

Dokumentation zur

Karte der Pufferbereiche von Oberböden unter forstwirtschaftlicher Nutzung im Saarland

im Maßstab 1:100.000

Bodeninformationssystem des Saarlandes (SAARBIS)

Saarland

Landesamt für Umwelt-
und Arbeitsschutz

Don Bosco Straße 1
66119 Saarbrücken,

Saarbrücken, Dezember 2005

Bearbeiter: K. Drescher-Larres
K. D. Fetzer
J. Weyrich

Pufferbereiche von Oberböden unter forstwirtschaftlicher Nutzung im Saarland

Zusammenfassung

Die fortschreitende Bodenversauerung gilt als eine Ursache der „neuartigen Waldschäden“. Weitere Gründe für Schädigungen der Waldbestände sind toxische Wirkungen von Schwefeldioxid und Stickoxiden direkt an Blättern und Nadeln (Nekrosen), Einwirkung von Ozon und weiteren toxisch wirkenden Photooxidanzien, Schäden an Feinwurzeln und an der Mykorrhiza aufgrund von Al^{3+} -Ionen sowie eine durch Stoffeinträge bedingte Verschiebung der Elementverhältnisse und daraus resultierende Mangelernährung (z. B. Mg-Mangel).

Der pH-Wert des Bodens ist ein Maß für die aktuelle Acidität, d. h. die Wasserstoffionenkonzentration in der Bodenlösung. Er ist leicht zu messen, liegt in vielen Datensätzen vor und steht mit zahlreichen Bodeneigenschaften in Beziehung. Vor allem in stark bis extrem sauren Böden, Verhältnisse, wie sie in zahlreichen Waldböden vorkommen, werden die sog. variablen Ladungen des Bodens bei der pH-Wert-Messung nicht erfasst. Diese funktionellen Gruppen sind schwache Säuren, sie geben ihre H-Ionen erst bei höherem pH an die Bodenlösung ab und nehmen somit ebenfalls am Kationenaustausch teil. Umgekehrt lagern sie bei tieferem pH ein zusätzliches Proton an werden dadurch positiv geladen. Daher bezeichnet man die negativen Ladungen an diesen Gruppen auch als pH-abhängige Ladungen.

Die Aussagekraft von Angaben zum pH-Wert im Boden wird von zeitlichen und räumlichen Veränderungen eingeschränkt. Die zeitlich bedingten Schwankungen hängen von Art und Umfang der Puffersubstanzen ab, die räumlichen Variationen werden z. B. durch saure Sickerwässer, die den Boden in bevorzugten Hohlräumen durchströmen, verursacht.

Trotz der genannten Einschränkungen hinsichtlich der Aussagekraft punktueller pH-Wert-Messungen wurde im saarländischen Bodeninformationssystem SAARBIS eine Karte zum Ausmaß der Bodenversauerung auf der Basis gemessener pH-Werte erstellt. Gründe, die für die Aussagekraft dieser Informationsebene sprechen, sind neben dem hohen Mengengerüst an Daten, die auf der Basis der Geometrie der Bodenübersichtskarte des Saarlandes regionalisierte Darstellung in der klassifizierten Form von Pufferbereichen.

Um eine regionalisierte Aussage zur Bodenversauerung treffen zu können, wurden 2 Datenpools (SAARBIS und Schwermetallbelastungskataster) herangezogen und einer gemeinsamen Auswertung unterzogen. Die pH-Werte der Böden wurden folgenden Pufferbereichen zugeordnet:

Pufferbereich	pH-Bereich
Carbonatpufferbereich:	8,6 - 6,2
Silikatpufferbereich	6,2 - 5,0
Austauscherpufferbereich:	5,0 - 4,2
Aluminiumpufferbereich:	4,2 - 3,8
Eisenpufferbereich:	3,8 - 2,4

Durch die räumliche Darstellung in den Einheiten der Bodenübersichtskarte des Saarlandes erhält man ein regionalisiertes Bild der Bodenversauerung in forstlich genutzten Oberböden im Saarland. Die Karte bildet – unabhängig von der standortbezogenen Flächennutzung – die Einstufung der Pufferbereiche in den Grenzen der Bodenübersichtskarten ab. Sie kann für forstliche Planungen genutzt werden und bietet Hilfestellungen bei der Identifikation kalkungsbedürftiger Böden. Für die Forsteinrichtung lassen sich ebenfalls Aussagen gewinnen.

