

# Zeitliche Veränderungen von Bioindikationsparametern in Ökosystemkompartimenten ausgewählter Untersuchungsgebiete

## 1. Kiefernborke

Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) wurden zur Erfassung und Kontrolle der immissionsökologischen Situation in Forstökosystemen ausgewählt. Durch standardisierte Entnahme von Borkeproben mit einem speziellen Probennehmer erfolgt der Nachweis von atmosphärischen Nähr- und Schadstoffeinträgen in Kiefernaltbeständen in Raum und Zeit. Kiefernborke sind aufgrund ihrer chemisch inerten Oberfläche besonders geeignet, um Aerosole aus der Atmosphäre zu adsorbieren ([Poster 1](#)).

Informationen zur Probennahme, Probenaufarbeitung und chemischen Analyse sind in der Einleitung auf dieser Webseite durch Klicken auf [Auswirkungen](#) im Dokument „Auswirkungen von atmosphärischen schwefel- und stickstoffhaltigen Immissionen sowie Stoffeinträgen auf die Vitalität von Waldkiefern (*Pinus sylvestris* L.)“ zu finden.

Auf nachfolgenden Seiten sind Ergebnisse zur zeitlichen Veränderung von ausgewählten Nähr- und Schadstoffen in Kiefernborke von Kiefernaltbeständen aus den Untersuchungsgebieten Rösa (Land Sachsen-Anhalt) in der Dübener Heide und dem Backgroundgebiet Neuglobsow am Stechlin See (Land Brandenburg) beispielhaft dargestellt.

Das Untersuchungsgebiet Rösa befindet sich ca. 10 km östlich von Bitterfeld am Westrand der Dübener Heide und besteht aus 5 Testflächen.

GK-Koordinaten:

TF1: 4530,94 (RW); 5721,60 (HW); Forstamt Bitterfeld, Forstrevier Rösa: Abteilung: 269a2

TF2: 4530,93 (RW); 5721,84 (HW); Forstamt Bitterfeld, Forstrevier Rösa: Abteilung: 269a2

TF3: 4531,76 (RW); 5722,09 (HW); Forstamt Bitterfeld, Forstrevier Rösa: Abteilung: 266b4

TF4: 4532,05 (RW); 5722,07 (HW); Forstamt Bitterfeld, Forstrevier Rösa: Abteilung: 266a4

TF5: 4531,43 (RW); 5721,51 (HW); Forstamt Bitterfeld, Forstrevier Rösa: Abteilung: 227b

Das Untersuchungsgebiet Neuglobsow befindet sich ca. 3 km südwestlich vom Ort Neuglobsow am Stechlin See und besteht aus 5 Testflächen.

GK-Koordinaten:

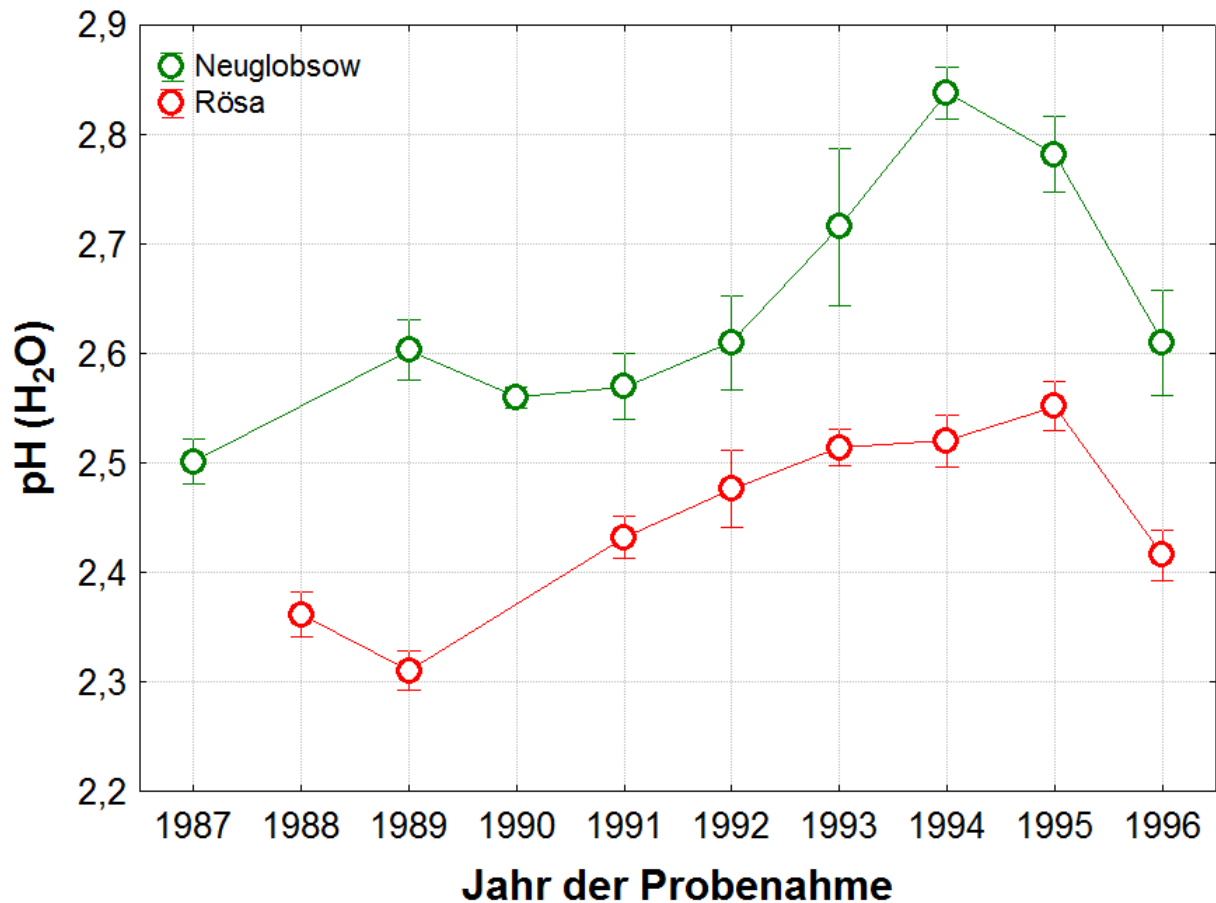
TF1: 4570,48 (RW); 5888,94 (HW); Forstamt Fürstenberg, Forstrevier Roofen: Abteilung: 265b4

TF2: 4570,09 (RW); 5889,43 (HW); Forstamt Fürstenberg, Forstrevier Neuglobsow: Abteilung: 75a3

TF3: 4570,98 (RW); 5890,01 (HW); Forstamt Fürstenberg, Forstrevier Neuglobsow: Abteilung: 73a8

TF4: 4565,83 (RW); 5887,33 (HW); Forstamt Fürstenberg, Forstrevier Sellenweide: Abteilung: 21a

TF5: 4565,07 (RW); 5888,50 (HW); Forstamt Fürstenberg, Forstrevier Sellenweide: Abteilung: 40a1

