S. 12 u. 58f.). Bei den Humusgehalten können ähnliche Werte wie für den Nordteil des Untersuchungsgebietes angenommen werden, da auch hier extensiv Streunutzung betrieben wurde. Für einen Vergleich der Basen- und Nährstoffversorgung an den Standorten Nr. 20-47 mit derjenigen der Substrate an der Mittelhaardt wurden gleichfalls im Labor, jeweils für wässrige- (H₂O) und Salzlösung (KCL), die pH-Werte ermittelt (vgl. Tab. 9). Dabei zeigt sich, daß die Mehrzahl der Böden eine höhere Bodenacidität (pH 3,8-5,0) bei geringen Puffereigenschaften aufweisen als die Substrate an der Mittelhaardt. Dem Nordteil vergleichbare pH-Werte (pH 5,0-6,2 bzw. pH 6,2-8,2) können fast ausschließlich bei Substraten des Unteren Buntsandsteins gemessen werden. Nur Standort-Nr. 22 ist als Löß-Standort anzusprechen. Böden des Oberrotliegenden besitzen in ihrer Gesamtheit pH-Werte kleiner 5,0. Auch die Standorte Nr. 20, 21 u. 24 mit Trifels- und Rehbergschichten als Substrat-Lieferanten sind in diesem pH-Bereich vertreten. Standort-Nr. 23 kann den Karls-

talschichten zugeordnet werden. Er ist jedoch als Beispiel für Substrate im Bereich des Haardtsandsteins anzusehen, mit stark saurer bis sehr stark saurer Bodenreaktion.

Erklärungsansätze der Vegetationsdifferenzierung durch Bodeneigenschaften

Die Substratanalysen entlang der Waldrandstandorte des Haardtrandes haben gezeigt, daß zwischen der Mittelhaardt und der Nördlichen Oberhaardt deutliche gesteinsbedingte Unterschiede bezüglich der Basen- und Nährstoffversorgung bestehen. Die Löß-Standorte an der Mittelhaardt sind bereits als Böden hohen Basengehalts erkannt worden. Die relativ hohen Bodenreaktionswerte im gesamten Nordteil sind jedoch zumindest an den Standorten, an denen Trifels- und Rehbergschichten als Untergrund bzw. als Substrat-Lieferant angenommen werden müssen, auch auf die Beimischung von umgelagertem Löß zurückzuführen. Sie fallen dennoch nicht durch besonderen Artenreichtum des Waldmantels auf (vgl. Abb. 4 oben). Die Frage, ob die abnehmenden Niederschläge nördlich von Neustadt durch geringere Auslaugung die Bodenreaktion positiv beeinflussen, muß an dieser Stelle unbeantwortet bleiben. Das schwerpunktmäßige Auftreten anspruchsvoller Arten wie *Clematis vitalba*, *Cornus sanguinea*, *Euonymus europaea*, *Ligustrum vulgare*, *Malus sylvestris* etc. weist jedenfalls auf eine bessere Nährstoffversorgung hin. Im allgemeinen sind diese Arten in den Waldmantelgesellschaften des untersuchten Gebietes schwach vertreten. Dies mag einmal daran liegen, daß die Waldrand-Böden südlich von Neustadt zu „arm“ für die anspruchsvollen Arten sind. Andererseits besitzen alle genannten Arten einen subozeanischen Verbreitungsschwerpunkt, wodurch ihre Ausbreitung auf den „reicheren“ Böden an der kontinental geprägten Mittelhaardt eingeschränkt bleibt. Den thermophilen Arten sagt die Wärmegunst des Raumes mit Sicherheit ausgesprochen zu. Ein entscheidender Faktor für das Auftreten der „ozeanischen“ Sträucher im Gebiet der Mittelhaardt ist jedoch offensichtlich die hohe nutzbare Feldkapazität der schluffreichen Löß-Böden und Mischsubstrate mit ihrem hohen Mittelporenanteil (vgl. SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 1989, S. 199). Auf den Löß-Standorten des nördlichen Untersuchungsgebietes ist somit eine Tendenz zur Ausbildung von „azonalen“ Waldmantelgesellschaften mit subozeanischen Geoelementen festzustellen (vgl. Tab. 2 u. 7). Daß den anspruchsvollen Arten bei der Clusterung der Standorte dennoch

kaum eine signifikante Trennkraft zukommt (vgl. Tab. 4), liegt an der geringen Stetigkeit, mit der sie im gesamten Untersuchungsraum präsent sind.

