

Die Substratgruppe Buntsandstein

Jan Evers, Uwe Paar und Inge Dammann

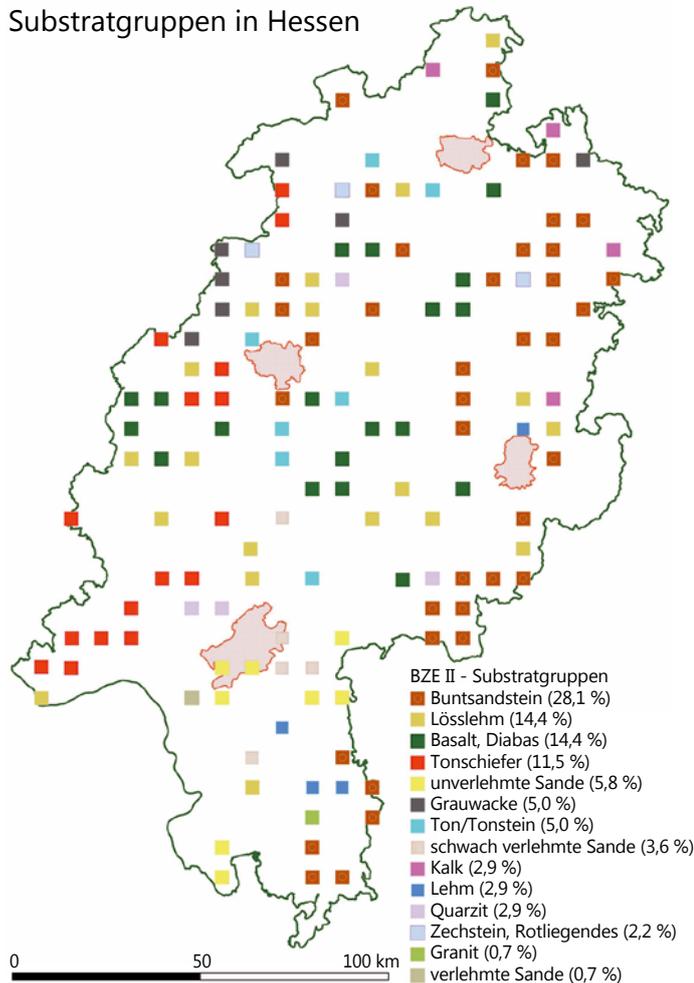
Jeder der 388 BZE II-Punkte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt wurde einer Substratgruppe zugeordnet. Die Generierung der länderübergreifenden Substratgruppen erfolgte nach den Merkmalen Ausgangssubstrat (Ausgangsgestein), Lagerung (Substrat-Lagerung), Bodenart, Bodenmorphologie und Bodenphysik. In Hessen kommen 14 der für Nordwestdeutschland insgesamt definierten 16 Substratgruppen vor. Für 39 BZE-Punkte (28 %) wurde die Substratgruppe „Buntsandstein“ ausgewiesen. Der Buntsandstein ist somit die am häufigsten vorkommende Substratgruppe in Hessen.

Schwerpunktmäßig liegt das große osthessische Buntsandsteinvorkommen im mitteldeutschen Trias-Berg- und Hügelland (Reinhardswald, Kaufunger Wald, Sandsteingebiet Hersfeld/Niederaula), am Ostrand des Vogelsberges (Fulda-/Haune-Bergland), in der Rhön und im Spessart. Das südlichste Buntsandsteingebiet findet sich im Odenwald (Ostteil und zentraler Odenwald). Größere nordwestlich vorkommende Buntsandsteinplatten sind im Burgwald und im Waldeck-Wolfhagener Berg- und Hügelland ausgeprägt (Schwerpunkt Ostteil des Landkreises Waldeck-Frankenberg).