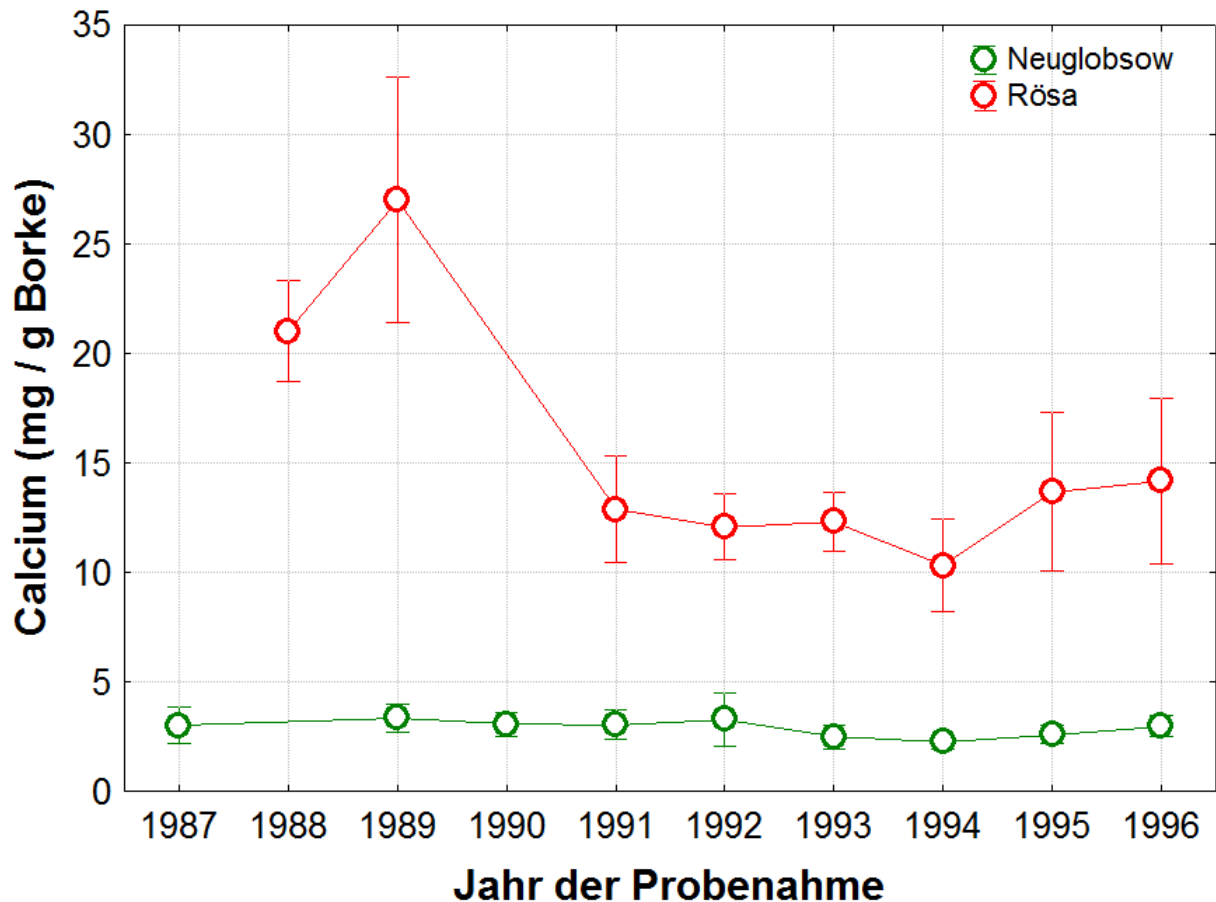


**Abb.1:** pH-Wert (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborke aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die pH-Werte in Kiefernborke von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant geringer, aber seit 1989 ansteigend. Ursache hierfür sind verringerte  $\text{SO}_2$ -Emissionen insbesondere aus den ortsnahen Kraftwerken Muldenstein und Zschornowitz westlich von Rösa wodurch sich die mittleren Konzentrationen von  $\text{H}^+$ -Ionen in den Kiefernborke von ehemals  $4,9 \mu\text{M/g}$  Borke in 1989 auf  $2,8 \mu\text{M/g}$  Borke deutlich verringerten (NIEHUS und SCHULZ, 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).

Weiterführende Literatur:

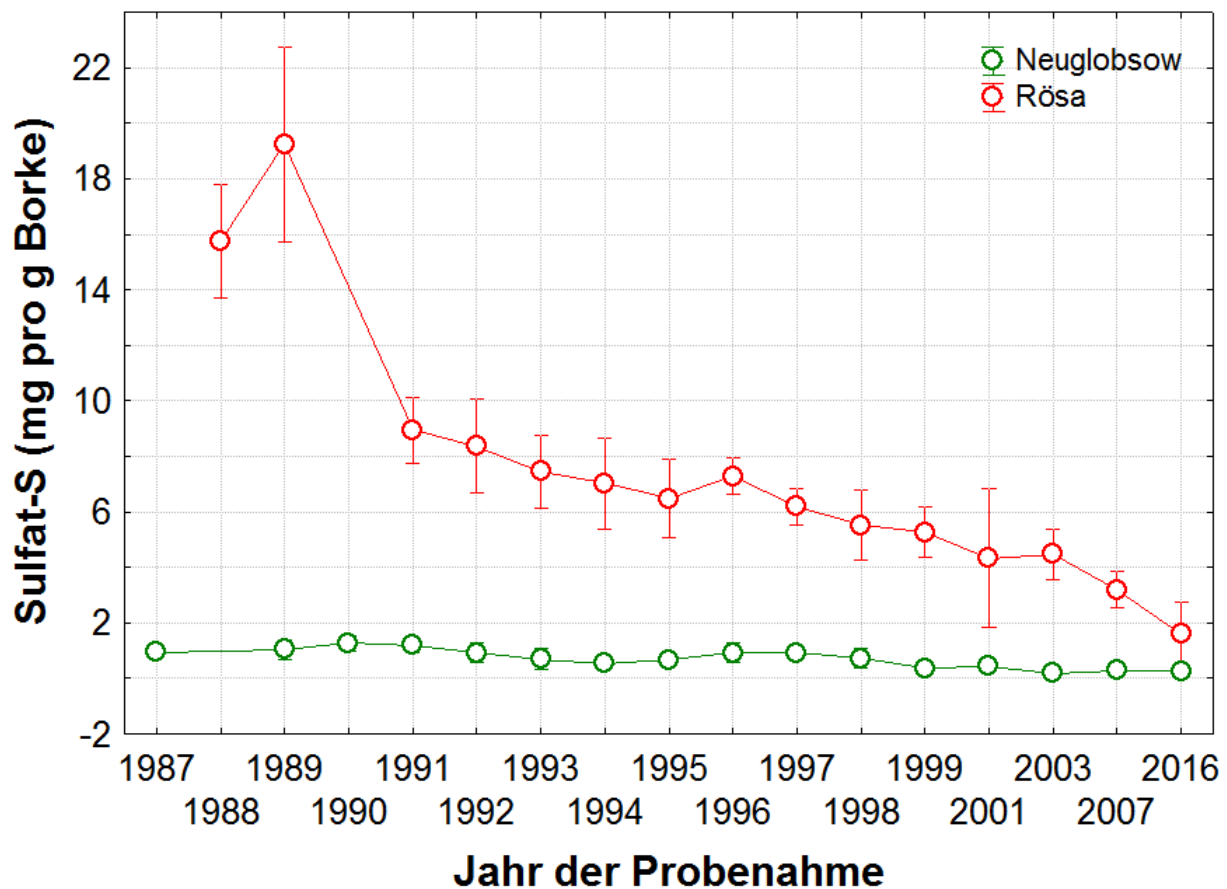
Stöcker, G. und Gluch, W. (1990): Bioindication of acid depositions on forest ecosystems – recognition of local and regional patterns. *Archiv Naturschutz Landschaftsforschung*. Berlin 30, (1), 3-12.



