

## 9 Vegetation

*Marcus Schmidt, Egbert Schönfelder, Uwe Paar, Jan Evers*

### 9.1 Einführung

Im Zuge der Bodenzustandserhebung II wurde in den Bundesländern Niedersachsen, Bremen, Hessen und Sachsen-Anhalt erstmalig die Waldvegetation auf der Grundlage einer systematischen, repräsentativen Stichprobe erfasst. Die gemeinsame Auswertung der an denselben Stichprobenpunkten erfassten Vegetationsdaten und Umweltvariablen (insbesondere bodenchemische Kenngrößen) ermöglicht Aussagen zu den Zusammenhängen zwischen der Pflanzenartenzusammensetzung der Waldbestände und dem Bodenzustand. Nachfolgend sollen Ergebnisse zu den Kenngrößen pH(H<sub>2</sub>O), Basensättigung und dem C/N-Verhältnis sowie zu den austauschbaren Vorräten der basischen Kationen Calcium, Magnesium und Kalium aus der Ake (effektive Kationenaustauschkapazität), jeweils bezogen auf den mineralischen Oberboden, vorgestellt werden.

Es ist ein Hauptziel der Darstellung dieser Ergebnisse, dass die Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von weit verbreiteten Pflanzenarten und dem Auftreten bodenchemischer Kenngrößen direkt in der Praxis Anwendung finden können. Dabei wird in erster Linie die Identifizierung von Indikator- oder Zeigerarten(-gruppen) für die Forstliche Standortskartierung angestrebt. Diese können für eine Feldeinschätzung des chemischen Oberboden-zustandes sowie des Nährstoffhaushaltes (Trophie) von Waldböden herangezogen werden oder als zusätzliche Informationsquelle dienen.

### 9.2 Methodik

#### 9.2.1 Datenerhebung

Für alle BZE-Punkte wurden in den Vegetationsperioden 2006 bis 2008 Vegetationsaufnahmen nach der gleichen Methodik durchgeführt. Dabei wurden innerhalb eines Radius von 30 m um den Mittelpunkt der BZE-Fläche nach einem einheitlichen Lageschema (s. Kap. 5) 400 m<sup>2</sup> (20 x 20 m) große Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet, auf denen die Arten der Baum-, Strauch- und Krautschicht mit Deckungsgrad in Prozent und die Arten der Moosschicht (Moose, Flechten) ohne quantitative Angaben erfasst wurden (WELLBROCK et al. 2006, dort weitere methodische Details). Insgesamt wurden 388 Vegetationsaufnahmen in den Bundesländern Niedersachsen (169), Bremen (4), Hessen (139) und Sachsen-Anhalt (76) und an den Stichprobenpunkten der BZE II durchgeführt.

### 9.2.2 Datenauswertung

Um Zusammenhänge zwischen den an den BZE-Punkten erfassten Pflanzenarten und den gemessenen Umweltvariablen (v. a. Bodenchemie) herauszuarbeiten, wurden alle BZE-Punkte nach den Variablen klassifiziert. Dabei wurden (mit Ausnahme der Pufferbereiche) die Grenzen der Klassen an den Definitionsbereich (tatsächliches Vorkommen der Messwerte) angepasst. Bezugshorizont ist der Mineralboden in 0–5 cm Bodentiefe, da hier die Differenzierung der Trennartengruppen am eindeutigsten war.

Eine Kontingenztafel (Häufigkeitstabelle) mit den Vorkommen der Pflanzenarten (ohne Berücksichtigung von Deckungsgraden) und den jeweiligen Variablenausprägungen bildet die Grundlage für einen Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest. Bei dem Test wird davon ausgegangen, dass die Artvorkommen unabhängig verteilt sind. Wenn diese Hypothese zutrifft, sind die Residuen nahe Null, wenn nicht, geben sie die Höhe der Abweichung vom erwarteten Ergebnis (Erwartungswert) an. Voraussetzung für ein belastbares Testergebnis ist eine Mindesthäufigkeit der insgesamt 142 bis auf das Niveau von Arten oder Artengruppen bestimmbaren Pflanzensippen von 15 Vorkommen. Diese Voraussetzung erfüllten insgesamt 120 Gefäßpflanzen- und Moosarten bzw. -sippen. Bei den Baum- und Straucharten wurde nur das Vorkommen in der Krautschicht (Verjüngung) berücksichtigt. Da bei den Wirtschaftsbaumarten mit geringer Fähigkeit zur Fernausbreitung (Fichte, Rotbuche, Rot-, Stiel- und Trauben-Eiche) anders als bei ausbreitungsstarken Baumarten (z. B. Ahorn- oder Birken-Arten, Spätblühende Trauben-Kirsche) das Vorkommen von Verjüngung nicht unbedingt das natürliche ökologische Verhalten widerspiegelt, sondern die Bedingungen, unter denen diese Baumarten bevorzugt angebaut werden, wurden die Ergebnisse für diese Baumarten nicht berücksichtigt.

Die mithilfe des Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstests ermittelten Residuen fanden jeweils Eingang in eine Hauptkomponentenanalyse (PCA). Sie dient hier in erster Linie der graphischen Darstellung von Zusammenhängen zwischen Artvorkommen und Umweltvariablen bzw. der Darstellung von Korrelationen der Variablen untereinander (LEYER u. WESCHE 2007).

### 9.2.3 Darstellung und Anwendung der Ergebnisse

Eine positive Abweichung von dem normierten Erwartungswert von mindestens 0,5 wird hier als Beleg für einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen einer Pflanzenart und der Messwertklasse einer bodenchemischen Kenngröße interpretiert. Für die meisten der insgesamt 113 berücksichtigten Arten ergeben sich dabei ökologisch gut interpretierbare Muster ihres Auftretens bzw. Fehlens im Bereich bestimmter Messwertklassen (s. Abb. 138). Diese Muster wurden anschließend in ein sogenanntes Trennartenschema (s. Tab. 28) übertragen, das den Bereich des Vorkommens der an den BZE-Punkten gefundenen Pflanzenarten für die unter-

suchten bodenchemischen Kenngrößen veranschaulicht. Die einzelnen Kästen decken einen oder mehrere Pufferbereiche ab, in denen die in ihnen aufgeführten Pflanzenarten nach den Ergebnissen der BZE II den Schwerpunkt ihres Vorkommens haben.