Geologie

Die in Hessen landschaftsprägenden, zumeist rotfarbigen Buntsandsteinschichten wurden als Lockersedimente vor rund 240 Mio. Jahren (Trias) abgelagert. Die Sedimente bestehen im Wesentlichen aus Flusssanden (eher nährstoff-

Substratgruppen in Hessen



Zuordnung der 139 hessischen BZE II-Punkte zu Substratgruppen



Buntsandstein-Steinbruch bei Bad Karlshafen (Karlshafen-Schichten, Solling-Formation)
Foto: M. Spielmann

ärmer) und feinkörnigen Stillwasserablagerungen (nährstoffreicher), die aus südlichen, höher gelegenen Gebieten über Fließgewässer transportiert wurden. Die Ablagerungen wurden dann unter dem Gewicht weiterer Sedimentfolgen jüngerer Zeitalter verfestigt und nach dem Abtrag dieser Schichten im Zuge tektonischer Gebirgsfaltungen, Erosion und Verwitterung wieder freigelegt. Je nach Beschaffenheit und Herkunft des sedimentierten Materials kann der Buntsandstein sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein. Es können z. B. auch Tone, Kalke und Gipse bis hin zu kiesigen Schichten mit eingelagert sein. Die namensgebende rotbraune Färbung resultiert aus Eisenoxid, welches aus der Verbindung von im Gestein enthaltenem Eisen mit Luftsauerstoff im Wechsel von Feucht- und Trockenphasen entsteht. Durch Bleichungsprozesse kommen aber auch gelbliche bis sehr helle Farben vor.

Standorte des Oberen Buntsandsteins (Röt) sind in Hessen nur selten mit Wald bestockt. Sie weisen einen höheren Tongehalt und eine bessere Nährstoffversorgung auf und werden i. d. R. landwirtschaftlich genutzt. Unter Wald werden sie überwiegend in die Substratgruppe Ton(stein) eingeordnet. Der Untere- und Mittlere Buntsandstein ist durch Serien feinkörniger Sand- und Tonsteine charakterisiert. Sie werden von grobkörnigen Sandsteinen unterbrochen, die jeweils eine neue Sedimentationsfolge einleiten.

Der Mittlere Buntsandstein wird klassisch unterteilt in den Hauptbuntsandstein (sm1) und den Bausandstein (sm2). Er kann aber auch in vier Sedimentations-Großzyklen gegliedert werden: Solling-, Hardegsen-, Detfurth- und Volpriehausen-Formation. Der Untere Buntsandstein wird in zwei Folgen gegliedert: Bernburg- und Calvörde-Formation.

Der Buntsandstein wurde immer schon als Baumaterial geschätzt, viele historische Gebäude wie Kirchen, Klöster und Brücken wurden aus diesem Material errichtet. Im Wald finden sich häufig alte, aufgelassene Steinbrüche.

Bodenart und Bodenartenschichtung (Substrat-Lagerung)

In der Regel findet man an den Buntsandstein-Standorten in Hessen bis zu 70 cm mächtige, teils lehmige, schluffige bis sandige Decken (Löss-Lehmdecken) über dem Silikatgestein. Diese sind auf 54 % der Standorte mit einer Mächtigkeit

Die Substratgruppe Buntsandstein

keit zwischen 30 und 70 cm ausgebildet, während bei 31 % die Deckschicht nur bis zu 30 cm mächtig ist. Die Basislagen werden durch den anstehenden Buntsandstein stärker sandig mit regional schluffig-tonigen Einschaltungen geprägt.

Bodentypen

Als Bodentypen sind Braunerden (38 %), Podsol-Braunerden (13 %) und Pseudogley-Braunerden (13 %) im Bereich der Buntsandsteinstandorte vorherrschend. Die Braunerden, Parabraunerde-Braunerden und Braunerde-Parabraunerden sind zwar in unterschiedlichem Maße podsoliert, stellen sich aber hinsichtlich der Folgen von Bodenversauerung günstiger dar als die Podsol-Braunerden und Braunerde-Podsole. Die erste Gruppe stellt ungefähr 50 % aller Standorte des Buntsandsteins in Hessen, die zweite ungefähr 20 %. 30 % der Buntsandstein-Standorte weisen Einflüsse von Stau- und Hangwasser auf.