**Abb.2:** Calcium-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Calcium ist ein Hauptbestandteil von basischen Flugaschen und wird über die Atmosphäre u.a. in Forstökosysteme eingetragen wo es über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert wird (Poster 1).

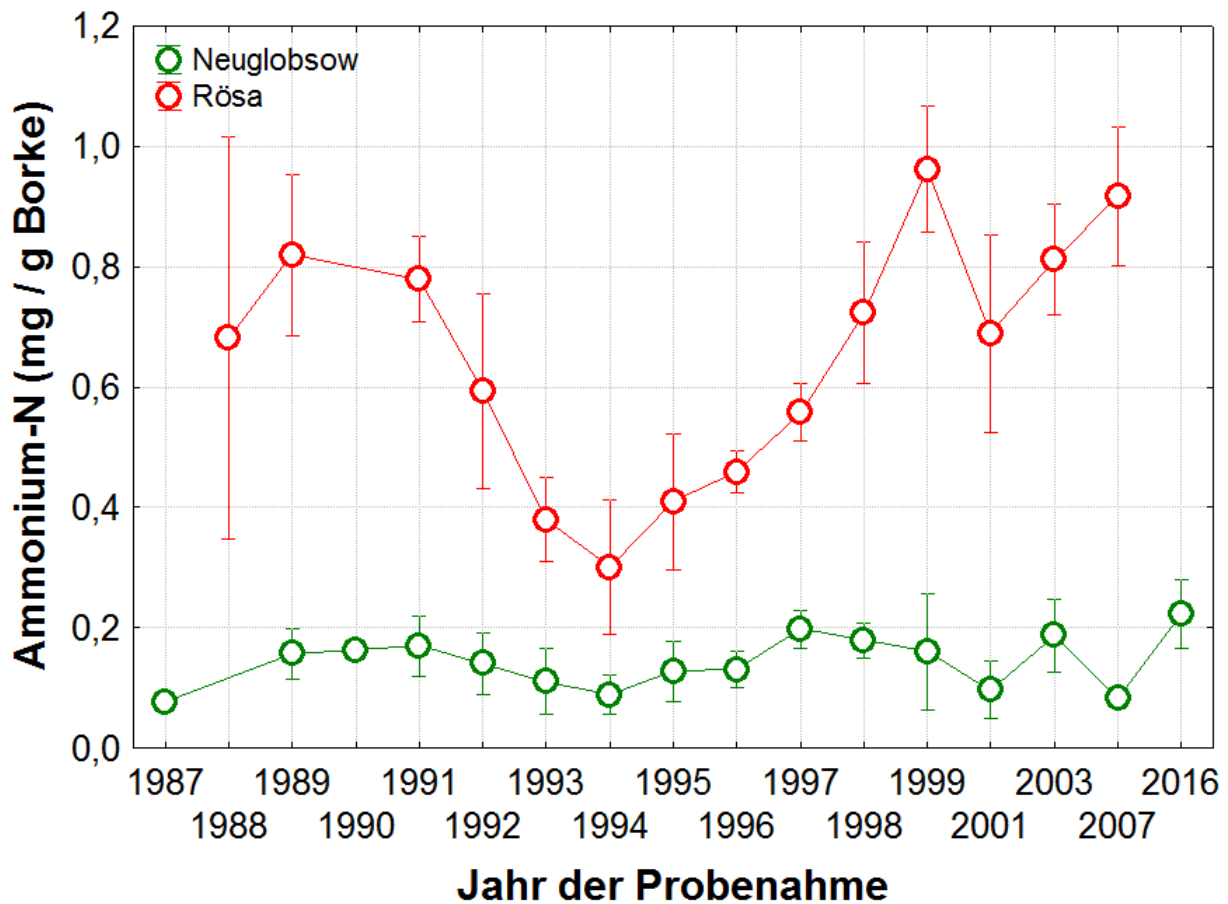
Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die Gesamtgehalte von Calcium in Kiefernborken von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, aber seit 1989 rückläufig. Ursache hierfür sind verringerte Emissionen von basischen Flugaschen aus Kraftwerken in Muldenstein und Zschornowitz westlich von Rösa (NIEHUS und SCHULZ, 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).



**Abb.3:** Sulfat-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Bei der Verbrennung von S-haltiger Braunkohle entsteht das Gas Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), das über die Atmosphäre als  $\text{SO}_2$ /Sulfat-Gemisch (Aerosol) u.a. in Forstökosysteme eingetragen wird und über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert wird (Poster 1).