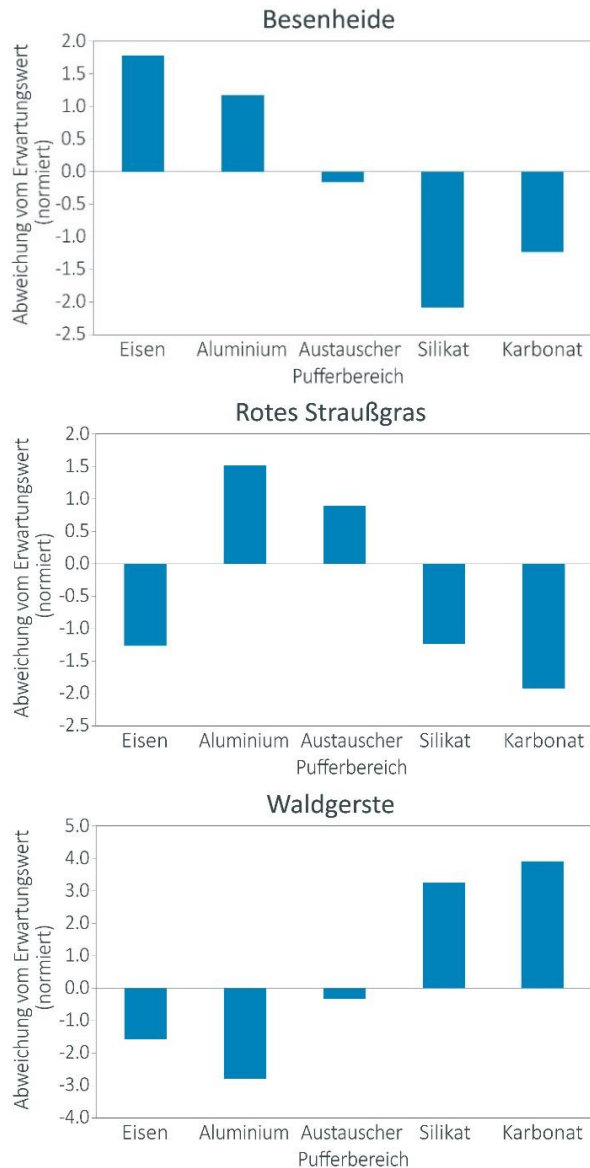


Abbildung 138: Graphische Darstellung der Abweichungen vom normierten Erwartungswert am Beispiel des Auftretens der Pflanzenarten Besenheide, Rotes Straußgras und Waldgerste in den verschiedenen Pufferbereichen

Die für die verschiedenen bodenchemischen Kenngrößen abgeleiteten Trennartenschemata können in der Forstlichen Standortskartierung Anwendung finden, indem die Trennarten(-gruppen) als Indikatoren für bestimmte bodenchemische Eigenschaften herangezogen werden. Dabei reicht in der Regel das Auftreten einer einzelnen Zeigerart für die Zuordnung des zu kartierenden Standorts zu einem bodenchemischen Kennwertbereich nicht aus. Vielmehr steigt die Aussagekraft mit zunehmender Anzahl der vorgefundenen Trenn- oder Zeigerarten. Um die Indikatoreigenschaften der Waldgefäßpflanzen und -moose im Rahmen eines Kartierverfahrens für die belastbare Ansprache eines bodenchemischen Kennwertbereichs nutzen zu können, ist eine möglichst große Zahl von Indikatorarten notwendig. Zusätzlich gibt auch das Fehlen anderer Arten(-gruppen) wichtige Hinweise. Den Bezugsraum der Ergebnisse bilden in erster Linie die Bundesländer Niedersachsen, Bremen, Hessen und Sachsen-Anhalt. Darüber hinaus können die Ergebnisse auch in angrenzenden Gebieten mit ähnlichen klimatischen und bodenökologischen Bedingungen Anwendung finden.

In das nachfolgende Trennartenschema (s. Tab. 28) wurden nur diejenigen Arten übernommen, für die sich ein ökologisch gut interpretierbares Muster ergibt. Dies gilt beispielsweise nicht für den Adlerfarn, dessen Schwerpunkt zwar eindeutig im Eisen-Pufferbereich liegt, der aber – möglicherweise bedingt durch Kalkungsmaßnahmen – auch im Silikat- und Carbonat-Pufferbereich eine positive Abweichung vom Erwartungswert zeigt.

*Tabelle 28: Beispiel eines Trennartenschemas für das Vorkommen der in Abbildung 138 dargestellten Pflanzenarten in verschiedenen Pufferbereichen*

Pufferbereich				
Eisen-	Aluminium-	Austauscher-	Silikat-	Carbonat-
Besenheide				
	Rotes Straußgras			
			Waldgerste	

## 9.3 Ergebnisse und Diskussion

### 9.3.1 $pH(H_2O)$

Der pH-Wert eines Bodens, auch als Bodenreaktion oder Säuregrad bezeichnet, ergibt sich aus der Wasserstoff-Ionen-Aktivität in der Bodenlösung. Er hat Einfluss auf zahlreiche chemische und biologische Prozesse im Boden und ist eine der wichtigsten bodenökologischen Kenngrößen, aus der sich viele für das Pflanzenwachstum bedeutsame Bodeneigenschaften, wie die Basen- und Nährstoffversorgung (Trophie) ableiten lassen (BLUME et al. 2010). So ergeben sich aus dem pH-Wert einerseits Hinweise auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen (z. B. Stickstoff, Magnesium oder Calcium) und andererseits auf toxisch wirkende Konzentrationen von Elementen wie Aluminium oder Mangan. Dementsprechend ist die Bindung vieler Pflanzenarten und Pflanzengesellschaften an bestimmte pH-Bereiche, auch als Pufferbereiche bezeichnet (ULRICH 1981), unter einheitlichen klimatischen Bedingungen sehr eng.

In der Forstlichen Standortskartierung geben Bodenmerkmale wie die Humusform (Mull, Moder, Rohhumus) oder Podsolierungserscheinungen (Bleichung im Oberboden infolge einer Versauerung) Hinweise auf den Pufferbereich, in dem sich ein Waldboden befindet (AK STANDORTSKARTIERUNG 2003). Darüber hinaus können aber auch Pflanzenarten als Indikatoren für bestimmte pH-Bereiche dienen. Mit dem im Rahmen der Bodenzustandserhebung II erhobenen Vegetationsdatensatz liegt eine einzigartige Datengrundlage vor, aus der für die untersuchten Bundesländer das Vorkommen von Waldbodenpflanzen in bestimmten Pufferbereichen (pH-Wert gemessen in  $H_2O$  für 0–5 cm Bodentiefe) abgeleitet werden kann.

Bereits in der Hauptkomponentenanalyse (s. Abb. 139) wird deutlich, dass die wichtigste floristische Trennung entlang der ersten Achse (X-Achse) zwischen dem Eisen- und Aluminium-Pufferbereich auf der einen und dem Austauscher-, Silikat- und Carbonat-Pufferbereich auf der anderen Seite erfolgt. Diese relativ scharfe Grenze wird letztlich auch in dem Trennschemata (s. Tab. 29) deutlich. Nur wenige Pflanzenarten kennzeichnen „grenzüberschreitend“ gleichzeitig den Aluminium- und den Austauscher-Pufferbereich.

Tabelle 29: *Auf der Grundlage der BZE II entwickeltes Trennartenschema zur Ansprache der Pufferbereiche von Waldböden (Bezug: Mineralboden in 0–5 cm Bodentiefe)*

Pufferbereich				
Eisen-	Aluminium-	Austauscher-	Silikat-	Carbonat-
Gewelltes Gabelzahnmoos, Schwanenhals-Sternmoos, Zweizähni- giges Kammkelchmoos				
Artengruppe Echte Brombeere, Besenförmiges Gabelzahnmoos, Besenheide, Breitblättriger Dornfarn, Drahtschmiele, Echtes Schlafmoos, Einseitwendiges Kleingabelzahnmoos, Europäischer Siebenstern, Faulbaum, Gewöhnlicher Dornfarn, Gewöhnliches Pfeifengras, Glänzendes Schiefbüchsenmoos, Grünstengelmoos, Hänge-Birke, Harzer Labkraut, Heidelbeere, Langgestrecktes Schnabelmoos, Rankender Lerchensporn, Rotstengelmoos, Späte Trauben-Kirsche, Verschiedenblättriges Kammkelchmoos, Vogelbeere, Wald-Frauenhaar				
	Artengruppe Hain-Greiskraut, Flatter-Binse, Gewelltes Schiefbüchsenmoos, Gewöhnlicher Hohlzahn, Himbeere, Kleiner Sauerampfer, Pillen-Segge, Schmalblättriges Weidenröschen, Wald-Ehrenpreis, Wald-Geißblatt, Wald-Greiskraut, Wolliges Honiggras			