Humusformen

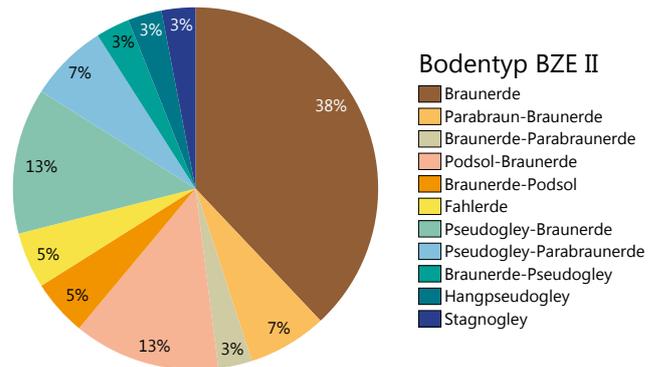
Die vorkommenden Humusformen sind recht vielfältig: Die besseren Humusformen Mull und Mullartiger Moder kommen auf rund 40 % der Buntsandstein-Standorte vor, die mittleren Humusformen des typischen Moders (feinhumusarme und feinhumusreiche Ausprägung) auf 28 % und die ungünstigeren Humusformen des Rohhumusartigen Moders sowie des Rohhumus auf gut einem Viertel. Vereinzelt trat Graswurzelfilz-Moder auf oder der Humuszustand konnte wegen zu starker Störungen nicht eindeutig klassifiziert werden.

Trophie

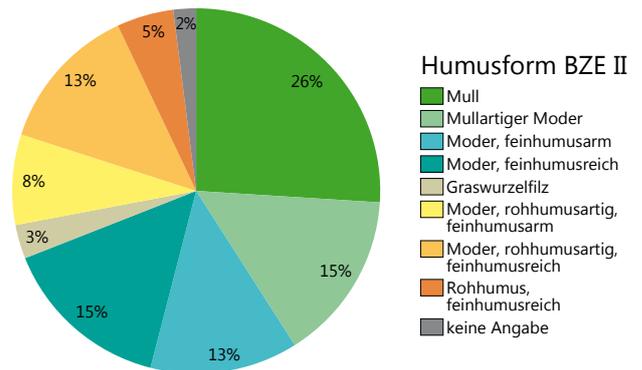
Die Trophie der Buntsandsteinstandorte ist i. d. R. mesotroph oder schwach mesotroph, es können aber auch oligotrophe Standorte (Podsole) vorkommen.



BZE-Buntsandsteinprofil bei Bebra in Nord-Osthessen: Verunreinigter Löss über einer Buntsandsteinfließerde Foto: NW-FVA



Verteilung der Bodentypen in der Substratgruppe Buntsandstein in Hessen (BZE II)



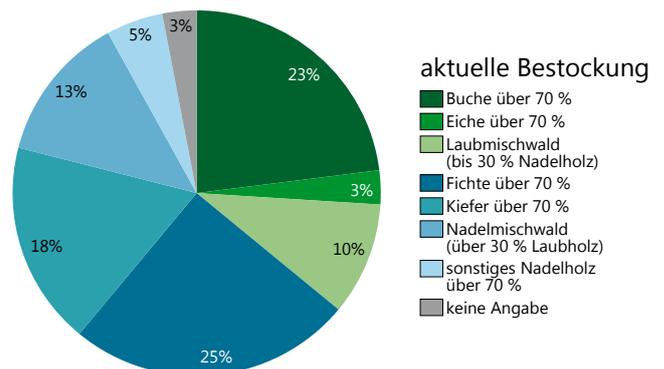
Verteilung der Humusformen in der Substratgruppe Buntsandstein in Hessen (BZE II)

Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

Als natürliche Waldgesellschaften finden sich auf Standorten des Buntsandsteins typische Hainsimsen-Buchenwälder und deren Subtypen.

Diese Subtypen der Hainsimsen-Buchenwälder sind im staufeuchten Bereich durch die Rasenschmiele gekennzeichnet, im feuchten und schattigen Bereich durch Frauenern und Eichenfarn und in nährstoffärmeren Bereichen durch das Weißmoos. Das Flattergras zeigt dagegen eine etwas nährstoffreichere Ausbildung an. Drahtschmiele und Heidelbeere kommen in den trockeneren und sonnigeren Standortsbereichen vor.