Einschränkungen gelten in der Aussagekraft der verwendeten Ergebnisse aufgrund der Zeitspannen der Beprobung: im Falle des Schwermetallbelastungskatasters wurden die Boden-

proben im Zeitraum von 1986 bis 1993 entnommen, die Proben aus SAARBIS stammen vorwiegend aus dem Zeitraum 1986 bis 1995. In beiden Datenpools bedeuten die weiten Zeitspannen sowohl eine Unschärfe in der zeitlichen Zuordnung der Daten, als auch eine mangelnde Aktualität der wiedergegebenen Bodenaciditäten: Insbesondere den Proben mit frühen Entnahmezeiten fehlen die Säureeinträge fast der beiden letzten Dekaden.

1. Problemstellung

Noch vor etwa 200 Jahren besaß das Regenwasser in Westeuropa eine nahezu neutrale Reaktion. Lediglich das CO_2 der Atmosphäre führte, im Regenwasser gelöst, zu einer sehr schwachen Säurebildung.

Unter natürlichen Bedingungen, frei von anthropogenen Einflüssen, liegt der pH-Wert¹ des Regenwassers bei 5,6. Der natürliche H-Ionen-Eintrag in terrestrische und aquatische Ökosysteme ist gering. Ein Liter Regenwasser enthält bei pH 5,6 $2,5 \cdot 10^{-6}$ mol H^+ . Bei einer jährlichen Niederschlagsmenge von 700 mm werden während eines Jahres 18 g H^+ bezogen auf einen Hektar in den Boden eingetragen.

Aufgrund der zivilisatorischen Tätigkeit des Menschen wurden insbesondere in der stark urbanisierten und industrialisierten nördlichen Hemisphäre durch steigenden Verbrauch fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) Schwefel- und Stickoxide (SO_2 , NO_x) in zunehmendem Maße emittiert. Die Oxide werden zusammen mit dem Wasser der Atmosphäre in starke Säuren (Schwefelsäure, Salpetersäure) umgewandelt und gelangen mit dem Niederschlag auf den Boden (anthropogen bedingter H-Ioneneintrag). Diese Schadstoffe können, lokal oder überregional, den Stoffhaushalt der Böden erheblich verändern. Hauptquellen der luftbürtigen Schadstoffe sind Industrieanlagen, Kraftwerke, Verkehr, Haushalte und die Landwirtschaft, insbesondere durch Intensivtierhaltung. Für Waldzustand und -böden bedeutende Stoffgruppen sind Stickoxide, Ammoniak und Schwefeldioxid. Hierbei handelt es sich u. a. um Säurebildner, die im Boden eine beschleunigte Versauerung bewirken. Empfindlich reagieren zahlreiche Waldböden, da sie als Ergebnis einer Landnutzungsentwicklung häufig auf nativ sauren Standorten fußen und traditionell im Gegensatz zu landwirtschaftlich genutzten Böden nicht über eine physiologisch basisch wirkende Düngung konditioniert werden. Bei Waldböden führt der Auskämmeffekt im Kronenraum zu einer Akkumulation luft- und niederschlagsbürtiger Stoffgruppen in der Bodenzone.

Luftreinhalungsmaßnahmen zeichnen in den letzten 15 Jahren für einen erheblichen Rückgang der Belastung von Waldökosystemen durch Schwefeloxide verantwortlich. Mit der Abnahme der Schwefeloxidkonzentration im Regenwasser stieg in den alten Bundesländern der pH-Wert im Regenwasser von Werten um 4,3 im Jahre 1982 auf Werte zwischen 4,9 – 5,0 im Jahre 2000 deutlich an (UMWELTBUNDESAMT 2001).

Bei den Stickoxiden fällt dieser Rückgang moderater aus. Sie bilden zusätzlich eine unerwünschte Nährstofffracht mit kontraproduktiver Wirkung im Ökosystem.

Dieser anthropogen bedingte H-Ioneneintrag (Gesamt-H-Ioneneintrag minus des natürlichen H-Ioneneintrags) nimmt im Vergleich zum natürlichen Eintrag erhebliche höhere Werte an, (siehe Tab. 1).