(Fortsetzung Tabelle 29)

Pufferbereich				
Eisen-	Aluminium-	Austauscher-	Silikat-	Carbonat-
	Land-Reitgras, Roter Fingerhut, Roter Holunder, Rotes Straußgras, Salbei-Gamander, Wald-Reitgras			
		Behaarte Hainsimse, Bleiche Segge, Dreinervige Nabelmiere, Hasenfuß-Segge, Wald-Sauererklee, Weiches Honiggras, Weißliche Hainsimse		
		Gewelltes Katharinenmoos, Gewöhnliche Brennessel, Gewöhnliches Flattergras, Großes Springkraut, Knotige Braunwurz, Rasen-Schmiele, Wald-Frauenfarn, Wald-Schaumkraut, Winkel-Segge, Zwiebel-Zahnwurz		
		Artengruppe Echte Goldnessel, Artengruppe Gewöhnlicher Wurmfarne, Artengruppe Knäuelgras, Berg-Ahorn, Busch-Windröschen, Einblütiges Perlgras, Gewöhnliche Esche, Gewöhnliches Scharbockskraut, Große Sternmiere, Hain-Rispengras, Kleines Springkraut, Schwarzer Holunder, Spitz-Ahorn, Vogel-Kirsche, Waldmeister, Wald-Segge, Wald-Veilchen, Wald-Ziest		
			Berg-Weidenröschen, Eichenfarn, Riesen-Schwengel	
			Blut-Ampfer, Gewöhnliche Knoblauchsrauke, Gewöhnliche Nelkenwurz, Gewöhnlicher Rainkohl, Gewöhnliches Hexenkraut, Gewöhnliches Rispengras, Kleinblütiges Weidenröschen, Krückenförmiges Kurzbüchsenmoos, Samt-Kurzbüchsenmoos, Stink-Storchnabel, Wald-Bingelkraut, Waldgerste, Wald-Zwenke, Zaun-Wicke	
				Gewöhnliche Hasel, Gewöhnlicher Efeu

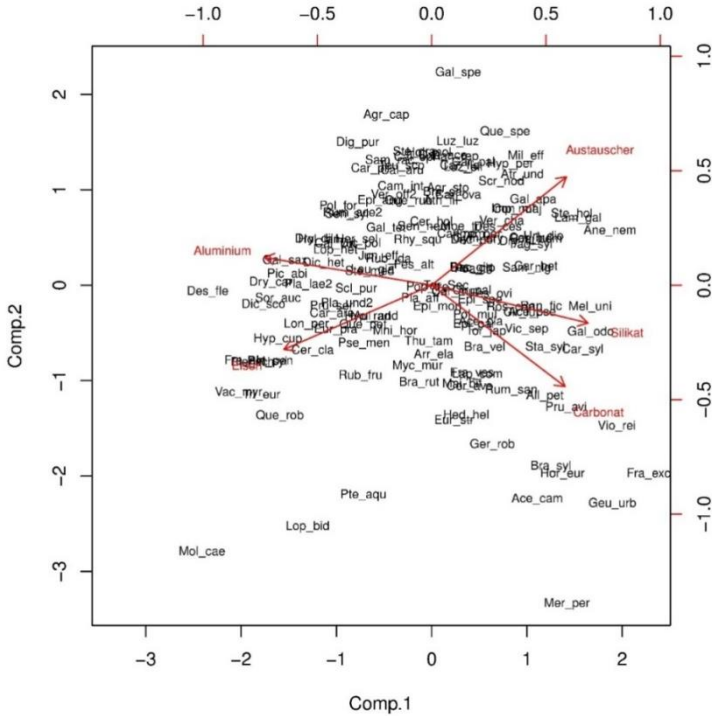


Abbildung 139: Hauptkomponentenanalyse in Bezug auf die untersuchten Pflanzenarten und die fünf Pufferbereiche. Die wichtigste Trennung erfolgt entlang der ersten Achse (X-Achse), zwischen dem Eisen- und Aluminium-Pufferbereich auf der einen und dem Silikat- und Carbonat-Pufferbereich auf der anderen Seite. Der AUSTAUSCHER-Pufferbereich nimmt eine Zwischenstellung ein.

Die Grenze zwischen dem Aluminium- und dem AUSTAUSCHER-Pufferbereich entspricht etwa der bodenökologischen Grenze zwischen den natürlichen Waldgesellschaften Hainsimsen-Buchenwald (Eisen- oder Aluminium-Pufferbereich) und Waldmeister-Buchenwald (AUSTAUSCHER-Pufferbereich). Auf Böden mit höheren pH-Werten schließt sich ökologisch der Waldgersten-Buchenwald an, dessen kennzeichnende Arten ihren Schwerpunkt im Silikat- und/oder Carbonat-Pufferbereich haben.



### 9.3.2 Basensättigung

Als Basensättigung bezeichnet man den prozentualen Anteil der Summe der basischen Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium an der gesamten effektiven Kationenaustauschkapazität. Die Basensättigung ist somit eine wichtige Kenngröße in Bezug auf das Nährstoffangebot eines Waldbodens. Je höher der Anteil der basischen Kationen und je geringer der Anteil von Protonen und sauren Kationen (Aluminium, Eisen, Mangan), desto besser ist die Ernährung der Waldbäume. Voraussetzung ist allerdings die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe durch eine ausreichende Bodenfeuchte. In der Forstlichen Standortkartierung wird die Basensättigung oft zusätzlich zum pH-Wert bestimmt, da bei pH-Werten unter 5 keine enge Beziehung zwischen Basensättigung und pH-Wert bestehen muss (AK STANDORTSKARTIERUNG 2003). Auf vielen Standorten mit einer geringen Basensättigung sind in der Vergangenheit ein- oder mehrmalig Kalkungsmaßnahmen durchgeführt worden, durch die die Basensättigung erhöht wurde. Von den in die Auswertung einbezogenen BZE-Punkten sind insgesamt 48 % ein- oder mehrmalig gekalkt worden.

Bei der Auswertung der Vegetationsdaten der BZE II wurden in Orientierung an dem Bewertungsrahmen der Forstlichen Standortaufnahme (AK STANDORTSKARTIERUNG 2003) zunächst sieben Klassen der Basensättigung in 0–5 cm Bodentiefe gebildet. In der Auswertung zeichnete sich jedoch eine Dreigliederung ab, bei der sich zwei große Trennartengruppen von Gefäßpflanzen und Moosen gegenüberstehen, von denen die eine bei Basensättigungen unter 30 % und die andere bei Werten über 70 % gehäuft auftritt (s. Abb. 140, Tab. 30). Dazwischen steht eine kleine Gruppe von Pflanzenarten, deren Vorkommensschwerpunkt bei Basensättigungswerten zwischen 30 und 50 % liegt. Dies spiegelt auch das Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse (s. Abb. 140) wider. Hier wird deutlich, dass sich im Bereich der niedrigen Werte unter 30 % und der hohen Werte über 70 % eine Trennung der einzelnen Klassen über Pflanzenarten nicht vornehmen lässt.

