

BAYREUTHER  
GEOGRAPHISCHE ARBEITEN

Herausgeber der Schriftenreihe:  
Die Professoren des Instituts für Geowissenschaften  
Universität Bayreuth

Schriftleiter:  
Prof. Dr. Rolf Monheim

Band 28

**Exkursionsführer zu ausgewählten Fachthemen  
Oberfrankens, Nürnbergs und der Nördlichen  
Oberpfalz**

Herausgegeben von  
Prof. Dr. Dr. h.c. Jörg Maier

Bayreuth 2007

**Redaktion:**

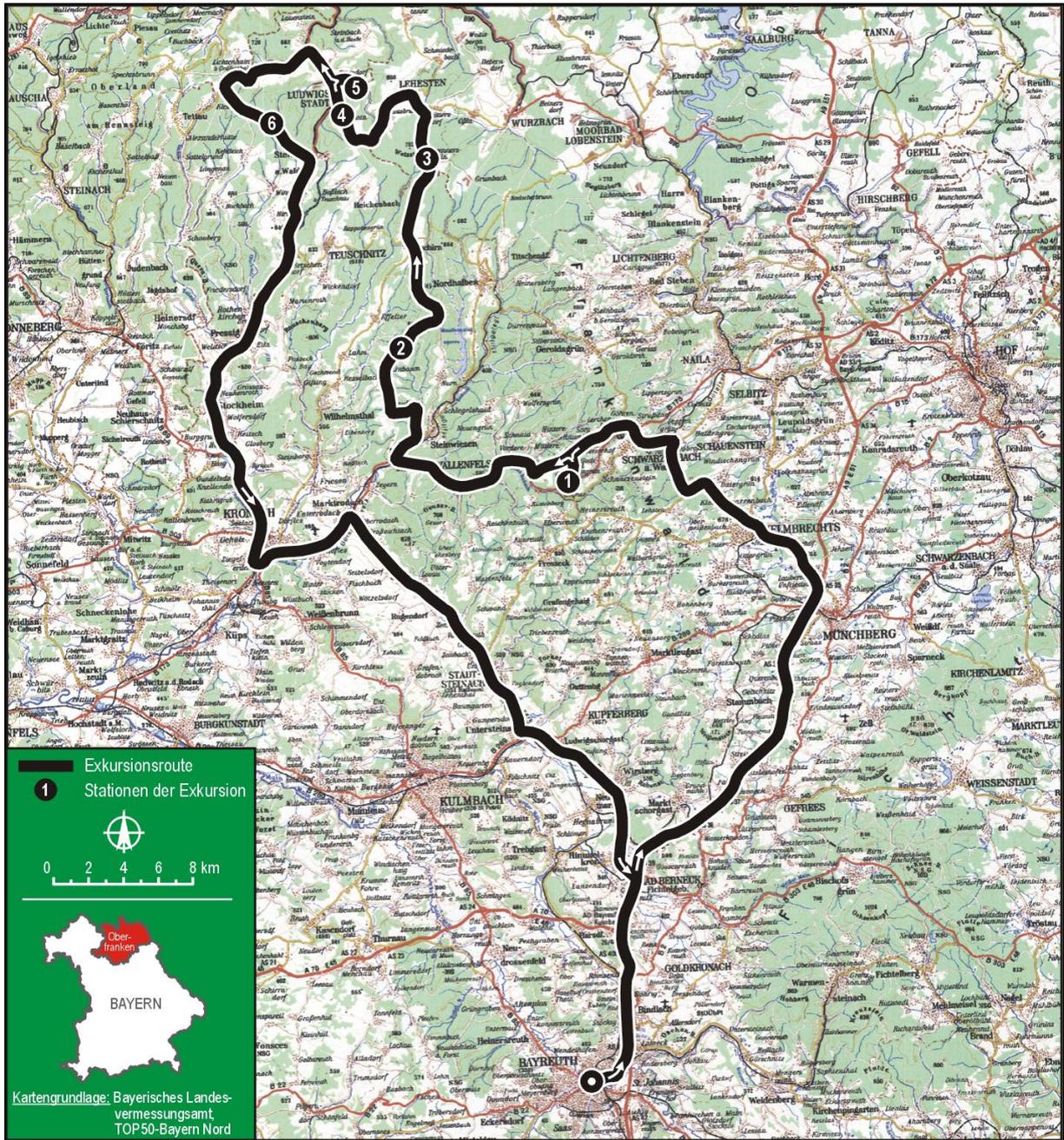
Dipl.-Geograph Michael Breitenfelder  
stud. rer. reg. Matthias Nicolai

**Kartographie:**

Jürgen Feilner

**Layout:**

stud. rer. reg. Matthias Nicolai



## 7 Einzugsgebiete als landschaftsökologische Instrumente - der Frankenwald als Modellregion

*Volker Audorff, Carl Beierkuhnlein, Katja Heller und Arno Kleber*

### 1 Abgrenzung von Landschaften

Die natürliche Umgebung des Menschen prägt in starkem Maße seine Entwicklung und bestimmt sein Wohlfühl. Wir benötigen das was wir "Natur" nennen um uns, suchen es, falls wir zu wenig davon erleben und entwickeln ein Gefühl der Heimat für die Umgebung in der wir aufgewachsen sind und in der Kindheit und Jugend elementare Naturerlebnisse erfahren haben. WILSON (1984) nennt dieses Verlangen nach Natur "Biophilie" und nimmt an, dass es sich dabei um eine genetisch fixierte Eigenschaft handele. Unstrittig ist sicher, dass die charakteristischen Eigenheiten der Landschaft, ihr Klima, ihre Oberflächenformen, ihre Vegetation und Tierwelt, um nur einige Teilbereiche zu nennen, von großer Bedeutung für die individuelle Entwicklung der Menschen sind.