Neben dem H-Ioneneintrag aus der Atmosphäre werden im Boden selbst ständig erhebliche Mengen an H-Ionen frei. Sie entstehen insbesondere beim Abbau postmortaler tierischer und

¹ Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration in wässriger Lösung. Ein pH von 7 stellt den Neutralpunkt dar, pH-Werte unter 7 zeigen saure Reaktionen an, Werte über 7 sind ein Maß für die Alkalität.

pflanzlicher Substanzen sowie bei den Stoffwechselfvorgängen von Wurzeln und Mikroorganismen.

Tab. 1: H-Ionen-Eintrag in den Boden bei einem mittleren Jahresniederschlag von 700 mm

Eintragsquelle	Ioneneintrag (g H ⁺ pro ha und Jahr)
Natürlicher H-Ioneneintrag bei pH 5,6 des Regenwassers	18
Anthropogen bedingter H-Ioneneintrag bei pH 4,5 des Regenwassers	203
dto. bei pH 4,1	538
Wurzel- und Zersetzeratmung im Boden	~ 2.000

Während des jüngsten erdgeschichtlichen Zeitraums des Holozäns (ca. 10.000 Jahre) haben natürlicher H-Ioneneintrag, bodenbürtige H-Ionen und Auswaschungsverluste von basisch wirkenden Ionen im atlantisch getönten, humiden Klimaraum zu einer natürlichen Versauerung der Böden geführt. Selbst in carbonathaltigen Böden und Sedimenten werden die Auswaschungsverluste je nach Carbonatgehalt und Zerkleinerungsgrad auf 500 – 1.000 kg CaCO₃ je m² beziffert (ROHDENBURG und MEYER 1963). Nativ carbonathaltige würmzeitliche Löss (ca. 18.000 – 20.000 Jahre vor heute) sind heute bis zu einer Tiefe von häufig mehr als 1 m entkalkt, sofern sie nicht in Erosionslagen freigestellt sind.

In Böden, in denen Kohlensäure die alleinige Wasserstoffionenquelle darstellt, treten je nach dem vorherrschenden CO₂-Partialdruck der Bodenluft (i. d. R. zwischen 2 und 7 mbar, in Einzelfällen höher), pH-Werte zwischen 5,0 und 5,5 auf. Versauerungen in den Bereichen unter pH 5 erfordern die Anwesenheit stärkerer Säuren wie Huminsäuren und Fulvosäuren sowie Schwefel- und Salpetersäuren (ULRICH et. al 1979).

Die fortschreitende Bodenversauerung gilt als eine Ursache der „neuartigen Waldschäden“. Weitere Gründe für Schädigungen der Waldbestände sind toxische Wirkungen von SO₂ und NO_x direkt an Blättern und Nadeln (Nekrosen), Einwirkung von Ozon und weiteren toxisch wirkenden Photooxidanzien (selbst in industriefernen Regionen wurden Ozonkonzentrationen bis zu 300 µg O₃ pro m³ in der Luft gemessen), toxische Wirkungen von Al³⁺-Ionen auf Feinwurzeln und Schädigung der Mykorrhiza, durch Stoffeinträge Verschiebung der Elementverhältnisse und daraus resultierende Mangelernährung (z. B. Mg-Mangel) (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 2002).

Durch Maßnahmen der Luftreinhaltung sind die Konzentration von Schwefel- und Stickoxiden in der Luft und damit deren Einträge in den Boden erheblich zurückgegangen. Wurden 1990 in Belastungsgebieten in den neuen Bundesländern noch Konzentrationen an Schwefeldioxid von > 175 µg/m³ (Jahresmittelwerte) in der Luft gemessen, fielen die Gehalte in 1999 in Deutschland flächendeckend auf ein Niveau von < 25 µg/m³. Bei den Stickoxiden ist ein Rückgang der Emissionen im Zeitraum von 1990 bis 1999 von rund 40 % zu beobachten (UMWELTBUNDESAMT 2001). Trotz Umsetzung dieser Maßnahmen wird die Funktionsfähigkeit der Böden im Naturhaushalt weiterhin nachhaltig beeinträchtigt.

Der pH-Wert des Bodens ist ein Maß für die aktuelle Acidität, d. h. die Wasserstoffionenkonzentration in der Bodenlösung. Er ist leicht zu messen, liegt in vielen Datensätzen vor und steht mit zahlreichen Bodeneigenschaften in Beziehung. Vor allem in stark bis extrem sauren Böden, Verhältnisse, wie sie in zahlreichen Waldböden vorkommen, werden die sog. variablen Ladungen des Bodens (SiOH, AlOH, AlOH₂ FeOH₂ und COH) nicht erfasst. Diese funktionellen Gruppen sind schwache Säuren, sie geben ihre H-Ionen erst bei höherem pH an die

Bodenlösung ab und nehmen somit ebenfalls am Kationenaustausch teil. Umgekehrt lagern sie bei tieferem pH ein zusätzliches Proton an werden dadurch positiv geladen. Daher bezeichnet man die negativen Ladungen an diesen Gruppen auch als pH-abhängige Ladungen.