Tabelle 30: *Auf der Grundlage der BZE II entwickeltes Trennartenschema zur Ansprache der Basensättigung [%] von Waldböden (Bezug: Mineralboden in 0–5 cm Bodentiefe)*

Basensättigung [%]						
0–7	> 7–20	> 20–30	> 30–50	> 50–70	> 70–85	> 85–100
	Besenheide, Gewelltes Gabelzahnmoos, Harzer Labkraut, Hasenfuß-Segge, Pillen-Segge, Roter Holunder, Rotstengelmoos, Schmalblättriges Weidenröschen, Sparriger Runzelpeter, Wald-Frauenhaar					
	Besenförmiges Gabelzahnmoos, Draht-Schmiele, Echtes Schlafmoos, Europäischer Siebenstern, Faulbaum, Flatter-Binse, Gewöhnlicher Dornfarn, Gewöhnliches Pfeifengras, Glänzendes Schiefbüchsenmoos, Hänge-Birke, Heidelbeere, Vogelbeere					
	Einseitwendiges Kleingabelzahnmoos, Kleiner Sauerampfer					
	Breitblättriger Dornfarn, Land-Reitgras, Verschiedenblättriges Kammelchmoos					
	Späte Trauben-Kirsche					
		Grünstengelmoos, Behaarte Hainsimse				
		Langgestrecktes Schönschnabelmoos, Himbeere, Wolliges Honiggras				
			Gewöhnlicher Hohlzahn, Rankender Lerchensporn, Salbei-Gamander			
			Wald-Schaumkraut			
			Busch-Windröschen, Großes Springkraut, Stink-Storchschnabel, Wald-Segge, Wald-Zwenke, Zwiebel-Zahnwurz			

(Fortsetzung Tabelle 30)

Basensättigung [%]						
0–7	> 7–20	> 20–30	> 30–50	> 50–70	> 70–85	> 85–100
				Artengruppe Echte Goldnessel, Artengruppe Gewöhnlicher Wurmfarn, Einblütiges Perlgras, Gewöhnliche Brennessel, Ge- wöhnliche Esche, Gewöhnliche Nelkenwurz, Gewöhnliches Flatter- gras, Gewöhnliches Hexen- kraut, Kleines Springkraut, Klet- ten-Labkraut, Riesen-Schwengel, Waldmeister, Wald-Ziest, Zaun- Wicke		
				Gewelltes Katha- rinenmoos, Große Sternmiere		
					Blut-Ampfer, Gewöhnli- che Knoblauchsrauke, Gewöhnliches Rispen- gras, Kleinblütiges Wei- denröschen, Vogel-Kir- sche, Waldgerste, Wald- Veilchen	
						Berg-Ahorn, Samt-Kurz- büchsenmoos, Spitz-Ahorn, Wald-Bingel- kraut

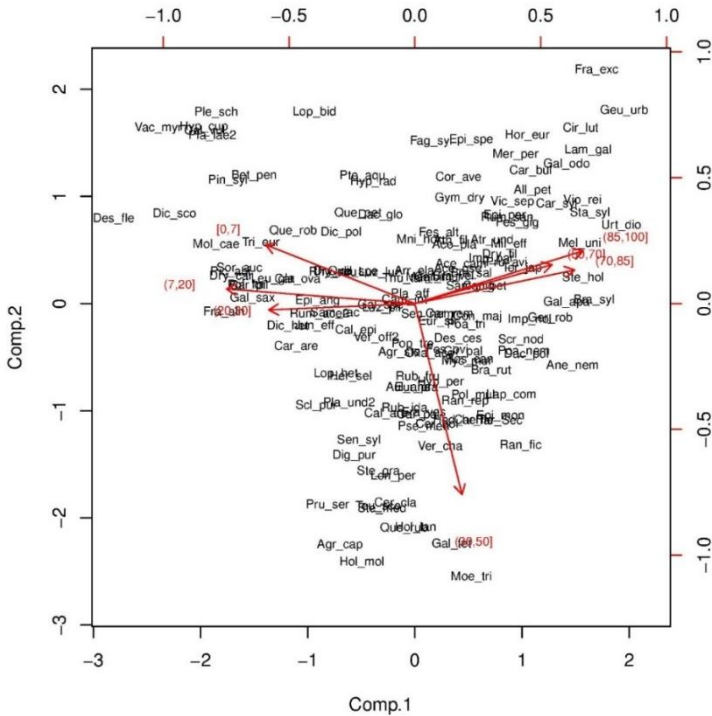


Abbildung 140: Hauptkomponentenanalyse in Bezug auf die untersuchten Pflanzenarten und sieben Klassen der Basensättigung. Die wichtigste Trennung erfolgt entlang der ersten Achse (X-Achse), auf der sich die Klassen unter 30 % (sehr gering und gering) und über 50 % Basensättigung (mittel hoch bis sehr hoch) gegenüberstehen.

Im Rahmen der Auswertung der Bodenzustandserhebung II erfolgte für Niedersachsen, Bremen, Hessen und Sachsen-Anhalt eine Zusammenfassung von Standorten mit ähnlicher Merkmalsausprägung im Mineralboden zu insgesamt 17 Substratgruppen. Es zeigte sich, dass ein Teil dieser Substratgruppen in Bezug auf die Basensättigung (hier berechnet bis 90 cm Bodentiefe) eine relativ enge Amplitude aufweist. So liegt die Basensättigung der Substratgruppen Quarzit, Granit, Buntsandstein (sandig), unverlehmte Sande und organisch geprägte Standorte überwiegend bei Werten unter 30 %, während in den Substratgruppen Lehm, Ton(stein), Basalt/Diabas, Kalk und Zechstein überwiegend Werte oberhalb von 50 % gemessen werden. Die Substratgruppe der verlehnten Sande weist überwiegend eine Basensättigung zwischen 30 und 50 % auf (EVERS et al. 2013b).

### 9.3.3 C/N-Verhältnis

Das Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N) gibt wichtige Hinweise auf die Umsetzungsbedingungen in Böden und ihr Stickstoffangebot. Je enger das C/N-Verhältnis eines Bodens ist, desto besser ist die Stickstoffversorgung der in ihm wurzelnden Pflanzen. Neben den natürlichen Ausgangsbedingungen eines Waldbodens (Geologie, Klima, Exposition, Hangneigung usw.) beeinflussen menschliche Aktivitäten das Stickstoffangebot. Während in der Vergangenheit ein Stickstoffentzug durch Streunutzung besonders in siedlungsnahen Wäldern teilweise zu Stickstoffmangel führte, können heute Stickstoffeinträge aus der Luft (Verbrennungsprozesse und Landwirtschaft) eine Stickstoffübersättigung von Waldböden bewirken. Auch die Baumartenwahl hat Einfluss auf das Stickstoffangebot von Böden (ELLENBERG 1977). Die Hauptkomponentenanalyse zeigt hier, dass unter einem C/N-Verhältnis von 16 und über einem C/N-Verhältnis von 21 eine Trennung der Klassen nach dem Auftreten von Pflanzenarten kaum möglich ist (s. Abb. 141, Tab. 31).