Zum Zeitpunkt der BZE II waren 36 % der Buntsandsteinstandorte mit Laubwald – überwiegend Buche – und 61 % mit Nadelwald bestockt, hier hauptsächlich Fichten- und Kiefernbestände.



Verteilung der aktuellen Bestockung in der Substratgruppe Buntsandstein in Hessen (BZE II)

Die Substratgruppe Buntsandstein

Chemische Bodenkenngrößen

Austauschkapazität

Eine der wichtigsten bodenchemischen Kenngrößen ist die Austauschkapazität als Summe der Konzentrationen der leicht mobilisierbaren Kationbasen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium sowie der Kationsäuren Aluminium, Eisen, Mangan und Protonen.

Mit rund 400 kmol_c je Hektar Austauschkapazität (summiert bis 90 cm Bodentiefe) fällt die Substratgruppe Buntsandstein in Hessen in den mittleren Bewertungsbereich nach der AK-Standortskartierung (2016). Die Spannbreiten sind jedoch recht hoch, sie reichen mit 160 kmol_c je Hektar vom gering-mittleren Bewertungsbereich bis zum mittel-hohen Bewertungsbereich mit 850 kmol_c je Hektar (BZE II). Die Substratgruppe Buntsandstein kann in eine mehr sandige und eine mehr tonige Fraktion unterteilt werden. In der sandigen Fraktion ist die Austauschkapazität mit durchschnittlich rund 300 kmol_c je Hektar bis 90 cm Bodentiefe nur fast halb so hoch wie in der tonigen Fraktion mit 560 kmol_c je Hektar. Bei den tonigen Buntsandsteinböden liefern vor allem die Bodenschichten unter 30 cm Bodentiefe mit 200 kmol_c je Hektar relativ hohe Werte der Austauschkapazität. Im Vergleich dazu liegt die Austauschkapazität dieser Bodenschichten bei den mehr sandigen Buntsandsteinböden nur bei ungefähr 100 kmol_c je Hektar. Im Vergleich zu den anderen Waldstandorten in Hessen finden sich nur bei den Sanden in der Rhein-Main Ebene geringere Werte für die Austauschkapazität als bei der sandigen Fraktion des Buntsandsteins. Damit zählt diese Ausprägung des Buntsandsteins zu den ärmsten

Standorten in Hessen. Die tonige Ausprägung des Buntsandsteins dagegen übertrifft hinsichtlich der Austauschkapazität die Grauwacken, die meisten Tonschiefer, Quarzite und Granite und rangiert damit in Hessen im mittleren standörtlichen Bereich. Standorte mit Zechstein, Lösslehm, Kalk, Basalt und Diabas sowie Tonstein weisen deutlich höhere Austauschkapazitäten auf.

Basensättigung

Im Zuge fortschreitender Bodenversauerung werden die an der Pufferung beteiligten basischen Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium vom Austauscher durch die sauren Kationen Aluminium, Eisen, Mangan und Wasserstoff-Ionen verdrängt. Die Austauschkapazität bleibt dabei weitgehend konstant, es verringert sich jedoch die Basensättigung, also der relative Anteil der basischen Nährstoffkationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium im Vergleich zur Summe aller Kationen am Austauscher. Ein starkes Absinken der Basensättigung im Mineralboden ist eine Folge luftbürtiger, versauernd wirkender Stoffeinträge. Eine Basensättigung unterhalb von 20 % wird als gering und unter 7 % als sehr gering eingestuft. Diese Werte werden in den am stärksten versauerten Waldböden erreicht. Für Böden mittlerer Nährstoffgüte ist eine Basensättigung von 30 bis 50 % definiert und bei gut nährstoffversorgten Standorten erreicht die Basensättigung Werte von über 50 %.