Die Natur (bzw. ihre Eigenschaften in den uns umgebenden Landschaften) ist jedoch nicht unabhängig vom Menschen. Vielmehr war der Mensch, schon bevor er sich durch feste Siedlungen und durch die Entwicklung anspruchsvoller Landnutzungstechniken in ihr massiv bemerkbar machte, schon immer ein Teil der Ökosysteme. Völlig offensichtlich ist der Einfluss des Menschen in den heutigen Kulturlandschaften, nicht zu reden von industriellen oder urbanen Agglomerationen, in welchen der Natur nur noch wenig Raum verbleibt.

Die landschaftlichen Gegebenheiten sind folglich ein wesentlicher Bereich menschlichen Lebens und Erlebens. In jenen Momenten, in welchen dies bewusst wird, versuchen wir diese Qualitäten in Worte zu fassen und zu beschreiben. Zur Kommunikation benötigen wir dann Begriffe zur Kennzeichnung von Naturelementen, Orten oder Gebieten. Wir unterscheiden dabei abstrakte Typen, also Gruppen von Objekten mit ähnlichen Eigenschaften, welchen wir den selben Namen geben und konkrete Objekte die wir vor uns sehen. Eine konkrete Blume in unserer Hand können wir, falls wir über diesbezügliche Kenntnisse verfügen, mit einem bestimmten Artnamen versehen. Sind die Objekte mit welchen wir uns beschäftigen wenig komplex, so machen wir dabei nur selten Fehler, also falsche Zuordnungen. Pflanzen, Tiere oder Gesteine sind nach einer gewissen Einarbeitung recht klar mit Namen zu versehen. Gehen wir aber von bestimmten einzelnen Organismen zu Natureinheiten, die aus zahlreichen verschiedenen Elementen aufgebaut sind, so bekommen wir Probleme. Ökosysteme wie Flüsse oder Seen beispielsweise sind schon schwieriger mit Namen zu belegen, da sie komplexer, individueller und einfach größer sind. Sie besitzen manchmal mehrere Namen und sind nicht immer klar bestimmten Typen zuzuordnen, dennoch kann eine Bezeichnung noch sinnvoll erfolgen.

Für Landschaften ist es noch schwieriger eine Typisierung durchzuführen und klare Begriffe zu finden, da sie weniger scharf zu umreißen und aus sehr unterschiedlichen Elementen (z.B. Berge, Täler, Seen, etc.) zusammengesetzt sind. Sie besitzen einen hohen Integrationscharakter. Trotzdem geben wir einem bestimmten Gebiet, das eine bestimmte natürliche Ausstattung aufweist, eine Bezeichnung, einen Landschaftsnamen.

Da bei der Behandlung von Landschaften ganz offenbar die Begriffsebenen nicht immer eindeutig beachtet werden, erscheint es sinnvoll zum besseren Verständnis in Anlehnung an MEYNEN et al. (1962) kurz einige Definitionen herauszuarbeiten. Von **Landschaft** sprechen

wir, wenn ein räumlich nicht exakt begrenzter Ausschnitt der Erdoberfläche, der sich durch seine mehr oder weniger einheitliche Beschaffenheit auszeichnet, gemeint ist. Zu dem Charakter der landschaftlichen Gegebenheiten tragen grundsätzlich sowohl natürliche als auch menschliche Faktoren bei. Der **Landschaftsraum** hingegen ist der geographisch abgegrenzte Bereich, der von einer bestimmten Landschaft eingenommen wird. Korrespondierend ist die **Landesnatur** eines Gebietes die Gesamtheit dessen, was nicht durch den Menschen geschaffen oder gestaltet ist. Auf ihrer Basis kann eine Region, welche im Gesamtcharakter der Landesnatur große Ähnlichkeit aufweist, als **Naturraum** abgegrenzt werden. Wir können also einen bestimmten geographischen Raum, je nachdem, ob wir das Wirken des Menschen berücksichtigen oder nicht, sowohl als Landschaft als auch als Naturraum auffassen, müssen dabei allerdings bedenken, dass ein Naturraum immer (ähnlich wie die potentiell natürliche Vegetation) ein hypothetisches Konstrukt ist. In beiden Fällen kann das Etikett "Frankenwald" verliehen werden, doch ist es erforderlich hinzuzufügen, von was die Rede ist (vgl. BEIERKUHNLEIN & Türk 1991).

Verwirrend kommt hinzu, dass weitere räumliche Gliederungsansätze bestehen. Je nach den interessierenden Kriterien werden aus der Perspektive verschiedener Landnutzungssparten zum Beispiel forstliche Wuchsgebiete, Planungsräume oder touristische Regionen ausgewiesen. Und auch verschiedene naturwissenschaftliche Disziplinen beschreiben zum Beispiel geologische Raumeinheiten oder pflanzengeographische Bezirke. Die konkreten Abgrenzungen können dabei selbstverständlich unterschiedlich sein, doch ein Problem entsteht erst dann, wenn auch hier dasselbe Etikett, derselbe Name verwendet wird, was nicht selten der Fall ist. In diesem vorliegenden Beitrag wird "Frankenwald" als Landschaftsbegriff benutzt und damit eine sehr umfassende und ganzheitliche Sicht verfolgt.