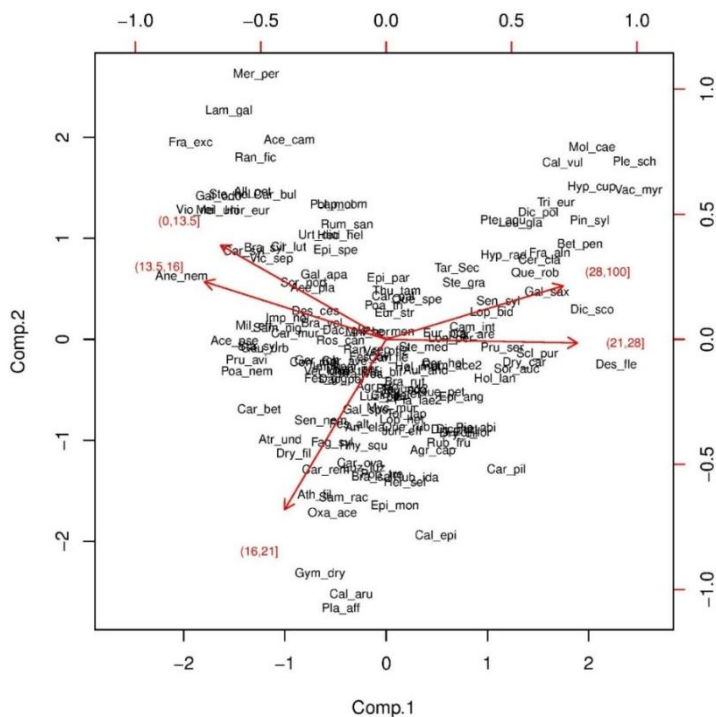


Abbildung 141: Hauptkomponentenanalyse in Bezug auf die untersuchten Pflanzenarten und fünf Klassen des C/N-Verhältnisses. Die wichtigste Trennung erfolgt entlang der ersten Achse (X-Achse), auf der sich die Klassen unter 16 und über 21 gegenüberstehen. Unter einem C/N-Verhältnis von 16 und über einem C/N-Verhältnis von 21 ist eine Trennung der Klassen nach dem Auftreten von Pflanzenarten kaum möglich.

*Tabelle 31: Auf der Grundlage der BZE II entwickeltes Trennartenschema zur Ansprache des C/N-Verhältnisses von Waldböden (Bezug: Mineralboden in 0–5 cm Bodentiefe). Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit allen weiteren Trennartenschemata erfolgt die Darstellung hier in der Reihenfolge absteigender C/N-Werteklassen.*

C/N-Verhältnis				
> 28–100	> 21–28	> 16–21	> 13,5–16	0–13,5
	Adlerfarn, Besenförmiges Gabelzahnmoos, Besenheide, Draht-Schmiele, Echtes Schlafmoos, Europäischer Siebenstern, Faulbaum, Gewelltes Gabelzahnmoos, Gewöhnlicher Dornfarn, Gewöhnliches Pfeifengras, Grünstengelmoos, Hänge-Birke, Harzer Labkraut, Heidelbeere, Rankender Lerchensporn, Rotstengelmoos, Schmalblättriges Weidenröschen, Späte Trauben-Kirsche, Vogelbeere, Wald-Greiskraut, Wolliges Honiggras, Zweizähnes Kammkelchmoos			
	Einseitswendiges Kleingabelzahnmoos, Wald-Frauenhaar			
	Artengruppe Echte Brombeere, Berg-Weidenröschen, Breitblättriger Dornfarn, Land-Reitgras, Pillen-Segge, Rotes Straußgras			
		Eichenfarn, Flatterbinse, Glänzendes Schiefbüchsenmoos, Himbeere, Roter Holunder, Verschiedenblättriges Kammkelchmoos, Wald-Reitgras		
		Behaarte Hainsimse, Dreinervige Nabelmiere, Gewelltes Katharinenmoos, Gewöhnliche Hasel, Stink-Storchschnabel, Wald-Frauenfarn, Wald-Sauerklee, Weißliche Hainsimse		

(Fortsetzung Tabelle 31)

C/N-Verhältnis				
> 28–100	> 21–28	> 16–21	> 13,5–16	0–13,5
		Artengruppe Gewöhnlicher Wurmfarne, Artengruppe Knäuelgras, Berg-Ahorn, Busch-Windröschen, Gewöhnliche Nelkenwurz, Gewöhnliches Flattergras, Hainbuche, Artengruppe Hain-Greiskraut, Hain-Rispengras, Kleines Springkraut, Schwarzer Holunder, Vogel-Kirsche, Wald-Ziest		
			Bleiche Segge	
			Artengruppe Echte Goldnessel, Blut-Ampfer, Einblütiges Perlgras, Gewöhnliche Brennnessel, Gewöhnliche Esche, Gewöhnliche Knoblauchsrauke, Gewöhnlicher Efeu, Gewöhnlicher Rauhkohl, Gewöhnliches Hexenkraut, Gewöhnliches Scharbockskraut, Große Sternmiere, Großes Springkraut, Kletten-Labkraut, Knotige Braunwurz, Rasen-Schmiele, Samt-Kurzbüchsenmoos, Vielblütige Weißwurz, Wald-Bingelkraut, Waldgerste, Waldmeister, Wald-Segge, Wald-Veilchen, Wald-Zwenke, Zaun-Wicke, Zwiebel-Zahnwurz	
				Schwanenhals-Sternmoos

### 9.3.4 Basische Kationen (Ca, Mg, K)

Die basischen Kationen Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Kalium (K) sind wichtige Pflanzennährstoffe. Ihr Vorrat in Waldböden variiert – wie die Basensättigung – sehr stark in den einzelnen Substratgruppen. So wurden im Rahmen der BZE II allgemein in den Substratgruppen Basalt/Diabas, Lehm, Lösslehm, Kalk, Ton(stein) und Zechstein relativ hohe Vorräte basischer Kationen nachgewiesen. Dabei zeichnen sich Basalt/Diabas- und Kalk-Standorte eher durch mittlere Kaliumvorräte aus. Die Substratgruppen mit geringer Basensättigung (Quarzit, Granit, Buntsandstein (sandig), unverlehmte Sande und organisch geprägte Standorte) weisen auch geringe Vorräte basischer Kationen auf (EVERS et al. 2013b). Durch Säureeinträge können basische Kationen von den Austauschern verdrängt und anschließend ausgewaschen werden.

#### 9.3.4.1 Calcium

Während bei Calciumvorräten unterhalb von 400 kg/ha (Bezug: Mineralbodentiefe in 0–5 cm) eine Trennung der gebildeten Werteklassen über Trennarten gut möglich ist, ist eine Differenzierung oberhalb von 400 kg/ha schwierig (s. Abb. 142, Tab. 32).