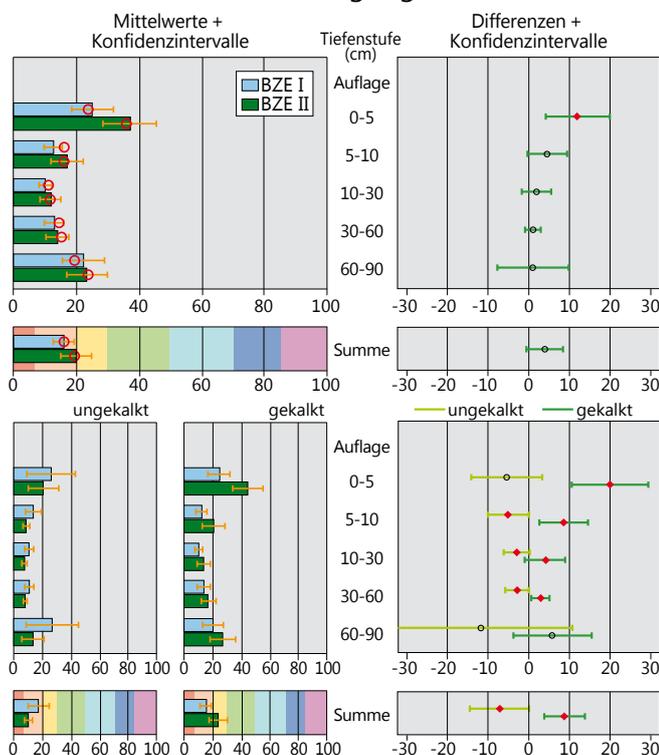
Zum Zeitpunkt der BZE II ergeben sich im Buntsandstein in Hessen knapp 20 % durchschnittliche Basensättigung auf Profilebene, was eine geringe Basenversorgung anzeigt (Abbildung links). Dieser Wert liegt nur halb so hoch wie der Durchschnittswert für Hessen. Mit 16 % Basensättigung im Durchschnitt lagen die Werte der BZE I sogar noch niedriger. Die jeweils höchsten Werte in der BZE I und II nach Tiefenstufen finden sich in 0-5 cm Bodentiefe. Hier ist der Einfluss organischer Substanz und der Waldkalkung am höchsten. Mit der Bodentiefe sinken die Werte deutlich ab und liegen zwischen 10 und 17 %. In 60-90 cm Bodentiefe erreichen die durchschnittlichen Werte der Basensättigung mit 22 % den gering-mittleren Bewertungsbereich.

Basensättigungen von unter 20 % zeigen an, dass diese Standorte nicht mehr über das Potential an austauschbaren Nährstoffen verfügen, welches grundsätzlich bei gegebener Austauschkapazität an vergleichbaren, unbelasteten Waldstandorten zur Verfügung stand. In diesem Milieu wird der Austauscher und die Bodenlösung durch das Kation Aluminium geprägt. Calcium, Magnesium und Kalium liegen in vergleichsweise geringen Anteilen vor. Für Baumwurzeln kann es unter diesen Bedingungen schwierig werden, ausreichend Nährstoffe aufzunehmen. Aluminium wirkt in der Bodenlösung in höheren Konzentrationen zudem toxisch gegenüber Pflanzenwurzeln. In diesen Fällen können Kompensationsmaßnahmen in Form von Waldkalkungen sinnvoll sein. Daher wurden in Hessen rund 70 % der Buntsandstein-Standorte gekalkt.

Veränderung der Basensättigung

In Bodentiefen zwischen 5 und 60 cm werden kritische Werte von unter 15 % Basensättigung erreicht (Abbildung links). Insgesamt hat die Basensättigung im Buntsandstein im Oberboden zugenommen, in 0-5 cm Bodentiefe signifi-

Basensättigung (%)