Zusammenfassung

Aus einem Grundcluster der vorherrschenden Waldmantelgesellschaft *Rubus-Prunetum* läßt sich am Haardtrand eine reichere Nord- und eine ärmere Südvariante ableiten. Anhand der Arealtypenspektren kann eine Tendenz zu thermophilerer Artenkomposition submediterranean/eurasiatischer Provenienz für den Norden und zu einem mesophilen, feuchteliebenden südlichen Typ subozeanisch/mittel-europäischer Prägung festgestellt werden. Floristisch ist der Süden ozeanisch, der Norden kontinentaler geprägt. Dies kann primär auf Klimaunterschiede zurückgeführt werden. Bodenanalysen und Zeigerwertspektren weisen jedoch auch auf einen bedeutenden Einfluß des Substrates hin, der sich indirekt auf die Clusterdifferenzierung auswirkt. Dabei hat die Wirkung des Klimas auf die bodenbildenden Prozesse eine entscheidende, für den Vegetationsbesatz raumwirksame Bedeutung. Diese tritt so stark hervor, daß ohne Kenntnis eines klimaabhängigen, meridionalen Bodengradienten eine befriedigende Erklärung der Arealtypenvarianz nicht gegeben werden kann.

Literatur

- ATZBACH, O.: Geologische Übersichtskarte der Pfalz. In: ALTER, W. (Hrsg.): *Pfalzatlant*, Karte 3 und Textband. Speyer 1964, S. 545-552.
- BACKHAUS, K. et al.: *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*, 6. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York 1990.
- BURCKHARDT, H.: Karten zum Klima der Pfalz. In: ALTER, W. (Hrsg.): *Pfalzatlant*, Karte 7 und Textband. Speyer 1971, S. 645-649.
- CHRISTMANN, V.: Der Wald der Gegenwart. In: ALTER, W. (Hrsg.): *Pfalzatlant*, Karte 12 und Textband. Speyer 1971, S. 1568-1587.
- CLAUSS, G.: *Statistik. Für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner*, Bd. 1. Thun, Frankfurt a. M. 1989.
- DENFFER VON, D., ZIEGLER H., EHRENDORFER, F. u. BRESINSKY, A.: *Lehrbuch der Botanik*, 32. Aufl. Stuttgart, New York 1983.
- Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): *Klima-Atlas von Rheinland-Pfalz*. 77 Karten, 9 Diagramme und Erläuterungen. Bad Kissingen 1957.
- DIERSCHKE, H.: *Saumgesellschaften im Vegetations- und Standortsgefälle an Waldrändern*. *Scripta Geobotanica*, Vol. 6. Göttingen 1974.
- DÖRRER, I.: Die Landschaften der Pfalz. In: BENDER, R. J. (Hrsg.): *Landeskundlicher Exkursionsführer Pfalz*. *Mannheimer Geographische Arbeiten*, Bd. 25. Mannheim 1989, S. 7-42.
- ELLENBERG, H.: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*, 2. Aufl. Stuttgart 1986.
- : *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*. *Scripta Geobotanica*, Vol. 9, 2. Aufl. Göttingen 1979.
- FRANKENBERG, P.: Zum Klima des Kurpfälzischen Oberrheingrabens. In: FRANKENBERG, P. (Hrsg.): *Zu Klima, Boden und Schutzgebieten im Rhein-Neckar-Raum*. *Mannheimer Geographische Arbeiten*, Bd. 24. Mannheim 1988, S. 9-93.
- : *Schwarzwald und Vogesen. Ein pflanzengeographisch-floristischer Vergleich*. *Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde*, H. 47. Bonn 1979.
- : *Vegetation und Raum*. UTB 1177. Paderborn, München, Wien 1982.
- FRANKENBERG, P. u. HIMMLER, H.: *Weinberg-Wildkrautgesellschaften an der Mittelhaardt in ihrer natürlichen und anthropogenen Differenzierung*. In: *Berichte zur deutschen Landeskunde*, Bd. 63, H. 2, 1989, S. 441-462.
- FRANKENBERG, P., NEFF, C. u. JASCHKE, P.: *Fußgönheim - Lage im Naturraum*. In: *Gemeinde Fußgönheim (Hrsg.): Ortsgeschichte der Gemeinde Fußgönheim, Band 1: Von der Urgeschichte bis zum Mittelalter*. Speyer 1993, S. 1-44.
- GEIGER, M.: *Wetter und Klima in der Pfalz*. In: GEIGER, M. et al. (Hrsg.): *Pfälzische Landeskunde*. Landau 1981, S. 67-94.
- HAILER, N.: *Die Traubeneiche im Pfälzer Wald*. In: *Mitteilungen der Pollichia*, Bd. 16. Bad Dürkheim 1969, S. 51-95.
- : *Die natürlichen Vegetationsgebiete der Pfalz*. In: ALTER, W. (Hrsg.): *Pfalzatlant*, Karte 8 und Textband. Speyer 1971, S. 638-644.
- HÖHL, G., DÖRRER, I. u. SCHWEINFURTH, W.: *Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:25 000 der Bundesrepublik Deutschland, GMK 25, Blatt 12, 6714 Edenkoben*. Berlin 1983.
- LANG, W.: *Die Verbreitung der Edelkastanie in der Pfalz in Bezug zu den naturgegebenen Grundlagen (Teil 1)*. In: *Mitteilungen der Pollichia*, Bd. 16. Bad Dürkheim 1969, S. 5-50.
- : *Die Edelkastanie, ihre Verbreitung und ihre Beziehung zu den naturgegebenen Grundlagen (Teil 2)*. In: *Mitteilungen der Pollichia*, Bd. 17. Bad Dürkheim 1970, S. 81-124.
- : *Die Edelkastanie, ihre Verbreitung und ihre Beziehung zu den naturgegebenen Grundlagen (Teil 3)*. In: *Mitteilungen der Pollichia*, Bd. 18. Bad Dürkheim 1971, S. 86-160.