Tabelle 32: *Auf der Grundlage der BZE II entwickeltes Trennartenschema zur Ansprache der Calciumvorräte [kg/ha] von Waldböden (Bezug: Mineralboden in 0–5 cm Bodentiefe)*

Calciumvorrat [kg/ha]					
0–100	> 100–200	> 200–400	> 400–800	> 800–1.500	> 1.500
Besenförmiges Gabelzahnmoos, Besenheide, Echtes Schlafmoos, Einseitswendiges Kleingabelzahnmoos, Europäischer Siebenstern, Faulbaum, Gewelltes Gabelzahnmoos, Gewelltes Schiefbüchsenmoos, Gewöhnlicher Dornfarn, Gewöhnliches Pfeifengras, Hänge-Birke, Harzer Labkraut, Kleiner Sauerampfer, Rotstengelmoos, Schmalblättriges Weidenröschen, Vogelbeere					
Draht-Schmiele, Glänzendes Schiefbüchsenmoos, Grünstengelmoos, Heidelbeere, Pillen-Segge, Sparriger Runzelpeter, Späte Trauben-Kirsche, Wald-Frauenhaar, Weiches Honiggras, Zweizähnes Kammkelchmoos					
Rotes Straußgras, Verschiedenblättriges Kammkelchmoos					
	Bleiche Segge, Roter Holunder				
	Roter Fingerhut, Weißliche Hainsimse, Wolliges Honiggras				
	Gewöhnlicher Hohlzahn, Wald-Frauenfarn, Wald-Sauerklee, Wald-Schaumkraut				
	Gewelltes Katharinenmoos, Winkel-Segge				



(Fortsetzung Tabelle 32)

Calciumvorrat [kg/ha]					
0–100	> 100–200	> 200–400	> 400–800	> 800–1.500	> 1.500
		Himbeere			
		Artengruppe Hain-Greiskraut, Dreinervige Nabelmiere, Eichenfarn			
		Artengruppe Gewöhnlicher Wurmfarne, Artengruppe Knäuelgras, Busch-Windröschen, Gewöhnliche Brennessel, Gewöhnliches Flattergras, Gewöhnliches Scharbockskraut, Großes Springkraut, Kletten-Labkraut, Riesenschwingel, Stink-Storchschnabel			
			Knotige Braunwurz		
			Artengruppe Echte Goldnessel, Berg-Ahorn, Blut-Ampfer, Einblütiges Perlgras, Gewöhnliche Esche, Gewöhnliche Knoblauchsrauke, Gewöhnliche Nelkenwurz, Gewöhnlicher Rainkohl, Große Sternmiere, Hainbuche, Hain-Rispengras, Kleinblütiges Weidenröschen, Schwarzer Holunder, Waldmeister, Wald-Segge, Wald-Veilchen, Wald-Zwenke, Zaun-Wicke, Zwiebel-Zahnwurz		
				Spitz-Ahorn, Vogel-Kirsche, Wald-Bingelkraut, Waldgerste	
					Gewöhnliche Hasel

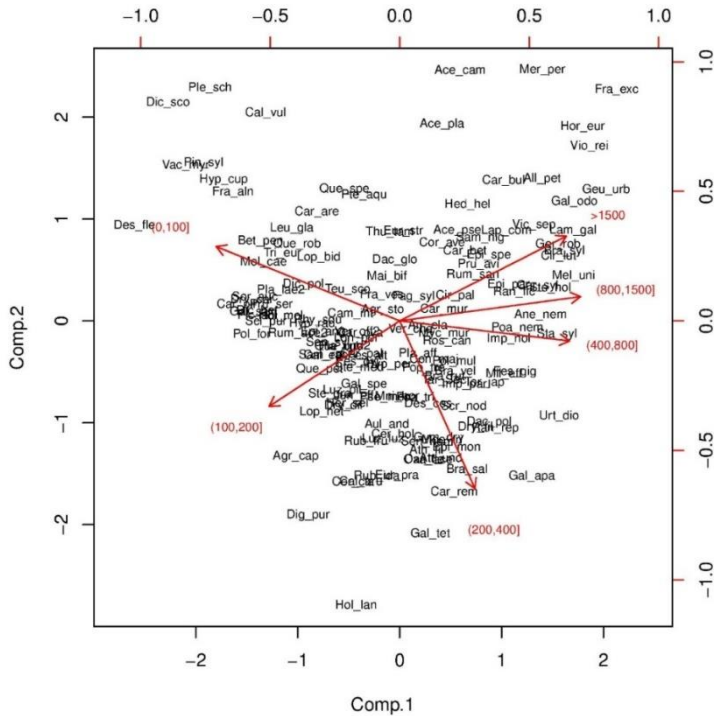


Abbildung 142: Hauptkomponentenanalyse in Bezug auf die untersuchten Pflanzenarten und sechs Klassen des Calciumvorrats. Die wichtigste Trennung erfolgt entlang der ersten Achse (X-Achse), auf der sich die Klassen unter 100 und über 400 kg/ha gegenüberstehen. Über einem Calciumvorrat von 400 kg/ha ist eine Trennung der Klassen nach dem Auftreten von Pflanzenarten weniger gut möglich.

### 9.3.4.2 Magnesium

Beim Magnesium ist eine ausgeprägte Dreigliederung bereits in der Hauptkomponentenanalyse (s. Abb. 143) erkennbar. Deutlich floristisch voneinander differenziert sind die Klassen 0–20, > 20–40 kg/ha sowie die vier untereinander nicht trennbaren Klassen > 40 kg/ha. Dies spiegelt sich auch in dem Trennartenschema (s. Tab. 33) wider.

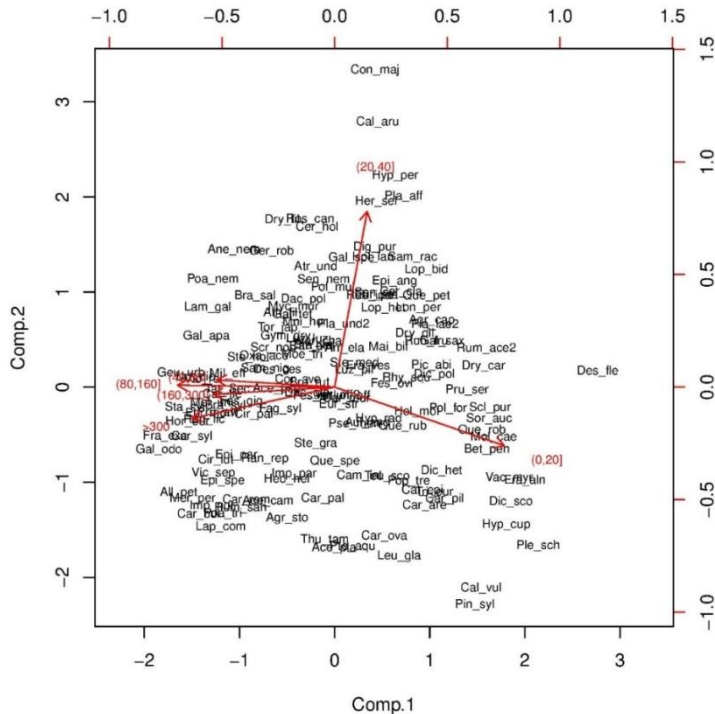


Abbildung 143: Hauptkomponentenanalyse in Bezug auf die untersuchten Pflanzenarten und sechs Klassen des Magnesiumvorrats. Die wichtigste Trennung erfolgt entlang der ersten Achse (X-Achse), auf der sich die Klassen unter 20 und über 40 kg/ha gegenüberstehen. Über einem Magnesiumvorrat von 40 kg/ha ist eine Trennung der Klassen nach dem Auftreten von Pflanzenarten kaum möglich.