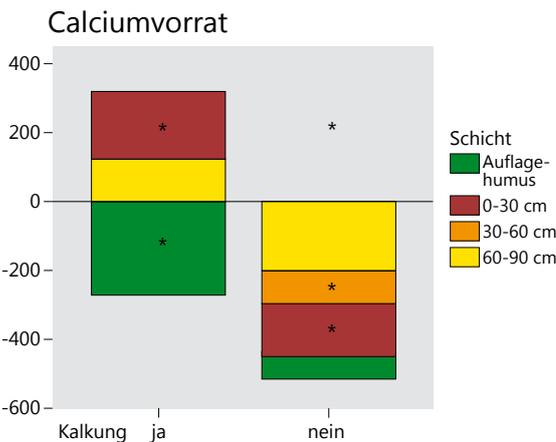
Basensättigung der Substratgruppe Buntsandstein ($n=39$) in hessischen Waldböden als Mittelwert für die BZE I und II (linke Spalte) und Differenz ($BZE II - BZE I$) (rechte Spalte) nach Tiefenstufen und Summe bis 90 cm, jeweils als Gesamtergebnis (obere 4 Grafiken) und nach ungekalkt ($n=11$) / gekalkt ($n=27$) (untere 6 Grafiken); ein BZE-Punkt entfällt, da der Kalkungsstatus nicht zu klären war.

Die Substratgruppe Buntsandstein

fikant. Im gekalkten Kollektiv des Buntsandsteins zeigen sich signifikante Zunahmen bis in 60 cm Bodentiefe, im ungekalkten Kollektiv dagegen signifikante Abnahmen bis in diese Bodentiefe. Im ungekalkten Kollektiv ist die Basensättigung zum Zeitpunkt der BZE II deutlich niedriger als im gekalkten Kollektiv.

Veränderung der Calcium- und Magnesiumvorräte

Im gekalkten Kollektiv des Buntsandsteins haben die Calciumvorräte im Auflagehumus signifikant abgenommen (-47 % bezogen auf die BZE I). Diese Abnahmen werden kompensiert durch Zunahmen im Mineralboden. Signifikante Zunahmen gab es bis 30 cm Bodentiefe (+90 %). Die Calciumvorräte auf Profilebene im gekalkten Kollektiv des Buntsandsteins nahmen um 6 % zu. Dagegen kam es im ungekalkten Kollektiv im Auflagehumus und allen Bodenschichten zu deutlichen Abnahmen, die für 0-30 und 30-60 cm Bodentiefe und für das Gesamtprofil signifikant sind. Insgesamt ergeben sich für das ungekalkte Kollektiv des Buntsandsteins Abnahmen von 50 % des Calciumvorrates im Vergleich zur BZE I.



Differenzen der Calciumvorräte (kg je Hektar) der BZE II zur BZE I nach Tiefenstufen der Substratgruppe Buntsandstein (gekalkt (n=27) und ungekalkt (n=11)) in Hessen

Die Magnesiumvorräte haben im gekalkten Kollektiv des Buntsandsteins auf Profilebene bezogen auf die Vorräte der BZE I um 20 % zugenommen, im ungekalkten Kollektiv um 23 % abgenommen. Besonders deutlich und signifikant waren die Zunahmen in 0-30 (+ 206 %) und 30-60 cm (+36 %) beziehungsweise die Abnahmen im ungekalkten Kollektiv in 0-30 cm Bodentiefe (-55 %).

Die Ergebnisse zeigen, dass es trotz des Rückgangs der Säureeinträge auf ungekalkten Standorten des Buntsandsteins in Hessen zu starken Calciumverlusten, aber auch zu Verlusten von Magnesium aus dem Mineralboden gekommen ist. Auf gekalkten Standorten war dies nicht der Fall. Auf ungekalkten Stand-

orten verringert sich die Basensättigung weiter, auf gekalkten Standorten steigt sie an. Verallgemeinernd bedeutet dies für die silikatarmeren Waldstandorte, dass Kompensationsmaßnahmen durch Waldkalkungen dringend fortzuführen sind.

Ernährungssituation der Waldbäume

In der Substratgruppe Buntsandstein sind in Hessen alle vier Hauptbaumarten vertreten (Tabelle unten). Die Bewertung der Ernährungssituation von Buche, Fichte, Kiefer und Eiche erfolgt anhand der Mediane für die Hauptnährstoffe (Stickstoff, Kalium, Phosphor, Calcium und Magnesium) sowie der Stickstoffquotienten zum Zeitpunkt der BZE II.