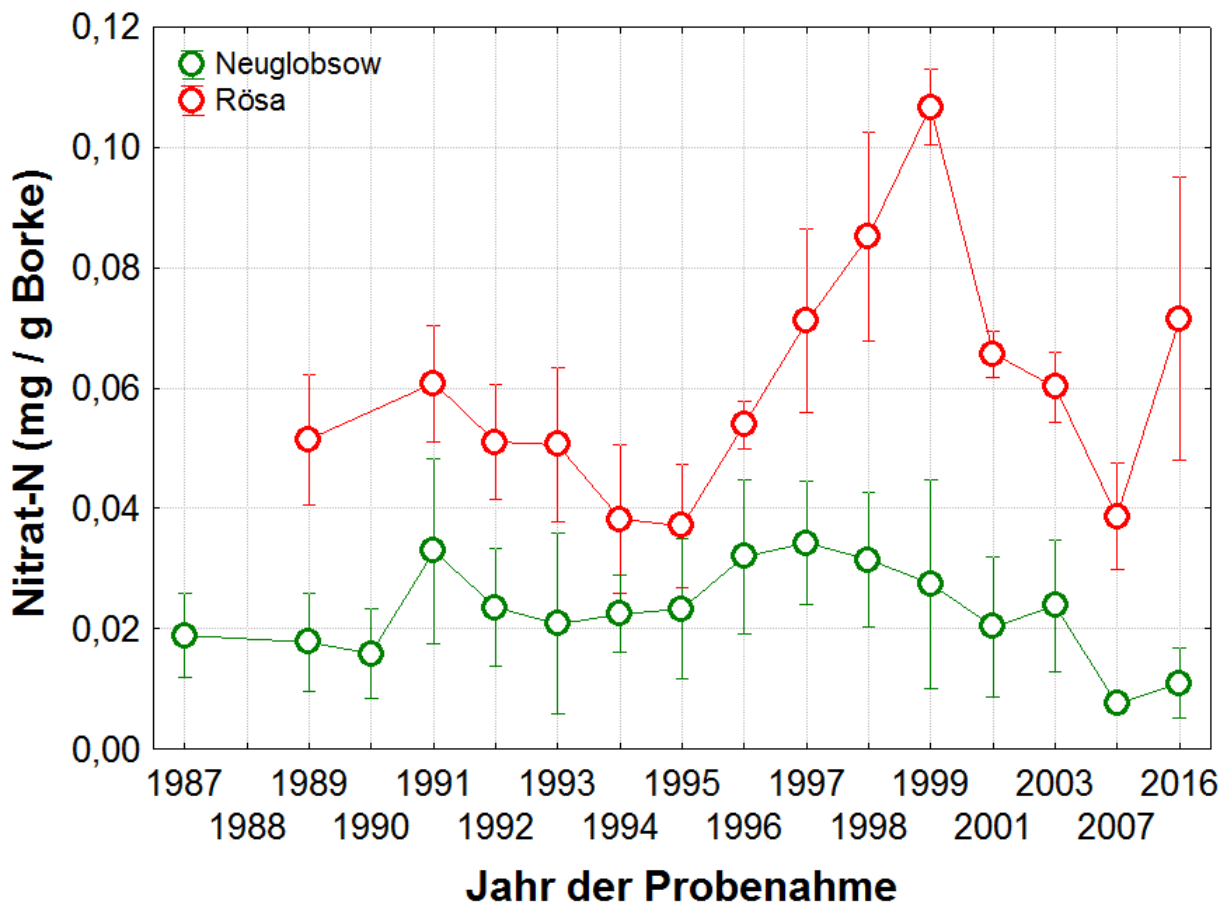
Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die wasserlöslichen Gehalte von Sulfat in Kiefernborken von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, aber seit 1989 rückläufig. Ursache hierfür sind insbesondere verringerte Emissionen von  $\text{SO}_2$  aus ortsnahen Kraftwerken, z. B. Kraftwerke Muldenstein und Zschornowitz westlich von Rösa (NIEHUS und SCHULZ, 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).



**Abb.4:** Ammonium-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Ammonium ist die ionisierte Verbindung von Ammoniak, das beim Abbau von Harnstoff gebildet wird und hauptsächlich aus Großviehanlagen emittiert wird. Es wird über die Atmosphäre als  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Gemisch (Aerosol) u.a. in Forstökosysteme eingetragen und über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert (Poster 1).

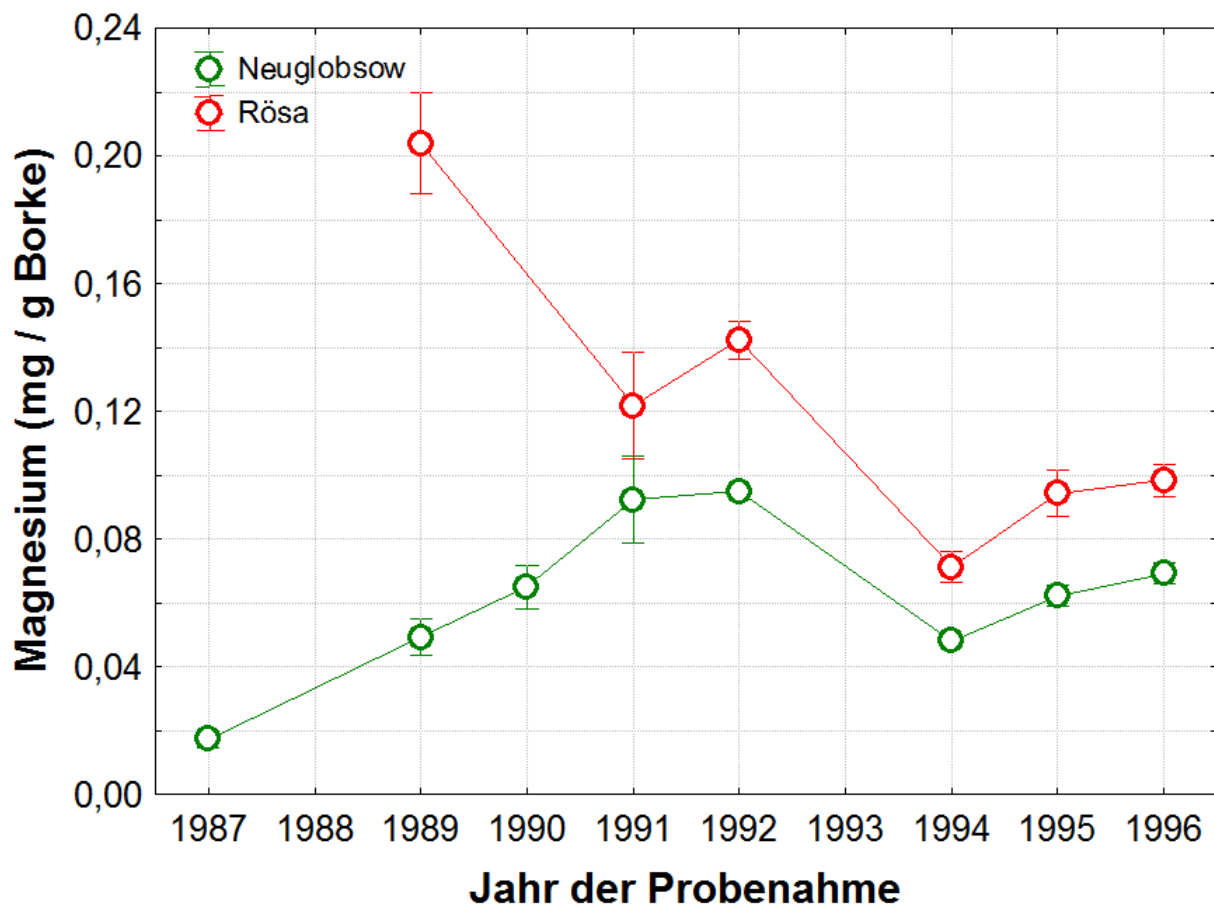
Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die  $\text{K}_2\text{SO}_4$ -extrahierbaren Gehalte von Ammonium in Kiefernborken von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, seit 1989 vorübergehend rückläufig, aber stiegen nach 1994 wieder an. Ursache hierfür sind Massentierhaltung und erhöhte Gülleausbringung auf Ackerflächen (NIEHUS und SCHULZ 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).



**Abb.5:** Nitrat-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Nitrat ist die ionisierte Verbindung von Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ), das bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen gebildet wird. Hauptemittenten sind Kraftwerke und Autos. Es wird über die Atmosphäre als  $\text{NO}_2/\text{NO}_3^-$ -Gemisch (Aerosol) u.a. in Forstökosysteme eingetragen und über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert (Poster 1).