Die Aussagekraft von Angaben zum pH-Wert im Boden wird von zeitlichen und räumlichen Veränderungen eingeschränkt. Die zeitlich bedingten Schwankungen hängen von Art und Umfang der Puffersubstanzen ab, die räumlichen Variationen werden z. B. durch saure Sickerwässer, die den Boden in bevorzugten Hohlräumen durchströmen, verursacht (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 2002).

Trotz der genannten Einschränkungen hinsichtlich der Aussagekraft punktueller pH-Wert-Messungen wurde im saarländischen Bodeninformationssystem SAARBIS eine Karte zum Ausmaß der Bodenversauerung auf der Basis gemessener pH-Werte erstellt. Gründe, die für die Aussagekraft dieser Informationsebene sprechen, sind neben dem hohen Mengengerüst an Daten die auf der Basis der Geometrie der Bodenübersichtskarte des Saarlandes mögliche regionalisierte Darstellung in der klassifizierten Form von Pufferbereichen. Sie erlaubt eine Abschätzung des Risikos durch Säurebelastung für mittlere und anspruchsvolle Pflanzengesellschaften.

2. Methode

Um eine erste regionalisierte Aussage über die pH-Verhältnisse in den forstlich genutzten Oberböden erreichen zu können, wurden zwei im Saarland vorliegende Datenpools einer gemeinsamen Bewertung unterzogen:

- **SAARBIS:** im Rahmen der Landesaufnahme werden im saarländischen Bodeninformationssystem SAARBIS Böden beprobt und auf chemische und physikalische Eigenschaften untersucht. Aus dem Gesamtdatenbestand wurden die pH-Werte von **437** Proben aus A-Horizonten (keine Auflagehorizonte!) forstlich genutzter Böden selektiert. Diese horizontbezogene Probennahme wurde nicht rasterbezogen, sondern an empirisch festgelegten Standorten vollzogen.
- **Schwermetallbelastungskataster (SBK):** Im Rahmen des SBK wurden in den Jahren 1986 bis 1993 landesweit und flächendeckend neben den Schwermetallgehalten der Oberbodenhorizonte auch andere Parameter (u. a. pH-Wert) des Landes erfasst. Die Probennahme erfolgte chronologisch in 5 Schwerpunkträumen. Im Schwerpunktraum 1 wurden die untersuchten Flächen nicht nach einem festgesetzten rasterförmigen Schema, sondern nach der räumlichen Struktur (entlang der Saar und Blies) angeordnet, während in den übrigen Gebieten in einem 750 m x 750 m-Raster beprobt wurde. Die Entnahme der Proben an den festgelegten Stellen erfolgte mittels Bohrstock auf einer Fläche von ca. 10 x 10 m mit mindestens 20 gleichmäßig über die Fläche verteilten Einstichen. Auf Waldböden wurde der organische Auflagehorizont vor der Probenahme entfernt. Die Beprobungen erfolgten nicht Horizont-, sondern Tiefenstufen-bezogen. Die Entnahmetiefe war dabei nutzungsspezifisch vorgegeben (Forststandorte: 0-10 cm). Aus dem Datenpool des Schwermetallbelastungskatasters wurden insgesamt **1.636** Datensätze mit Angaben zu pH-Werten selektiert.

In beiden Datenpools handelt es sich um Messungen der Bodenacidität in 0,01 m CaCl₂-Lösung.

Einschränkungen gelten in der Aussagekraft der verwendeten Ergebnisse aufgrund der Zeitspannen der Beprobung: im Falle des Schwermetallbelastungskatasters wurden die Bodenproben im Zeitraum von 1986 bis 1993 entnommen, die Proben aus SAARBIS stammen aus

dem Zeitraum 1986 bis 1995. In beiden Datenpools bedeuten die weiten Zeitspannen sowohl eine Unschärfe in der zeitlichen Zuordnung der Daten, als auch eine mangelnde Aktualität der wiedergegebenen Bodenaciditäten: Insbesondere den Proben mit frühen Entnahmezeiten fehlen die Säureeinträge fast der beiden letzten Dekaden.