In den vergangenen Jahrhunderten fanden zahlreiche unterschiedliche Namen für die Landschaft, welche heute als „Frankenwald“ bezeichnet wird Verwendung (Nordwald, saltus frankoniae, Voytland). Es ist bemerkenswert, dass im Vergleich zu anderen Mittelgebirgen (Spessart, Thüringer Wald, Fichtelgebirge), dem Frankenwald erst spät (Ende des 18. Jahrhunderts) ein eigenständiger Status zuerkannt wurde. Bis dahin wurde das Gebiet vor allem unter politischen Gesichtspunkten beschrieben (z.B. „im Bambergischen“) oder entweder dem Fichtelgebirge oder dem Thüringer Wald zugeordnet. Für letzteres spricht vor allem die Ähnlichkeit zu den sich im Nordwesten anschließenden Naturräumen, insbesondere zum Thüringer Schiefergebirge. Die Zuordnung zum Fichtelgebirge lag durch die politischen Verhältnisse nahe. In diesen historischen Gegebenheiten spiegelt sich der auch landschaftliche Vermittlungscharakter des Mittelgebirges wider. Eine scharfe Abgrenzung gegenüber benachbarten Landschaftsräumen ist nicht immer möglich (vgl. MARTIN 1925, SCHLUND 1931).

In der jüngeren Vergangenheit trugen weitere Entwicklungen zu neuerlichen Unklarheiten bei. Mit aufkommender Bedeutung des Wirtschaftsfaktors Tourismus wurde das Gebiet des Frankenwaldes auch auf das Frankenwaldvorland (Obermainisches Hügelland, Münchberger Hochfläche und Vogtland) ausgedehnt. So sind auch die Grenzen des Naturparks Frankenwald im Wesentlichen politisch und wirtschaftlich motiviert, sie entsprechen nur in einem geringen Teilbereich entlang der Fränkischen Linie den tatsächlichen Grenzen des Landschaftsraumes. Auch die politische Abgrenzung zwischen Bayern und Thüringen, welche häufig als Grenze des Frankenwaldes verwendet wurde, entspricht selbstredend nicht den natürlichen Abgrenzungen.

Verwendet man heute den Namen „Frankenwald“ als Naturraum- oder Landschaftsbezeichnung, so versteht man darunter einen Teilbereich des übergeordneten Naturraumes „Thürin-

gisch-Fränkisches Mittelgebirge“ im Sinne von MEYNEN et al. (1962). Die Abgrenzung des Frankenwaldes gegen das Obermainische Hügelland im Südwesten erfolgt entlang der Fränkischen Linie, der Bruchstufe des Grundgebirges. Sie ist die einzige wirklich unstrittige Grenzlinie. Die Naturraumgrenzen innerhalb des Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirges sind weniger eindeutig. Dennoch kann gegenüber dem Nördlichen Thüringer Schiefergebirge (tektonisch "Schwarzburger Sattel") im Nordwesten, dem Östlichen Schiefergebirge mit anschließendem Vogtland im Norden und der Münchberger Hochfläche (aufgebaut aus Gneisen) im Südosten unter klimatischen, reliefbezogenen und petrographischen Gesichtspunkten d.h. durch die Gesamtheit der Landesnatur eine Trennung erfolgen. Auch die Nutzungsverhältnisse verändern sich zwischen den Landschaftsräumen und rechtfertigen eine Differenzierung. Unterschiedliche Vegetationsmuster vor allem der Waldflächenverteilung spiegeln sich selbst in Satellitenbildern wider.

## 2 Geoökologische Verhältnisse im Frankenwald

Die in den verschiedenen biologischen und geographischen Teilbereichen angesiedelten landschaftlichen und mithin naturräumlichen Grundlagen sind eine wesentliche Quelle zum Verständnis eines Raumes und seiner zeitlichen Entwicklung. Es ist das Gefüge der unterschiedlichen Geofaktoren (und nicht ein einzelner davon wie das Klima) und der menschlichen Nutzungseinflüsse, welches die Entwicklung von Kulturlandschaften bestimmt. Die menschliche Nutzung wiederum wird jedoch stark von den ökologischen Rahmenbedingungen beeinflusst.

Um die landschaftlichen Eigenschaften des Frankenwaldes verständlicher zu machen soll an dieser Stelle kurz auf die einzelnen Geofaktoren eingegangen werden.

### Gestein

Im Frankenwald liegen Gesteine sehr ähnlicher Ablagerungsbedingungen vor. Sie gehören sämtlich der „Thüringischen Fazies“, also dem Saxothuringikum der variszischen Gebirgsbildung an. Sie entstanden im Wesentlichen in nicht allzu tiefen Meeresbecken bei eher ruhigen Ablagerungsbedingungen.

Dabei dominieren Tonschiefer-Wechsellagerungen des Unterkarbon. In diese sind z.T. Schichten mit höherem Kalkgehalt eingelagert, was die gute Basenversorgung vieler Böden des Frankenwaldes sowie das Auftreten von Kalkzeigern im Silikatgebirge erklärt. Vereinzelt sind auch Konglomerate integriert. Neben den karbonischen Sedimentgesteinen findet man untergeordnet auch ältere paläozoische Gesteine aus Devon, Silur und Ordovizium, welche sehr unterschiedlicher Beschaffenheit sein können. An Sedimentgesteinen sind neben Quarziten u.a. Kalke und Kieselschiefer zu finden. Als vulkanische Bildungen sind Diabase und Diabastuffe (z.B. Höllental) anzuführen (DANNAPFEL 1991).