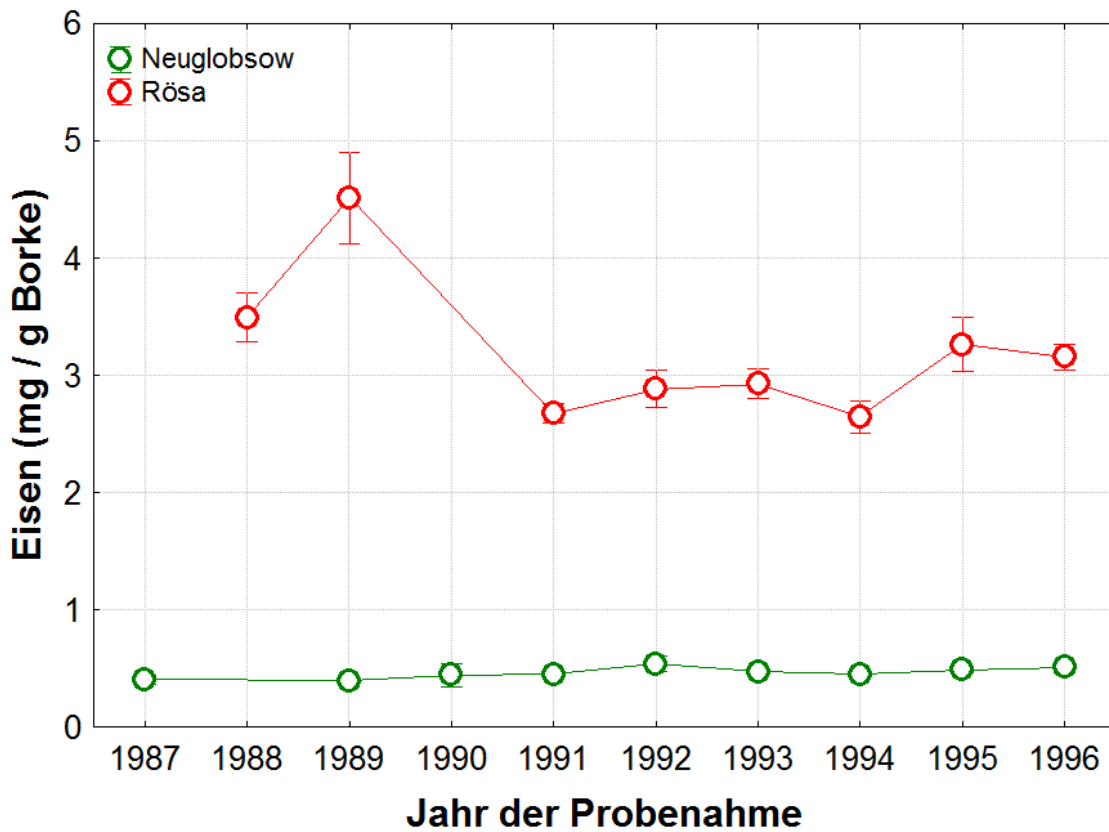
Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die Gehalte von wasserlöslichem Nitrat seit 1989 rückläufig, stiegen nach 1995 wieder an, aber seit 1999 wieder ab. Ursache hierfür sind verringerte  $\text{NO}_2$ -Emissionen aus Kraftwerken, der Anstieg im Autoverkehr und die Ausrüstung von Autos mit Katalysatoren (NIEHUS und SCHULZ 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).



**Abb.6:** Magnesium-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Magnesium ist ein Bestandteil von basischen Flugaschen und wird über die Atmosphäre u.a. in Forstökosysteme eingetragen wo es über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert wird (Poster 1).

Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die Gesamtgehalte von Magnesium in Kiefernborken von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, aber seit 1989 rückläufig. Ursache hierfür sind verringerte Emissionen von basischen Flugaschen aus den Kraftwerken in Muldenstein und Zschornowitz westlich von Rösa (NIEHUS und SCHULZ, 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).

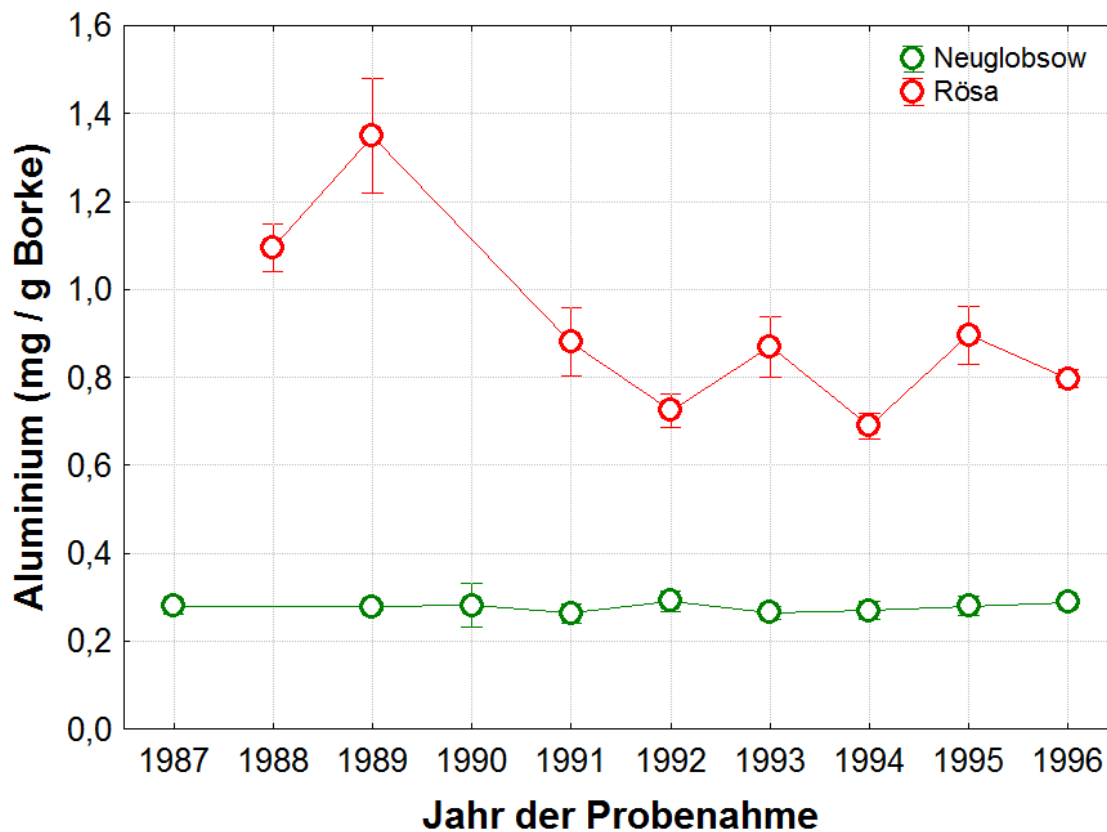


**Abb.7:** Eisen-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Eisen ist ein Bestandteil von basischen Flugaschen und wird über die Atmosphäre u.a. in Forstökosysteme eingetragen wo es über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert wird (Poster 1).

Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die Gesamtgehalte von Eisen in Kiefernborken von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, aber seit 1989 rückläufig. Ursache hierfür sind verringerte Emissionen von basischen Flugaschen aus den Kraftwerken Muldenstein und Zschornowitz westlich von Rösa (NIEHUS und SCHULZ, 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).

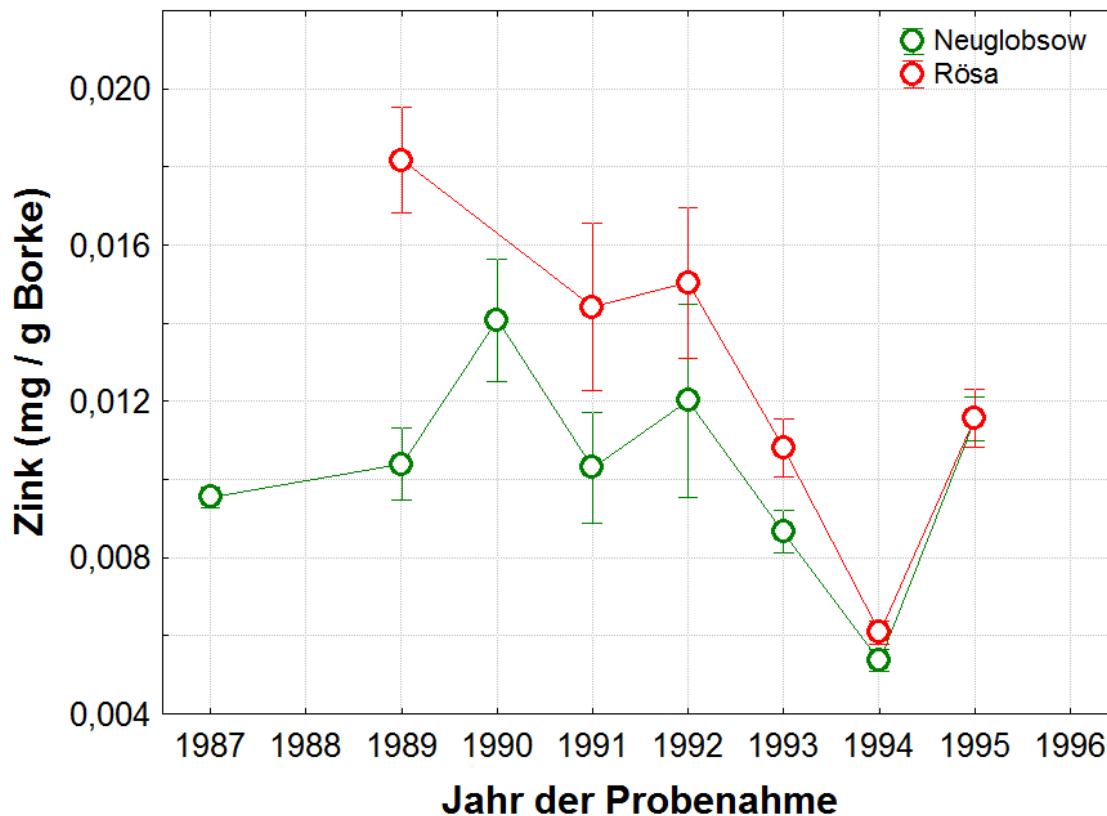




**Abb.8:** Aluminium-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Aluminium ist ein Bestandteil von basischen Flugaschen und wird über die Atmosphäre u.a. in Forstökosysteme eingetragen wo es über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert wird (Poster 1).

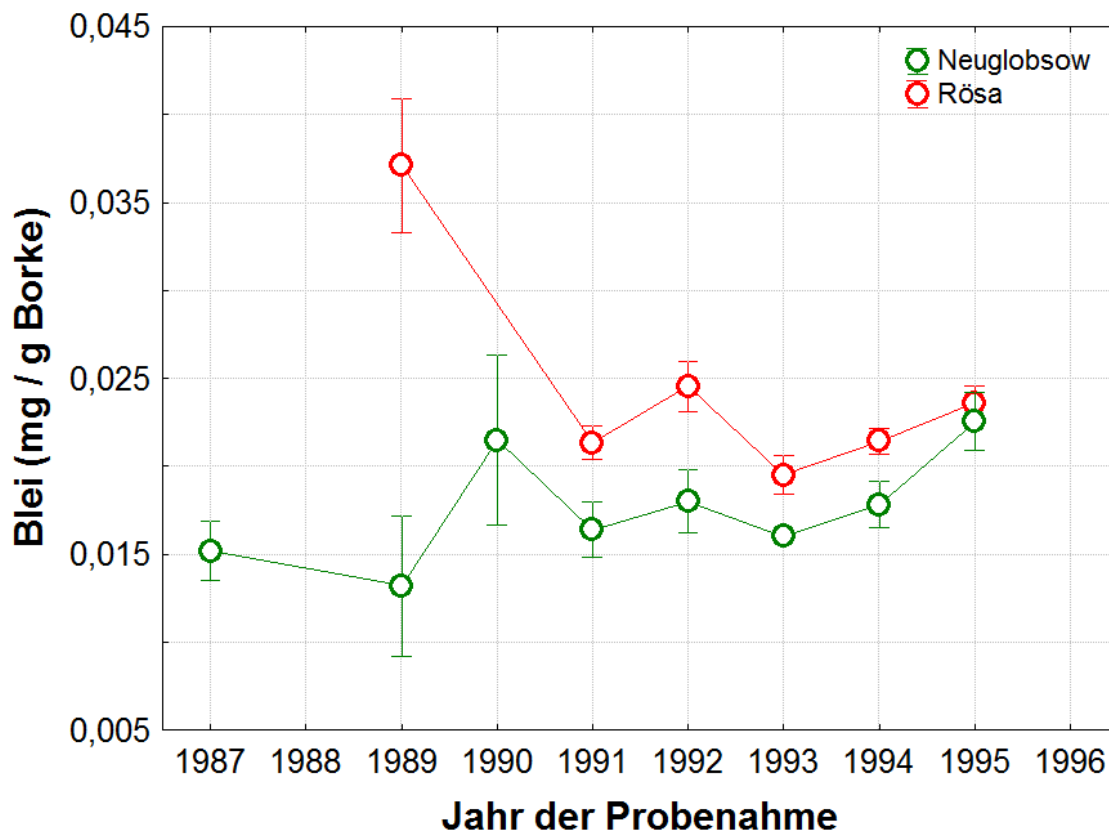
Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die Gesamtgehalte von Aluminium in Kiefernborken von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, aber seit 1989 rückläufig. Ursache hierfür sind verringerte Emissionen von basischen Flugaschen aus den Kraftwerken Muldenstein und Zschornowitz westlich von Rösa (NIEHUS und SCHULZ, 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).



**Abb.9:** Zink-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Zink ist ein Bestandteil von basischen Flugaschen und wird über die Atmosphäre u.a. in Forstökosysteme eingetragen wo es über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert wird (Poster 1).