- LESER, H. u. KLINK, H. J.: Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25 000 (KA GÖK 25). Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 228. Trier 1988.
- LIENERT, G. A.: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, Bd. I u. II. Meisenheim am Glan 1973.
- MORENO, J. M., PINEDA, F. D. a. RIVAS-MARTINEZ, S.: Climate and vegetation at the Eurosiberian-Mediterranean boundary in the Iberian Peninsula. In: Journal of Vegetation Science, H. 1, 1990, S. 233-244.
- MURMANN-KRISTEN, L.: Das Vegetationsmosaik im Nord-schwarzwälder Waldgebiet. Dissertationes Botanicae, Bd. 104. Berlin, Stuttgart 1987.
- OBERDORFER, E.: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Süddeutschland und die angrenzenden Gebiete, 2. Aufl. Stuttgart 1970.
- OBERDORFER, E. (Hrsg.): Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil IV: Wälder und Gebüsche. Textband, 2. stark bearbeitete Auflage. Jena, Stuttgart, New York 1992 a.
- : Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil IV: Wälder und Gebüsche. Tabellenband, 2. stark bearbeitete Auflage. Jena, Stuttgart, New York 1992 b.
- PEMÖLLER, A.: Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 160 Landau in der Pfalz. Geographische Landesaufnahme 1:200 000, Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Bad Godesberg 1969.
- POTT, R.: Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. Stuttgart 1992.
- RETUERTO, R. a. CARBALLEIRA, A.: Use of direct analysis to study the climate-vegetation relationships in Galicia, Spain. In: Vegetatio, Vol. 101, 1992, S. 183-194.
- RUNGE, F.: Die Pflanzengesellschaften Mitteleuropas, 8./9. Aufl. Münster 1986.
- SCHAEFFER, F. u. SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde, 12. Aufl. Stuttgart 1989.
- SCHUBÖ, W. u. UEHLINGER, H. M.: SPSS^x. Handbuch der Programmversion 2.2. Stuttgart, New York 1986.
- SCHULZ, F. W.: Flora der Pfalz. Nachdruck der 1. Auflage 1845. Pirmasens 1971.
- SCHWABE-BRAUN, A. u. WILMANN, O.: Waldrandstrukturen - Vorbilder für die Gestaltung von Hecken und Kleinstgehölzen. In: Laufener Seminarbeiträge, H. 5, 1982, S. 50-60.
- SCHWEINFURTH, W.: Aspekte physikalisch-chemischer Untersuchungen von Böden des Haardtrandes. In: FRANKENBERG, P. (Hrsg.): Zu Klima, Boden und Schutzgebieten im Rhein-Neckar-Raum. Mannheimer Geographische Arbeiten, Bd. 24. Mannheim 1988, S. 287-325.
- SPUHLER, L.: Einführung in die Geologie der Pfalz. Veröffentlichungen der Pfälzischen Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, Bd. 34. Speyer 1957.
- STÖHR, W. T., HAUN, D. u. RUPPRECHT, A.: Bodenübersichtskarte der Pfalz. In: ALTER, W. (Hrsg.): Pfalzatlas, Karte 5 und Textband. Speyer 1970, S. 553-588.
- TRUNKÓ, L.: Karlsruhe und Umgebung. Nördlicher Schwarzwald, südlicher Kraichgau, Rheinebene, Ostrand des Pfälzer Waldes und der Nordvogesen. Sammlung geologischer Führer, Bd. 78. Berlin, Stuttgart 1984.
- WALTER, H.: Vegetation und Klimazonen, 5. Aufl. Stuttgart 1984.
- WARD, J. H.: Hierarchical grouping to optimize an objective function. In: Journal of the American Statistical Association, Vol. 58, 1963, S. 236-244.
- WHITTAKER, R. H.: Gradient analyses of vegetation. In: Biological Review, Vol. 42, 1967, S. 207-264.
- WILDI, O.: Analyse vegetationskundlicher Daten. Theorie und Einsatz statistischer Methoden. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, H. 90. Zürich 1986.
- ZAKOSEK, H.: Die Böden der Rheinpfalz. In: Notizblatt des hessischen Landesamtes für Bodenforschung, H. 84, S. 356-373. Wiesbaden 1956.

Karten

- Geologische Karte der Rheinpfalz 1:100 000, Blatt Speyer.
- Geomorphologische Karte 1:25 000, Blatt 12, 6714 Edenkoben.
- Geomorphologische Karte 1:100 000, Blatt 8, C 6714 Mannheim.
- Topographische Karte 1:25 000, Blätter 6714 Edenkoben, 6614 Neustadt, 6514 Bad Dürkheim-West.