Tabelle 33: *Auf der Grundlage der BZE II entwickeltes Trennartenschema zur Ansprache der Magnesiumvorräte [kg/ha] von Waldböden (Bezug: Mineralboden in 0–5 cm Bodentiefe)*

Magnesiumvorrat [kg/ha]					
0–20	> 20–40	> 40–80	> 80–160	> 160–300	> 300
Besenförmiges Gabelzahnmoos, Besenheide, Echtes Schlafmoos, Einseitswendiges Kleingabelzahnmoos, Europäischer Siebenstern, Faulbaum, Gewelltes Gabelzahnmoos, Gewöhnliches Pfeifengras, Grünstengelmoos, Hänge-Birke, Hasenfuß-Segge, Heidelbeere, Land-Reitgras, Pillen-Segge, Rotstengelmoos, Salbei-Gamander, Sparriger Runzelpeter, Späte Trauben-Kirsche, Vogelbeere, Wald-Frauenhaar, Weiches Honiggras					
Artengruppe Echte Brombeere, Breitblättriger Dornfarn, Draht-Schmiele, Gewöhnlicher Dornfarn, Glänzendes Schiefbüchsenmoos, Harzer Labkraut, Kleiner Sauerampfer, Roter Holunder, Wald-Geißblatt, Zweizähniges Kammkelchmoos					
Rotes Straußgras					
	Rankender Lerchensporn, Wald-Greiskraut, Wald-reitgras				
	Himbeere, Roter Fingerhut, Verschiedenblättriges Kammkelchmoos, Wolliges Honiggras				
	Gewelltes Katharinenmoos				
	Busch-Windröschen, Wald-Frauenfarn				
	Artengruppe Knäuelgras, Hain-Rispengras				

(Fortsetzung Tabelle 33)

Magnesiumvorrat [kg/ha]					
0–20	> 20–40	> 40–80	> 80–160	> 160–300	> 300
		Gewöhnlicher Efeu, Weißliche Hainsimse			
		Berg-Weidenröschen, Wald-Sauerklee, Winkel-Segge			
		Einblütiges Perlgras, Gewöhnliche Brennnessel, Gewöhnliche Esche, Gewöhnliche Nelkenwurz, Gewöhnliches Flattergras, Gewöhnliches Hexenkraut, Klettenlabkraut, Schwarzer Holunder, Vogel-Kirsche, Wald-Bingelkraut, Waldmeister, Wald-Segge, Wald-Zwenke, Zwiebel-Zahnwurz			
			Berg-Ahorn		
			Gewöhnliche Knoblauchsrauke, Riesenschwingel, Gewöhnliches Scharbockskraut, Wald-Ziest, Waldgerste, Wald-Weilchen		
				Gewöhnliche Hasel	

### 9.3.4.3 Kalium

Auch beim Kalium ist eine Dreigliederung der Wertebereiche 0–20, > 20–40 und > 40 kg/ha erkennbar (s. Abb. 144). Anders als beim Magnesium ist jedoch die Differenzierung oberhalb von 40 kg/ha etwas deutlicher und es stehen einige Trennarten zur Verfügung (s. Tab. 34).

Tabelle 34: *Auf der Grundlage der BZE II entwickeltes Trennschema zur Ansprache der Kaliumvorräte [kg/ha] von Waldböden (Bezug: Mineralboden in 0–5 cm Bodentiefe)*

Kaliumvorrat [kg/ha]					
0–20	> 20–40	> 40–60	> 60–80	> 80–120	> 120
Besenförmiges Gabelzahnmoos, Besenheide, Einseitswendiges Kleingabelzahnmoos, Europäischer Siebenstern, Gewelltes Gabelzahnmoos, Gewelltes Schiefbüchsenmoos, Hänge-Birke, Harzer Labkraut, Rankender Lerchensporn, Rotstengelmoos, Sparriger Ruzelpeter, Späte Trauben-Kirsche, Verschiedenblättriges Kammkelchmoos, Wald-Greiskraut, Wolliges Honiggras, Zweizähni- ges Kammkelchmoos					
Berg-Weidenröschen, Breitblättriger Dornfarn, Draht-Schmiele, Echtes Schlafmoos, Faulbaum, Gewöhnliches Pfeifengras, Grünstengelmoos, Heidelbeere, Himbeere, Pillen-Segge, Roter Fingerhut, Schmalblättriges Weidenröschen, Vogelbeere, Wald-Frauenhaar					
	Artengruppe Echte Brombeere, Bleiche Segge, Gewöhnlicher Dornfarn, Glänzendes Schiefbüchsenmoos, Krü- ckenförmiges Kurz- büchsenmoos, Land-Reitgras, Ro- tes Straußgras, Wald-Ehrenpreis Weiches Honiggras Kleines Springkraut, Wald-Sauerklee Artengruppe Gewöhnlicher Wurm- farn, Gewöhnlicher Efeu Berg-Ahorn				

(Fortsetzung Tabelle 34)

Kaliumvorrat [kg/ha]					
0–20	> 20–40	> 40–60	> 60–80	> 80–120	> 120
		Eichenfarn			
		Gewelltes Katharinenmoos, Gewöhnlicher Hohlzahn, Winkel-Segge			
		Große Sternmiere, Knotige Braunwurz			
		Artengruppe Knäuelgras, Blut-Ampfer, Busch-Windröschen, Einblütiges Perlgras, Gewöhnliche Knoblauchsrauke, Gewöhnliche Nelkenwurz, Gewöhnliches Flattergras, Gewöhnliches Hexenkraut, Gewöhnliches Scharbockskraut, Hain-Rispengras, Schwarzer Holunder, Waldgerste, Waldmeister, Wald-Segge, Wald-Ziest			
		Artengruppe Echte Goldnessel, Gewöhnliche Brennnessel, Kletten-Labkraut, Vogel-Kirsche, Wald-Veilchen, Wald-Zwenke, Zaun-Wicke, Zwiebel-Zahnwurz			
				Artengruppe Hain-Greiskraut, Roter Holunder, Vielblütige Weißwurz	
				Gewöhnliche Hasel, Wald-Bingelkraut	

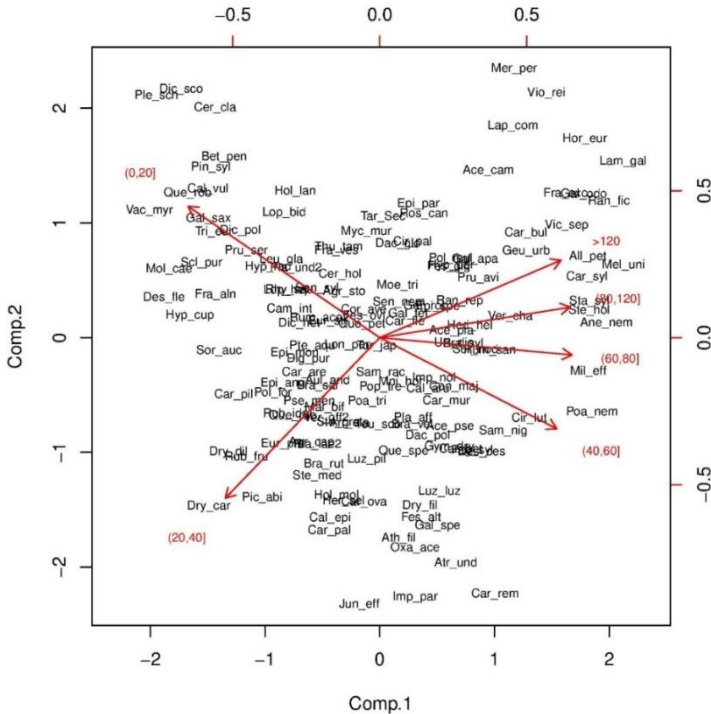


Abbildung 144: Hauptkomponentenanalyse in Bezug auf die untersuchten Pflanzenarten und sechs Klassen des Kaliumvorrats. Die wichtigste Trennung erfolgt entlang der ersten Achse (X-Achse), auf der sich die Klassen unter 20 und über 40 kg/ha gegenüberstehen. Eine Differenzierung oberhalb von 40 kg/ha erscheint nicht als sinnvoll.