Die Gesteine des Unterkarbon treten im Zentrum des Frankenwaldes gehäuft auf. In den Randbereichen hin zur Münchberger Gneismasse kommen z.B. devonische Kieselschiefer und Diabase vor. Letztere sind auch im Bereich der Fränkischen Linie gehäuft anzutreffen und werden dort in zahlreichen Steinbrüchen abgebaut. Ordovizische Quarzite und silurische Gesteinen (z.B. Alaunschiefer) sind dagegen eher im Bereich der tektonischen Störungszone der Frankenwälder Querzone in der Gegend um Ludwigsstadt zu finden. Selten kommen im

Frankenwald Ganggesteine mit landschaftsprägendem Einfluss vor. Eines der seltenen Beispiele hierfür ist der Quarzkeratophyr der Steinachklamm bei Presseck.

### **Relief**

Der Frankenwald gehört zu den ostbayerischen Grundgebirgen, die zumeist an einer markanten tektonischen Störung, der „Fränkischen Linie“ gegen ihr Vorland, die obermainische Bruchschollenzone herausgehoben sind (HÜSER 1991). Der Frankenwald erreicht somit Höhen von 350 (Talböden) bis 794 m (höchste Erhebung) über NN. Charakteristisch ist die Homogenität seiner Oberflächenformen, d.h. das regelhafte Auftreten immer wieder ähnlicher Tal- und Flächenbildungen. Eine erste Voraussetzung hierfür liefert natürlich die geringe Vielfalt der Gesteine und die Dominanz der Tonschiefer. Entscheidend für die weitere Entwicklung war aber während des Alttertiärs die Einebnung unter lang andauernden feuchtwarmen Bedingungen. Dabei entstand eine Fastebene (Peneplain), die noch heute auf den Höhen des Frankenwaldes gut nachzuvollziehen ist. Die Gleichförmigkeit der Frankenwaldhochfläche wird lediglich durch einzelne Kieselschieferhärtlinge (Döbra, Geuser) überragt.

Spätestens im Pleistozän wurde dieses flachwellige Relief intensiv zertalt. Die Flusstäler sind tief eingeschnitten und besitzen steile Hänge, an welchen sich vereinzelt noch Terrassenbildungen abzeichnen. Sie sind in den Oberläufen als Kerb-, ansonsten als Sohlenkerbtäler ausgebildet. Die durch die Talbildung entstandene Hangneigung war die Voraussetzung für das Wirken periglazialer Verlagerungsprozesse (insbesondere Gelisolifluktion). Diese führte zu einer - mit Ausnahme der aktuellen Überflutungsbereiche der Talböden - flächigen Verbreitung periglazialer Hangsedimente („Deckschichten“). Zwar ist auch eine äolische Dynamik (Lössanwehung) zu belegen, diese führte aber nicht zur Ablagerung reiner Löss, sondern zu deren Einmischung in die oberflächennahen Deckschichten.

Die oberflächennahen Substrate der Hänge und Hochflächen sind also nicht direkt als Verwitterungsprodukte aus den anstehenden Gesteinen hervor, sondern sind das Ergebnis verschiedener Abtragungs- und Umlagerungsprozesse. Sie treten in der Regel in diskreten Sedimentpaketen übereinander auf, wobei eine weitgehend flächenhaft verbreitete, zuunterst liegende parautochthone Schicht mit meist hoher Lagerungsdichte (Basislage) von einer nahezu flächenhaft auftretenden Schicht mit lockerer Lagerung überlagert wird, die sowohl autochthone wie allochthone (Löss) Komponenten enthält (Hauptlage). Zwischen beide schalten sich verschiedentlich ein oder mehrere weitere Mischsedimente mit Lössbeimengung (Mittellage) ein. Deren Vorkommen ist v.a. auf flachere Hang- und Hangdellenbereiche an östlich ausgerichteten Hängen konzentriert, ihre Mächtigkeiten sind gering. Im Gegensatz dazu können Basislagen im Frankenwald mehrere Meter mächtig werden.

### **Gewässer**

Der Frankenwald ist reich an Oberflächengewässern, verfügt aber aufgrund der dichten Tonschiefergesteine, die kaum Poren- oder Kluftraum zur Verfügung stellen, über wenig Grundwasserressourcen. Quellen sind zahlreich, aber in ihrer Schüttung in den meisten Fällen sehr variabel. Im Sommer können sie nicht selten trocken fallen, was die Wasserarmut (aus der Sicht der Trinkwasserversorgung) dieses eigentlich relativ niederschlagsreichen Gebietes erklärt. Die meisten Bachläufe sind hingegen durchaus ausdauernd, wenn auch ihre Wasserführung stark schwankt. Durch die Flößerei wurde die ursprüngliche Dynamik mäandrierender Bachläufe schon frühzeitig durch Bachregulierungen begrenzt. Man versuchte möglichst

geradlinige Fließstrecken zu erzielen. Des Weiteren wurden zahlreiche Bäche im Zusammenhang mit der Flößerei auch seitlich verbaut (z.B. mit Baumstämmen und durch zusätzliche Aufschüttungen), was z.B. im Kremnitz- und Dobertal noch gut zu erkennen ist. Der Frankenwald weist keine natürlichen Stillgewässer auf, jedoch sind ebenfalls im Zusammenhang mit der Waldbewirtschaftung zahlreiche Floßteiche vor allem in der Kammregion des Frankenwaldes entstanden. Einige davon sind noch erhalten und sollten höchste Priorität im Rahmen der Erhaltung charakteristischer Landschaftselemente genießen.