Um den Bezug zur Bodenübersichtskarte (DRESCHER-LARRES et al. 2001) herzustellen, wurden die Punktdaten über die vorliegenden Rechts- und Hochwerte unter ArcView für die Datensätze von SAARBIS und Schwermetallbelastungskataster getrennt mit der Geometrie verschnitten und den Einheiten der Karte zugeordnet. Zur Darstellung der pH-Werte der jeweiligen Bodeneinheiten wurden diese in **Pufferbereiche** (nach ULRICH 1981) klassifiziert:

Tab. 2: Einstufung der Pufferbereiche im Boden

Pufferbereich	pH-Bereich
Carbonatpufferbereich:	8,6-6,2
Silikatpufferbereich	6,2-5,0
Austauscherpufferbereich:	5,0-4,2
Aluminiumpufferbereich:	4,2-3,8
Eisenpufferbereich:	3,8-2,4

Die insgesamt 41 Bodeneinheiten der BÜK wurden parallel mit den Daten aus SAARBIS und dem Schwermetallbelastungskataster auf ihre Pufferbereiche bewertet. In Einheiten, bei denen ein unterschiedlicher Pufferbereich aus den beiden Datenpools vorlag, wurde im Sinne einer einheitlichen Darstellung in der Karte der ökologisch ungünstigere Pufferbereich angegeben.

Nicht bewertet wurden in der Karte die Böden der besiedelten Bereiche und Bodeneinheiten, für die aufgrund der vorwiegend agrarischen Nutzung keine Daten zur Bodenreaktion unter Forst vorliegen.

3. Regionalisierte Bewertung der Pufferbereiche forstlich genutzter Oberböden im Saarland

Die Auswertungskarte zu den Pufferbereichen der forstlichen Oberböden im Maßstab 1:100.000 im Saarland zeigt eine räumliche Verteilung, die von den Ausgangsgesteinen und den Böden, die sich daraus entwickelt haben, gesteuert wird.

Böden vorwiegend im Eisenpufferbereich:

Betroffen von diesem äußerst ungünstigen Pufferbereich sind Böden aus devonischen Quarziten (Taunusquarzit) und Schiefen, den Abtragungsprodukten dieser Gesteine im Rotliegenden (Wadern Formation), Böden aus den sauren Magmatiten des Rhyolith, Böden aus Buntsandstein sowie zahlreiche Böden aus quartären Deckschichten (Lößlehme im Moselgau, Hochwaldvorland und im Warndt sowie parautochthone Deckschichten im gesamten Saarland). Auffallend unter diesen Bodenausgangsgesteinen ist die Beteiligung der Lößlehme. Bei den Hochwald-nahen Vorkommen kann sich die spezifische Belastungssituation aufgrund höherer Niederschläge und einer Häufung von Nebeltagen auswirken. Möglicherweise sind Ursachen in der Beschaffenheit des Austauschkörpers zu suchen, die aber einer weiteren Untersuchung bedürfen.

Böden vorwiegend im Aluminiumpufferbereich:

Böden im Aluminiumpufferbereich nehmen im Saarland eine sehr große Verbreitung ein und sind durchweg im Karbon und Rotliegenden sowie in einzelnen Fällen auch bei Bildungen aus quartären Deckschichten anzutreffen.

Böden vorwiegend im Austauscherpufferbereich:

Böden mit einer Bodenreaktion vorwiegend im Austauscherpufferbereich sind im Vergleich zur Klasse der Böden im Aluminiumpufferbereich wesentlich geringer verbreitet und kommen vorwiegend auf intermediären bis basischen Magmatiten, dem Unteren Muschelkalk und vereinzelt auch auf quartären Deckschichten vor.

Böden vorwiegend im Silikatpufferbereich:

Der Silikatpufferbereich dominiert in Böden aus Muschelkalk und aus fluviatilen Sedimenten. Böden aus Flussablagerungen unterliegen einem Stoffeintrag (z. B. Nährstoffe) bei Überschwemmungsereignissen.