Für Buche, Fichte und Kiefer überwiegen auf Buntsandstein die gekalkten Standorte, die daher das Gesamtergebnis wesentlich beeinflussen. Die Buche zeigt eine angespannte Phosphorernährung (latenter Mangel) sowie ein unausgewogenes N/P-Verhältnis. Auf den meisten Standorten in Hessen bestehen Phosphordefizite bei der Buche, die sowohl auf den gekalkten als auch den ungekalkten BZE II-Punkten verbreitet sind. Bei der Buche kommt es nach Kalkungsmaßnahmen tendenziell zu einer Erhöhung der Calcium- und Magnesiumgehalte, sodass auf den gekalkten BZE II-Punkten die N/Ca- und N/Mg-Verhältnisse ausgewogen sind, auf den ungekalkten BZE II-Punkten dagegen in den unharmonischen Bereich fallen.

Fichten und Eichen auf BZE II-Buntsandsteinstandorten befinden sich im Bereich normaler Hauptnährelementgehalte und ausgewogener Stickstoffquotienten. An den ungekalkten BZE II-Punkten sind die N/P-Verhältnisse bei beiden Baumarten unausgewogen.

Auch die Kiefer ist an den gekalkten BZE II-Punkten auf Buntsandstein überwiegend normal mit Hauptnährstoffen versorgt, lediglich die N/P-Quotienten zeigen unausgewogene Verhältnisse an. Für die Kiefer auf ungekalkten BZE II-Punkten werden latenter Mangel an Phosphor und Magnesium festgestellt, entsprechend sind die N/P- und N/Mg-Verhältnisse unausgewogen.

Insgesamt hat die Kalkung der Buntsandsteinstandorte die Ernährungssituation der vier Hauptbaumarten – insbesondere für Kiefer und Buche – verbessert.

Elementgehalte und Stickstoffquotienten

Baumart	Kalkung	Anzahl BZE-Punkte	Elementgehalte (mg/g)					Stickstoffquotient			
			Stickstoff N	Phosphor P	Kalium K	Calcium Ca	Magnesium Mg	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg
Rotbuche		21	23	1,0	7,7	6,3	1,2	20,8	3,1	3,4	19,9
	ja	14	23	1,0	7,2	6,7	1,3	20,6	3,1	3,2	19,2
	nein	7	24	1,0	7,8	6,1	1,1	22,0	2,9	4,1	23,4
Fichte		24	17	1,5	5,4	4,7	1,1	11,6	3,2	3,5	15,9
	ja	18	16	1,5	5,4	4,6	1,1	11,0	3,1	3,5	15,5
	nein	6	17	1,3	5,4	4,7	1,1	12,9	3,2	3,5	16,5
Kiefer		15	18	1,1	4,8	2,9	0,7	14,9	3,6	6,2	23,6
	ja	10	17	1,3	4,9	3,1	0,8	14,3	3,3	5,8	22,3
	nein	4	19	1,1	4,7	2,8	0,7	17,0	3,9	6,7	26,6
Eiche		7	27	1,5	8,0	6,2	1,5	19,7	3,0	4,5	15,9
	ja	3	24	1,5	7,6	7,8	1,9	16,8	3,0	2,9	15,7
	nein	4	27	1,4	8,8	6,1	1,5	19,9	3,1	4,7	19,7

 Elementgehalt im latenten Mangel bzw. Stickstoffquotient unausgewogen
 Elementgehalt im Normalbereich bzw. Stickstoffquotient ausgewogen
 Elementgehalt oberhalb des Normalbereichs

Median der Elementgehalte und Stickstoffquotienten in Nadeln (1. Nadeljahrgang) und Blättern von Buche, Fichte, Kiefer und Eiche an BZE II-Punkten auf Buntsandstein insgesamt und getrennt in gekalkte und ungekalkte BZE II-Punkte. Bewertung der Elementgehalte nach Göttlein (2015) und der Stickstoffquotienten nach Mellert u. Göttlein (2012)