### **Boden**

Der Frankenwald besitzt im Bereich der Hochflächenreste oft noch Relikte einer intensiven Bodenbildung, die gemeinhin in das Tertiär gestellt wird. Diese Reliktböden sind stellenweise von den periglazialen Verlagerungsprozessen erfasst und in andere Substrate eingemischt worden, wo sie an unerwarteten Stellen zur Staunässe in den Böden und damit zur Pseudovergleyung beitragen.

In steileren Lagen und auf Spornen finden sich 40 – 60 cm mächtige Hauptlagen über Basislagen. Darin sind meist oligotrophe (bei kalkhaltigem Gestein auch mesotrophe) Braunerden, in Höhen über ca. 500 m über NN Lockerbraunerden entwickelt. In Hochlagen wie dem Rennsteig kommt Podsoligkeit hinzu. Wo Mittellagen auftreten, tritt eine meist äußerst schwach ausgebildete, ausweislich der heute zu niedrigen pH-Werte reliktsche Lessivierung auf.

Von temporärer Staunässe geprägte Pseudogleye sind sehr weit verbreitet. Sie sind ein Resultat der geringen vertikalen Wasserleitfähigkeit der Substrate und Gesteine und somit an flachen bzw. nicht mehr ganz so steilen Hängen zu finden. An Hangverflachungen, Unterhängen und in den Talauen findet man Gleye.

Insbesondere im östlichen und südöstlichen Frankenwald, wo sich die Gesteinsverhältnisse etwas variabler darstellen, ist auch die Bandbreite der Bodenbildungen größer. Sie reicht von Podsolen aus quarzitischen Deckschichten über eutrophe Braunerden aus basischen Vulkaniten bis zu Parabraunerden bei höherem Lössanteil in der Mittellage.

### **Klima**

Der Frankenwald liegt im Übergangsbereich subatlantischer zu subkontinentalen Klimaverhältnissen. Die Jahresdurchschnittstemperaturen in den tieferen Lagen liegen bei ca. 7°C, die Niederschläge bei 700 mm pro Jahr (EIDEN 1991). Auch ohne dass in ausreichender Zahl Klimastationen vorhanden wären, kann man aus allgemeinen meteorologischen Gesetzmäßigkeiten folgern, dass die Temperaturen mit der Höhe ab- (auf Werte um 5°C), die Niederschläge dagegen (auf Werte über 1.100 mm) zunehmen. In Anbetracht der doch schon erkennbar kontinentalen Tönung des Klimas des Frankenwalds bedeutet dies, dass in einem durchschnittlichen Jahr in mittleren bis höheren Lagen des Frankenwalds mit erheblichem winterlichen Frosteinfluss nicht nur in den Nächten sondern über längere Perioden durchgehend zu rechnen ist.

## Umweltbelastungen

Auswirkungen menschlicher Aktivitäten machen sich in einer Landschaft nicht nur durch offensichtliche Eingriffe und Umgestaltungen bemerkbar. In der jüngeren Vergangenheit wird den anthropogenen Depositionen von Schadstoffen sogar eine größere Bedeutung beigemessen als direkten landschaftsbeeinflussenden Eingriffen, Nutzungen oder Störungen.

## Vegetation

Ein wesentliches und stark durch die Einflüsse des Menschen geprägtes Element des Landschaftsbildes ist die Vegetation. Betrachtet man die potentiell natürliche Vegetation, das sind diejenigen Pflanzengesellschaften, welche sich unter heutigen Umweltbedingungen ohne menschliches Einwirken in einem Gebiet einfinden würden, so wird diese größtenteils vom montanen Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*) bestimmt. Auf besseren Böden wäre der Waldmeister-Buchenwald (*Galio odorati-Fagetum*) anzutreffen. Die Höhenstufe des Bergfichtenwaldes (*Calamagrostio villosae-Piceetum*) würde nur in einzelnen Kuppenbereichen mit Lagen um 750 m über NN (Wetzstein, Döbra) erreicht werden. Die Vegetation der engen Täler wäre von einem Hainsternmieren-Erlenwald (*Stellario nemorum-Alnetum*) bestimmt (BEIERKUHNEIN et al. 1991).

Die aktuellen Vegetationsverhältnisse weichen allerdings stark von diesem Bild ab. Zwar ist das Gebiet immer noch ausgesprochen walddreich. Die heute dominierenden Fichtenforste sind allerdings eintönig und artenarm. Plenterartig genutzte Bauernwälder mit hohem Tannenanteil haben flächenmäßig nur noch geringe Bedeutung. Zu den Veränderungen des Waldkleides durch den Einfluss des Menschen sind in diesem Tagungsband spezielle Beiträge zu finden.