Böden vorwiegend im Carbonatpufferbereich:

Böden im Carbonatpufferbereich sind im Saarland äußerst gering verbreitet und bleiben auf die Bereiche des Trochitenkalks und auf Kolluvien beschränkt, wobei im letzteren Fall auch Einflüsse einer ehemaligen landwirtschaftlichen Nutzung eine Rolle spielen können. Weitere Gründe für das Vorkommen dieses ökologisch günstigen Pufferbereichs sind bei Böden aus Trochitenkalk in deren Flachgründigkeit und damit zusammenhängenden Carbonatgehalten bis in den Oberboden zu suchen. Kolluvisole bilden eine Gruppe mit kleiner Grundgesamtheit.

Bei der Interpretation der Karte ist zu beachten, dass den Bodeneinheiten Pufferbereiche mit gemittelten pH-Einheiten zugeordnet wurden. Lokale Emittenten können für Abweichungen im Ausmaß der Bodenversauerung verantwortlich zeichnen.

Anhand der Pufferbereiche kann man das Risiko durch Säurebelastung für mittlere und anspruchsvolle Pflanzengesellschaften abschätzen (AD-HOC-AG BODEN 2005):

- **minimal:** gesamter Wurzelraum im Carbonat- oder Silikatpufferbereich
- **gering:** Oberboden im Austauscherpufferbereich \Rightarrow Beeinträchtigung säureintoleranter Arten
- **mittel:** Oberboden im Al- oder Al/Fe-Pufferbereich, Unterboden im Silikat- oder Austauscher-Pufferbereich \Rightarrow Verdrängung säureintoleranter Arten
- **stark:** Ober- und Unterboden im Al- oder Al/Fe-Pufferbereich, pH im Oh $> 3 \Rightarrow$ geringe bis sehr geringe Vorräte an M_b -Ionen (M_b -Ionen = austauschbare Basen), niedrige Ca-, hohe Al-Gehalte in Feinwurzeln, Schäden und gehemmtes Längenwachstum von Feinwurzeln
- **sehr stark:** Ober- und Unterboden im Al- oder Al/Fe-Pufferbereich, pH im Oh < 3

4. Die Karte der Pufferbereiche forstlich genutzter Oberböden im Saarland als Planungsgrundlage

Die Übersichtskarte der Pufferbereiche forstlich genutzten Oberböden im Saarland ist vor allem als Planungsgrundlage für die Forstwirtschaft gedacht. Nach langjährigen rasterbezogenen Beobachtungen an Einzelstandorten wurde mit der vorliegenden Karte erstmalig der Versuch einer regionalisierten Aussage gewagt. Trotz methodischer Einschränkungen (u. a. lediglich Berücksichtigung der aktuellen Acidität und nicht der pH-abhängigen Ladungen, Zeitpunkt der Probennahme) lassen sich mit Hilfe der Karte dennoch Flächen mit ungünstigen Pufferbereichen identifizieren. Diese Böden sind in der Diskussion einer Bodenschutzkalkung zu priorisieren. Zu ergänzen sind die Aussagen der Karte um die bei der Bodenzustandserhebung (BZE) gewonnenen Daten. Hierbei ist insbesondere der Abgleich zwischen der BZE I (1989/1990) und der Wiederholung dieses Programms in den Jahren 2006-2007 erforderlich. Ergänzend zu der vorliegenden Informationsebene wurde in SAARBIS auch eine Karte der Pufferbereiche forstlich genutzter Unterböden entwickelt. Die Übersichtskarte der Pufferbereiche kann auch als Planungsgrundlage für die Forsteinrichtung genutzt werden.

5. Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. - Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik Deutschland, 5. verbesserte und erweiterte Aufl., 438 S., Hannover.

DRESCHER-LARRES, K., K. D. FETZER & J. WEYRICH (2001): Erläuterungen zur Bodenübersichtskarte des Saarlandes i. M. 1:100.000 (BÜK 100).- Veröffentl. L.-Amt f. Umweltschutz Saarland, 159 S., 12 Tab., mit Karte auf CD; Saarbrücken.

ROHDENBURG, H. & B. MEYER (1963): Rezente Mikroformung in Kalkgebieten durch inneren Abtrag und die Rolle der periglazialen Gesteinsverwitterung. – Z. Geomorphologie, NF 7, 1963, S. 120-146.

ULRICH, B., R. MAYER & P. K. KHANNA (1979): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling.- Schriften Forst. Fak. Univ. Göttingen 58, 291 S., Frankfurt/M.

ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach chemischen Bodenzuständen.- Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde, 144, S. 289-305, Weinheim.

UMWELTBUNDESAMT (2001): Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland 2000.- E. Schmidt Verl., 380 S., Berlin.