### 9.3.5 Ansprache der Nährstoffversorgung mithilfe von Indikatorarten

Für eine Zuordnung der Nährstoffversorgung von Waldböden zu den drei Stufen „arm“, „mittel“ und „reich“ mithilfe von weit verbreiteten Gefäßpflanzen- oder Moosarten kann das nachfolgende zusammenfassende Schema (s. Tab. 35) dienen. In dieses Schema sind insgesamt 83 Pflanzenarten eingegangen, die im Hinblick auf mindestens zwei der Kenngrößen pH-Wert (Pufferbereich), Basensättigung und C/N-Wert übereinstimmend interpretierbare Vorkommensschwerpunkte zeigen. Die Reaktionsmuster der Pflanzenarten auf die Vorräte der basischen Kationen (Ca, Mg, Ka) wurden hier nicht berücksichtigt, da die Basensättigung in diesem Zusammenhang als belastbarere Größe erschien. Während sich die Stufen „arm“ und „reich“ jeweils durch größere Trennartengruppen auszeichnen, ist die Stufe „mittel“ nicht durch eigene Arten, sondern durch das Fehlen der benachbarten Artengruppen sowie die Überschneidung der für die Stufen „arm bis mittel“ und „mittel bis reich“ charakteristischen Arten gekennzeichnet.



Beim Gebrauch des Schemas ergeben sich einige grundsätzliche Unterschiede zu dem in der Forstlichen Standortaufnahme (AK STANDORTSKARTIERUNG 2003) beschriebenen und bisher üblichen Verfahren der Anwendung ökologischer Artengruppen. Die Ergebnisse der BZE II ermöglichen es, dieses Verfahren weiterzuentwickeln und ökologische Artengruppen auf zahlenmäßiger Basis bodenchemischen Kenngrößen zuzuordnen. So sind die in Tabelle 35 aufgeführten Arten durchweg weit verbreitete Gefäßpflanzen- und Moossippen, deren Verhalten gegenüber verschiedenen bodenchemischen Zuständen durch Messwerte untermauert ist. Dagegen listet die Forstliche Standortaufnahme neben weit verbreiteten auch viele sehr seltene Arten auf und die Zuordnung der Sippen zu ökologischen Artengruppen beruht in der Regel auf Erfahrungswissen. Den Bezugsraum der Ergebnisse (s. Tab. 35) bilden in erster Linie die Bundesländer Niedersachsen, Bremen, Hessen und Sachsen-Anhalt und damit den geographischen Raum, aus dem die Vegetationsaufnahmen und bodenchemischen Messwerte stammen. Dies bietet gegenüber den in der Forstlichen Standortaufnahme enthaltenen, bundesweit gültigen Artengruppen den Vorteil einer höheren Passgenauigkeit für Nordwestdeutschland. Schließlich liegt noch ein erheblicher Unterschied darin, dass die in der Forstlichen Standortaufnahme in der Regel vorgenommene Festlegung der Arten auf je eine Wasserhaushaltsstufe und eine Humusform zu einer starken Einengung ihrer ökologischen Amplitude führen muss, die dem tatsächlichen Verhalten der Pflanzenarten häufig nicht gerecht werden kann. So ist in der Forstlichen Standortaufnahme beispielsweise die Besenheide der Wasserhaushaltsstufe I (Schwergewicht auf trockenen und/oder warmen Standorten) zugeordnet, während sie tatsächlich hinsichtlich des Wasserhaushalts indifferent ist (vgl. ELLENBERG et al. 2001). Ein weiteres Beispiel ist die Heidelbeere, die nach der Forstlichen Standortaufnahme der Wasserhaushaltsstufe II (Schwergewicht auf mäßig trockenen bis mäßig frischen Standorten) angehört. Auch die Heidelbeere ist in Bezug auf den Wasserhaushalt indifferent (vgl. ELLENBERG et al. 2001). Aufgrund dieser und vieler ähnlicher Fälle wird in dem nachfolgenden Schema (s. Tab. 35) auf eine Differenzierung nach dem Wasserhaushalt verzichtet.

Tabelle 35: *Auf der Grundlage der BZE II entwickeltes Trennartenschema zur Ansprache der Nährstoffversorgung von Waldböden (Bezug: Mineralboden in 0–5 cm Bodentiefe)*

arm	mittel	reich
Besenförmiges Gabelzahnmoos, Besenheide, Draht-Schmiele, Echtes Schlafmoos, Europäischer Siebenstern, Faulbaum, Gewelltes Gabelzahnmoos, Gewöhnlicher Dornfarn, Gewöhnliches Pfeifengras, Grünstengelmoos, Hänge-Birke, Harzer Labkraut, Heidelbeere, Rotstengelmoos, Schmalblättriges Weidenröschen, Vogelbeere, Wald-Greiskraut, Zweizähniiges Kammkelchmoos		
	Breitblättriger Dornfarn, Einseitswendiges Kleingabelzahnmoos, Flatter-Binse, Gewöhnlicher Holzzahn, Glänzendes Schiefbüchsenmoos, Hasenfuß-Segge, Himbeere, Kleiner Sauerampfer, Land-Reitgras, Langgestrecktes Schönschnabelmoos, Pillen-Segge, Roter Holunder, Rotes Straußgras, Salbei-Gamander, Verschiedenblättriges Kammkelchmoos, Wald-Frauenhaar, Wald-Reitgras	
	<p>Artengruppe Echte Goldnessel, Artengruppe Gewöhnlicher Wurmfarn, Artengruppe Knäuelgras, Berg-Ahorn, Bleiche Segge, Busch-Windröschen, Dreinervige Nabelmiere, Eichenfarn, Einblütiges Perlgras, Gewelltes Katharinenmoos, Gewöhnliche Brennessel, Gewöhnliche Esche, Gewöhnliche Hasel, Gewöhnliche Nelkenwurz, Gewöhnliches Flattergras, Gewöhnliches Scharbockskraut, Große Sternmiere, Großes Springkraut, Hain-Rispengras, Kleines Springkraut, Knotige Braunwurz, Rasen-Schmiele, Schwarzer Holunder, Spitz-Ahorn, Stink-Storchschnabel, Vogel-Kirsche, Wald-Frauenfarn, Waldmeister, Wald-Sauerklee, Wald-Schaumkraut, Wald-Segge, Wald-Veilchen, Wald-Ziest, Wald-Zwenke, Weißliche Hainsimse, Zwiebel-Zahnwurz</p>	
		Blut-Ampfer, Gewöhnliche Knoblauchsrauke, Gewöhnlicher Efeu, Gewöhnlicher Rainkohl, Gewöhnliches Hexenkraut, Gewöhnliches Rispengras, Kleinblütiges Weidenröschen, Riesen-Schwengel, Samt-Kurzbüchsenmoos, Wald-Bingelkraut, Waldgerste, Zaun-Wicke

Folgende Wertebereiche liegen den Stufen zugrunde:

arm	= Eisen- bis Aluminium-Pufferbereich,	Basensättigung = 0-30 %, C/N = > 21–100
arm bis mittel	= Eisen- bis Austauscher-Pufferbereich,	Basensättigung = 0-50 %, C/N = > 16–100
mittel bis reich	= Austauscher- bis Carbonat-Pufferbereich,	Basensättigung = > 30 %, C/N = 0–21
reich	= Silikat- bis Carbonat-Pufferbereich,	Basensättigung = > 50 %, C/N = 0–16