Die starke Zertalung des Frankenwaldes erklärt den Erhalt weiter Waldgebiete, da sich die landwirtschaftliche Nutzung auf die Rodunginseln der Hochflächen und auf die Talräume konzentriert. Sie kann unter den rauen klimatischen Gegebenheiten und der Flachgründigkeit der Böden nur relativ extensiv betrieben werden. Typische Wiesengesellschaften sind neben den Gebirgs-Fettwiesen (*Polygono-Trisetion*) vor allem die Storchschnabel-Goldhaferwiese (*Geranio-Trisetetum flavescens*) mit Waldstorchschnabel (*Geranium sylvaticum*), der Perücken-Flockenblume (*Centaurea pseudophrygia*) und der Bärwurz (*Meum athamanticum*). Feuchte Senken der Hochlagen werden von der Verschiedenblättrigen Kratzdistel (*Cirsium helenioides*) geprägt, oft begleitet vom Bergkälberkropf (*Chaerophyllum hirsutum*). Bei Aufgabe der traditionellen Grünlandnutzung der Talbereiche werden die engen Talböden der tief eingeschnittenen Täler rasch von Pestwurzfluren (*Phalarido-Petasitetum hybridum*) eingenommen.

## 3 Kulturlandschaftliche Entwicklung

### Siedlungsgeschichte

Im Allgemeinen ist die Siedlungsgeschichte eng mit den vorherrschenden Naturgegebenheiten korreliert, ähnliche Naturraumbedingungen haben parallele Entwicklungen in der Kulturlandschaft zur Folge. Allerdings wurde die Siedlungsgeschichte des Frankenwaldes mehrfach durch wechselnde politische Grenzziehungen überprägt. Auch die heutigen geopolitischen Verhältnisse werden der Siedlungsgeschichte nicht gerecht: In Franken leben auch Thüringer, in Thüringen auch Franken. Hingegen bestehen enge Beziehungen zwischen der

Landesnatur und der siedlungsgeschichtlichen Entwicklung (v. GELDERN-CRISPENDORF 1930, LANGE et al. 1978).

Eine flächige Erschließung verbunden mit Ortsgründungen hat im Mittelalter eingesetzt. Zuvor wurde das Gebiet lediglich von Zeit zu Zeit durchstreift. Die Besiedlung des Gebirges erfolgte sowohl von Süden (Bistum Bamberg) als auch von Norden (Benediktinerkloster Saalfeld), anknüpfend an bestehende Überlandwege. Gegen Ende des 12. Jahrhunderts wurde mit der Gründung von Teuschnitz und Nordhalben bereits die Kammregion erreicht. Die Ortschaften des rauen Rennsteiggebietes wurden teilweise erst spät, oft im 17. Jahrhundert durch vom Holzreichtum angezogene Glasmacher gegründet. Erste größere Rodungen fanden vom 11. bis zum 13. Jahrhundert statt (Ortsnamen -reuth, -roth, -grün). Während im Frankenwald die „Rodungsinseln“ im Wald liegen, führten die günstigeren orographischen Verhältnisse auf der Münchberger Hochfläche und im Vogtland zu einer weitgehenden Zurückdrängung des Waldes auf einzelne „Waldinseln“. Im 14. Jahrhundert war die Gründung von Siedlungen im Wesentlichen abgeschlossen. Im Zusammenhang mit der klimatischen Ungunst der sog. „Kleinen Eiszeit“ mit dem auslaufenden Mittelalter wurden nicht wenige Siedlungsplätze wieder aufgegeben, was circa 80 bis 90 Wüstungen belegen.

Auffallend ist die planvolle Anlage der Frankenwalddörfer meist in Quellmuldenlage der Hochfläche mit zentralem Dorfanger. Grund hierfür ist das Zusammentreffen zweier wesentlicher Faktoren, die Verfügbarkeit von Wasser und der Windschutz in unmittelbarer Nähe zu landwirtschaftlich nutzbaren Flächen auf der relativ ebenen Hochfläche.

### **Historische Formen der Landnutzung**

Auf der Hochfläche herrschen relativ günstige Voraussetzungen für die Landwirtschaft. Dort dominierte der Ackerbau, die wichtigsten Nutzpflanzen waren Hafer, Gerste, Roggen und auch Flachs. Die steilen Hanglagen eignen sich nicht für eine agrarische Nutzung. Sie blieben bis heute größtenteils der forstlichen Nutzung vorbehalten. Die Talböden der Kerbsohlentäler stellten reliefbedingt den zweiten Schwerpunkt landwirtschaftlicher Nutzflächen. Grundwassernähe und Hochwassergefahr schränkten die Möglichkeiten auf die Grünlandnutzung ein. Als Resultat entstand das typische Landschaftselement der Frankenwaldwiesentäler. In ortsnahen Lagen wurden auch die Hänge bewirtschaftet. Wassergräben halfen die Vegetationsperiode zu verlängern, mittels Terrassierung sollten die Bedingungen für den Ackerbau verbessert werden.

Zum Beginn dieses Jahrhunderts waren deutlich weniger Waldflächen vorhanden als heute. Die Wälder wurden aber nicht nur für die Holzgewinnung genutzt. Pechsiederei, Köhlerei, Schindel- und Harzerzeugung spielten eine wichtige Rolle in dieser armen Gegend. Die Streunutzung in den Wäldern führte zu einer schleichenden Verarmung der Waldböden. Auch durch die damals übliche Waldweide wurde der Wald in Mitleidenschaft gezogen.

Die Veränderung der Baumartenzusammensetzung weg von der Buche hin zur Fichte leiteten neben der Köhlerei später die Glashütten und folgend die Porzellanindustrie ein. Für die großflächige Umwandlung sind allerdings die Industrialisierung und die Flößerei verantwortlich. Letztere stellte über Jahrhunderte den maßgeblichen Wirtschaftsfaktor der armen Bevölkerung dar. Landschaftsverändernd wirkte die Flößerei außerdem durch Stauwehre, Flößteiche, Flussbegradigungen und Uferverbauungen.