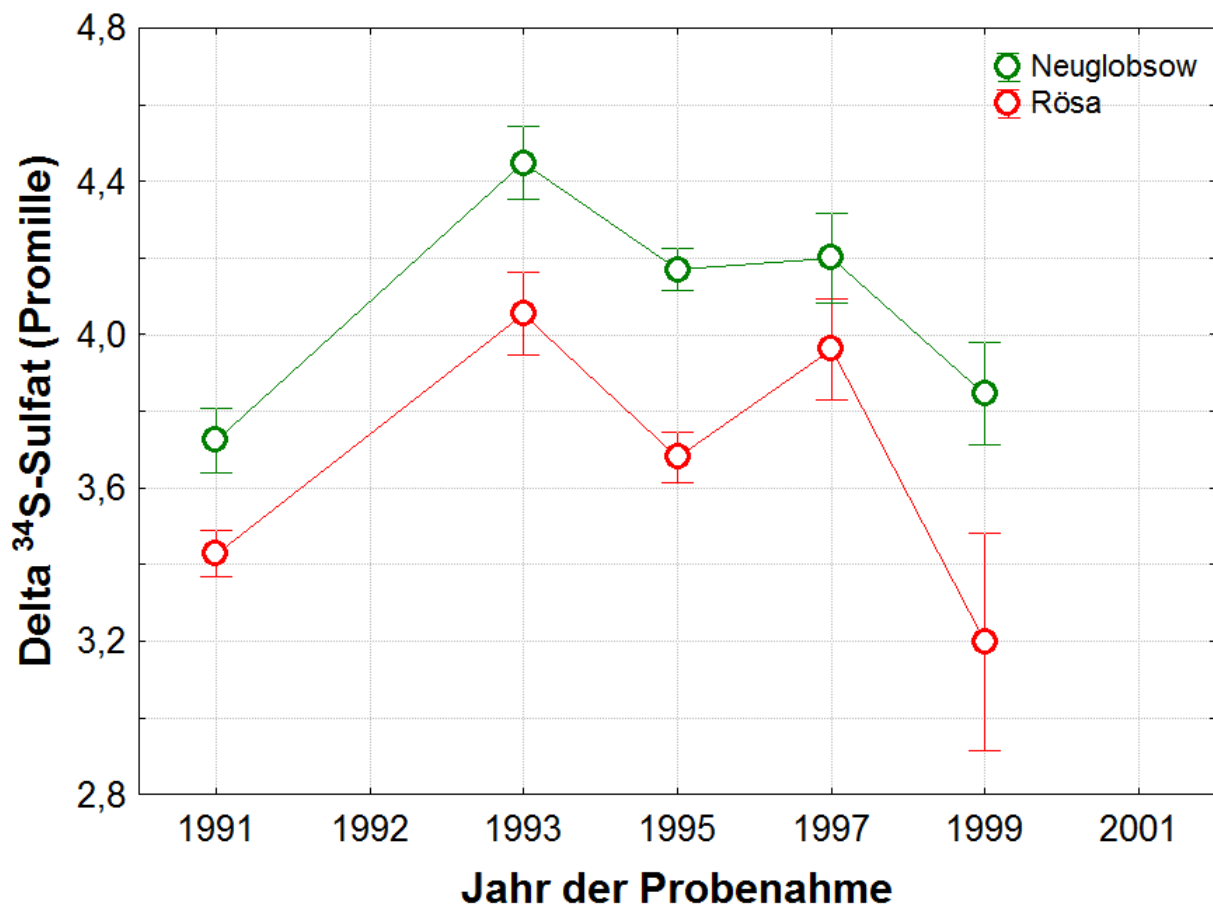
Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die Gesamtgehalte von Zink in Kiefernborken von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, aber seit 1989 rückläufig. Ursache hierfür sind verringerte Emissionen von basischen Flugaschen aus den Kraftwerken Muldenstein und Zschornowitz westlich von Rösa (NIEHUS und SCHULZ, 1997 in III. Vollständige Publikationsliste).



**Abb.10:** Blei-Gehalt (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborken aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

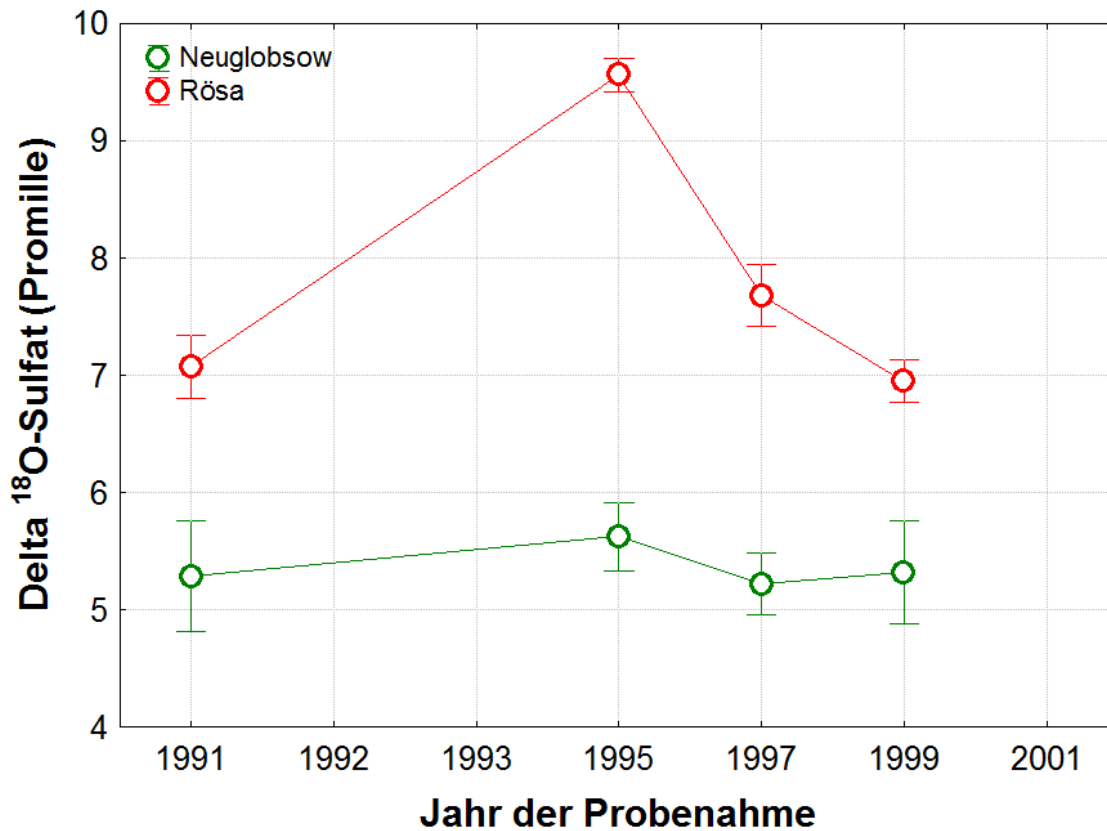
Blei wurde Benzin als „Anti-Klopfmittel“ beigemischt, das über die Atmosphäre u.a. in Forstökosysteme eingetragen und über die Kronentraufe und den Stammabfluss auf Oberflächen von Kiefernborken adsorbiert wird (Poster 1).

Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die Gesamtgehalte von Blei in Kiefernborken von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, aber seit 1989 rückläufig. Ursache hierfür ist die Abschaffung von verbleitem Benzin (HUHN und SCHULZ, 1995 in III. Vollständige Publikationsliste).



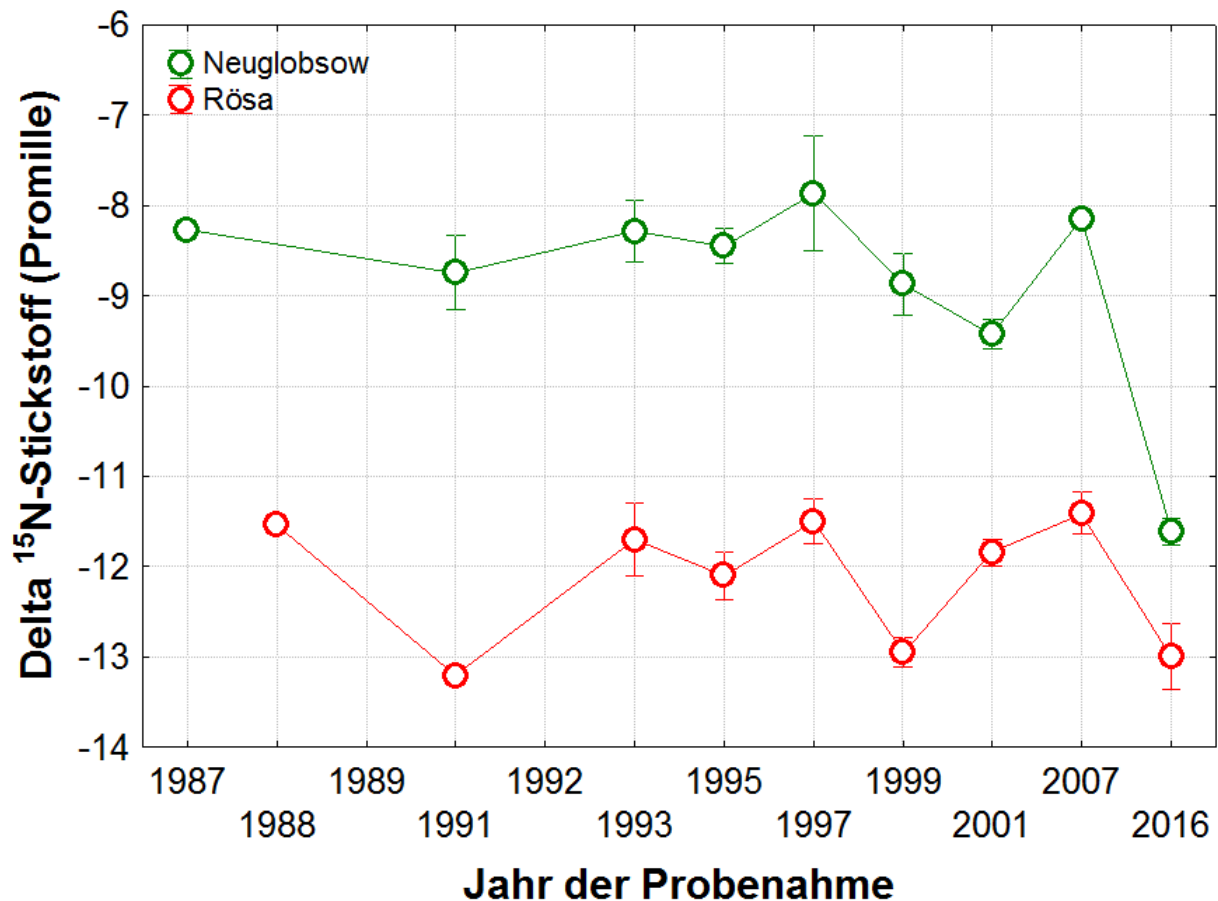
**Abb.11:** Delta ( $\delta$ )  $^{34}\text{S}$ -Wert von Sulfat (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborke aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow unterscheiden sich die  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von wasserlöslichem Sulfat in Kiefernborke von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa nur gering wie auch ihre zeitlichen Trends. Das Sulfat in den Borkeproben stammt sehr wahrscheinlich aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen der gleichen Herkunft. Zur Abgrenzung der Emissionsquellen kann die zusätzliche Bestimmung der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Sulfat beitragen (**Abb.12**).



**Abb.12:** Delta ( $\delta$ )  $^{18}\text{O}$ -Wert von Sulfat (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborke aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von wasserlöslichem Sulfat in Kiefernborke von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant höher, aber unterscheiden sich wie auch die  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte (siehe **Abb.11**) nicht in ihren zeitlichen Trends. Ursache hierfür sind unterschiedliche Oxidationsbedingungen in der Atmosphäre, z. B. Unterschiede im  $^{18}\text{O}$ -Gehalt des Reaktionswassers/Niederschlag, das für die Oxidation von  $\text{SO}_2$  zu  $\text{SO}_4^{2-}$  erforderlich ist, aber im Gegensatz zu atmosphärischem Sauerstoff in den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten nicht konstant ist, sondern regional variieren kann. Die Unterschiede im  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von Sulfat in den Borkeproben sind daher auf Unterschiede im  $^{18}\text{O}$ -Gehalt von Wasser in der Atmosphäre zurückzuführen und auch beeinflusst durch unterschiedlich hohe atmosphärische Stoffeinträge in den Untersuchungsgebieten (**Abb.3** und SCHULZ et al. 2004, siehe III. Vollständige Publikationsliste).



**Abb.13:** Delta ( $\delta$ )  $^{15}\text{N}$ -Stickstoff-Wert (Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler,  $n = 5$ ) in Kiefernborke aus den Untersuchungsgebieten Neuglobsow und Rösa.

Je positiver der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert in Kiefernborke ist, umso wahrscheinlicher sind N-Immissionen in Kiefernforsten Kraftwerken und Verkehr zuzuordnen oder je negativer der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert in Kiefernborke ist, umso wahrscheinlicher stammen N-Immissionen in Kiefernforsten aus landwirtschaftlichen Produktionsanlagen. Natürliche Isotopenverhältnisse von Gesamtstickstoff ( $\delta^{15}\text{N}$ -Werte) können daher zur Identifizierung von N-Emissionsquellen genutzt werden (Schulz 2017 in III. Vollständige Publikationsliste).

Im Vergleich zum Referenzgebiet Neuglobsow sind die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in Kiefernborke von Altbeständen im Untersuchungsgebiet Rösa signifikant weniger an  $^{15}\text{N}$  angereichert, aber haben sich zwischen 1987 und 2007 kaum verändert. In 2016 indizieren die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in Kiefernborke aus Neuglobsow abweichend vom bisherigen Trend einen deutlich negativeren  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert. Ursache hierfür sind vermutlich im Vergleich zu Nitrat, ansteigende Ammonium-Anteile im Gesamtstickstoff-Gehalt der Kiefernborke (vgl. Abb.4, Abb.5 und Poster 6: Kiefernborke als Bioindikator).