## **Bergbau**

Der Abbau von Erzen begann mit Wasch- und Seifenwerken, in denen aus dem Ufersediment Erze ausgewaschen wurden. Später, nach dem Bau von Bergwerken im 13. Jahrhundert war auch der Bergbau ein wichtiger Erwerbszweig. Der Abbau von Steinen konzentrierte sich lange Zeit auf den Dachschiefer, der vor allem in der Gegend um Lehesten abgebaut wird. In jüngerer Zeit wird auch Diabas und Grauwacke, vor allem als Straßenbaumaterial, abgebaut.

## **Industrie und Gewerbe**

Der Anbau von Flachs, der das feuchte Gebirgsklima bevorzugt, war Grundlage für die Leinweberei, aus der sich die Textilindustrie des Hofer und Münchberger Raumes entwickelte. Die Erzverhüttung und die Weiterverarbeitung der Metalle fanden unter Zuhilfenahme von Holzkohle und Wasserkraft statt. Im 16. Jahrhundert trat die Glasindustrie, ca. 200 Jahre später die Porzellanindustrie hinzu.

## **Heutige Landnutzung**

War die Landwirtschaft gegenüber den anderen Nutzungen auch von untergeordneter Bedeutung, so prägte sie doch den Landschaftscharakter des Frankenwaldes entscheidend. Die breiten Talgründe der Sohlenkerbtäler unterliegen heute vorwiegend der Grünlandnutzung und sind als Wiesentäler ein Charakteristikum des Frankenwaldes, während die steilen Hänge vorwiegend von Fichtenforsten bestockt sind. Durch Ausdehnung und Vernetzung der Rodungsinseln auf den Hochflächen entstanden größere offene Bereiche, die vorwiegend ackerbaulich genutzt werden. Durch die Strukturveränderungen in der Landwirtschaft lohnt sich allerdings für viele Landwirte die Bewirtschaftung ihrer Flächen nicht mehr. Talwiesen fallen brach, Ackerflächen der Hochlagen werden aufgeforstet. Die zunehmende Aufgabe landwirtschaftlicher Nutzungen stellt aus der Sicht des Arten- und Biotopschutzes ein wachsendes Problem dar. Zuerst werden die schwierig zu bewirtschaftenden Talhänge aufgeforstet, wodurch Magerbiotope verloren gehen und Arten wie das Holunderknabenkraut (*Dactylorhiza sambucina*) oder die Schlingnatter (*Coronella austriaca*) ihren Lebensraum verlieren. Auch geht so die ehemalige Verbindung von der offenen Hochfläche in den offenen Talgrund verloren. Solche Probleme muss der Naturschutz erkennen und in Maßnahmen umsetzen, wie dies z.B. bei der Offenhaltung der Wiesentäler geschieht.

Waren früher rein wirtschaftliche Interessen (Siedlung, Infrastruktur, Land- und Forstwirtschaft) ausschlaggebend für die Entstehung und die Entwicklung der Kulturlandschaft, so kommen heute ideelle Werte (Naturschutz, Erlebnis) hinzu. Die Interessens-Sphären des Menschen an der Landschaft haben sich also mit der Landschaft verändert.

## **4 Einzugsgebiete**

### **Stofftransport und Fließwege**

Ein wesentliches Problem, das sich bei Hochwasser- und Schadstoffforschung herauskristallisiert, ist die geringe Kenntnis der konkreten Abflussbahnen innerhalb kleiner Einzugsgebiete. Es zeigt sich nämlich, dass die chemische Zusammensetzung des aus einem Hang ausfließenden Wassers vielfach nicht im Gleichgewicht mit den Böden des Einzugsgebiets steht. Der Grund hierfür sind die hohe Geschwindigkeit und die damit geringe Verweildauer des

Wassers im Boden bzw. Substrat, das als „Interflow“ mehr oder weniger parallel zur Geländeoberfläche und in deren Nähe fließt, anstatt das tiefere Grundwasser zu erreichen und in diesem für längere Zeit zu verweilen. Auch für das Zustandekommen von Hochwässern sind solche schnellen Abflussvorgänge von großer Bedeutung.

Die Exkursion führt in ein ehemaliges Messfeld in der Nähe von Ludwigsstadt, Frankenwald (ca. 600 m über NN), wo der oberflächennahe Untergrund einer Hangdelle sowie ein am unteren Rand der Delle gelegener Quelltrichter vorgestellt werden. Darauf aufbauend wird die hanghydrologische Bedeutung dieses Untergrunds in ihrem geoökologischen Kontext diskutiert.

Arbeitsgebiet ist das ca. 6 ha große Einzugsgebiet einer Quelle im Frankenwald (R<sup>44</sup>578 / H<sup>55</sup>932) in ca. 600 m über NN, dessen unterer Teil als abflusskonzentrierende Hangdelle ausgebildet ist. Der anstehende Tonschiefer kann im Einzugsgebiet als wasserundurchlässig angesehen werden (v. HORSTIG & STETTNER 1976, Wasserbilanzrechnung durch LINDEMANN 1997, eigene Bohrungen). Seine klastische Verwitterung liefert plattige Gesteinsscherben, die sich bei solifluidalem Transport tegulär (dachziegelartig) einregeln. Böden und Substrate wurden in Gruben beschrieben (KLEBER et al. 1998) und dann mit Bohrungen (Rammkernsonden) verfolgt. Ferner wurden geoelektrische Sondierungen in Schlumberger-Auslegung vorgenommen (KLEBER & SCHELLENBERGER 1998). Wasserspannungen wurden mit stündlich messenden Druckaufnehmer-Tensiometern aufgenommen, die in Tiefenprofilen arrangiert waren. Die Profile waren so angelegt, dass in Hauptlage, Mittellage, und zweimal in der Basislage (je einmal im pseudovergleyten sowie im gleyartig geprägten Abschnitt) gemessen wurde. Lediglich in zwei quellnahen Profilen war die Hauptlage erodiert und konnte nicht erfasst werden. Die Isotopenverhältnisse des Sulfat-Schwefels wurden nach Fällung als Bariumsulfat mit einem Elementaranalysator, gekoppelt an ein Massenspektrometer, ermittelt. Weitere eingesetzte hydrogeologische Methoden schildert SCHELLENBERGER (1996), klimatologische und hydrochemische Verfahren LINDEMANN (1997).

Die Tiefenlinie der Hangdelle ist mit Deckschichten verkleidet, deren mittleres Glied (Mittellage) zu den Rändern der Delle hin auskeilt. Diese wurden aufgrund sedimentologischer und indirekter pedologischer Kriterien als Haupt-, Mittel- und Basislage angesprochen (KLEBER et al. 1998, KLEBER 2004). Haupt- und Mittellage sind gleichermaßen locker gelagert. Die liegende Basislage ist hingegen dicht gelagert (KLEBER & SCHELLENBERGER 1998).

Lediglich sporadisch unterbrochen durch Eiskeilpseudomorphosen oder durch Einschaltungen von verlagertem quarzitischem Verwitterungsmaterial, dominiert in der Basislage die teguläre Struktur der Tonschieferscherben. Diese Struktureigenschaft verursacht eine sedimentinterne hydraulische Anisotropie. Aufgrund ihrer hohen Lagerungsdichte und insbesondere durch die teguläre Einregelung stellt die Basislage zwar eine Barriere für das Sickerwasser dar: es wird an seiner Oberfläche teilweise abgelenkt und fließt als Interflow innerhalb von Haupt- und/oder Mittellage hangabwärts; Wasser jedoch, welches einmal in die Basislage gelangt ist – insbesondere entlang der erwähnten Störungen im Sediment, wo besonders hohe feldgesättigte Leitfähigkeiten gemessen wurden – kann innerhalb dieser Schicht zwischen den Tonschieferscherben nahezu ungehindert hangparallel abfließen.

Der obere Teil der Basislage ist im flacheren unteren Teil des Einzugsgebiets durch Pseudovergleyung (Reduktion auf Aggregatoberflächen, Marmorierung) als stauender Horizont ausgewiesen. Zum Teil lassen sich auch korrespondierende Sw-Eigenschaften in den hangenden Schichten erkennen. In tieferen Abschnitten der Basislage verschwinden die Hydromor-

phie-Merkmale nicht, sondern nehmen an Intensität zu, verändern aber ihren Charakter, und treten nunmehr v.a. als Eisenoxid-Bänder (gleyartig) auf, was für zeitweise oxidierendes Milieu spricht (Tab. 1). Geoelektrische Sondierungen lassen den Schluss zu, dass in ca. 3-6 m unter Flur, immer noch innerhalb von Basislagenmaterial ganzjährig mit Grundwasser gesättigte Bereiche folgen (KLEBER & SCHELLENBERGER 1999).

Tab. 1 Bodenprofil im terrestrischen Bereich des Quelleinzugsgebiets

Tiefe (cm)	Horizont	Deckschicht	Farbe (trocken)	Farbe (feucht)	Körnung	Skelett (Vol.-%)	Ld (g/cm <sup>3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )
+11	L	n.a.	n.b.	n.b.	n.a.	n.a.	n.b.	n.b.
+8	Of	n.a.	10YR 3/4	10YR 3/2	n.a.	n.a.	n.b.	2.82
+3	Oh	n.a.	10YR 2/2	10YR 2/1	n.a.	n.a.	n.b.	2.73
3	Ah	LH	10YR 4/3	10YR 3/1	sL	n.b.	n.b.	2.93
44	Aev	LH	2.5YR 6/4	2.5YR 4/2	sL	40	1.5	3.52
85	IIBtv	LM	2.5YR 6/6	2.5YR 5/4	sL	20	1.0	4.21
114	IIBv	LM-LB	2.5YR 6/4	2.5YR 5/4	sL	70	1.6	4.28
153	IIISd1	LB	2.5YR 6/2	2.5YR 4/2	IS	95	1.8	4.08
190	IVSd2	LB	n.b.	n.b.	n.v.	100	n.b.	n.b.
215	IVCv	LB	n.b.	n.b.	n.v.	100	n.b.	n.b.
335+	IVGo	LB	n.b.	n.b.	n.v.	100	n.b.	n.b.

LH: Hauptlage; LM: Mittellage; LB: Basislage; sL: sandiger Lehm; IS: lehmiger Sand. n.a.: nicht anwendbar; n.v.: nicht vorhanden; n.b.: nicht bestimmt. Aufschluss ab 190 cm Rammkernsonde

Lage: R <sup>44</sup>57888, H <sup>55</sup>93183

Höhe: 605 m über NN

Relief: Hangdelle, Gefälle 10°, Exposition NW

Vegetation: Fichtenforst

Gestein: Tentaculiten-Schiefer (Unt. Devon)

Humusform: rohhumusartiger Moder

Bodenform: sehr saure Braunerde aus Schuttlehm ü. Grus führendem Lösslehm

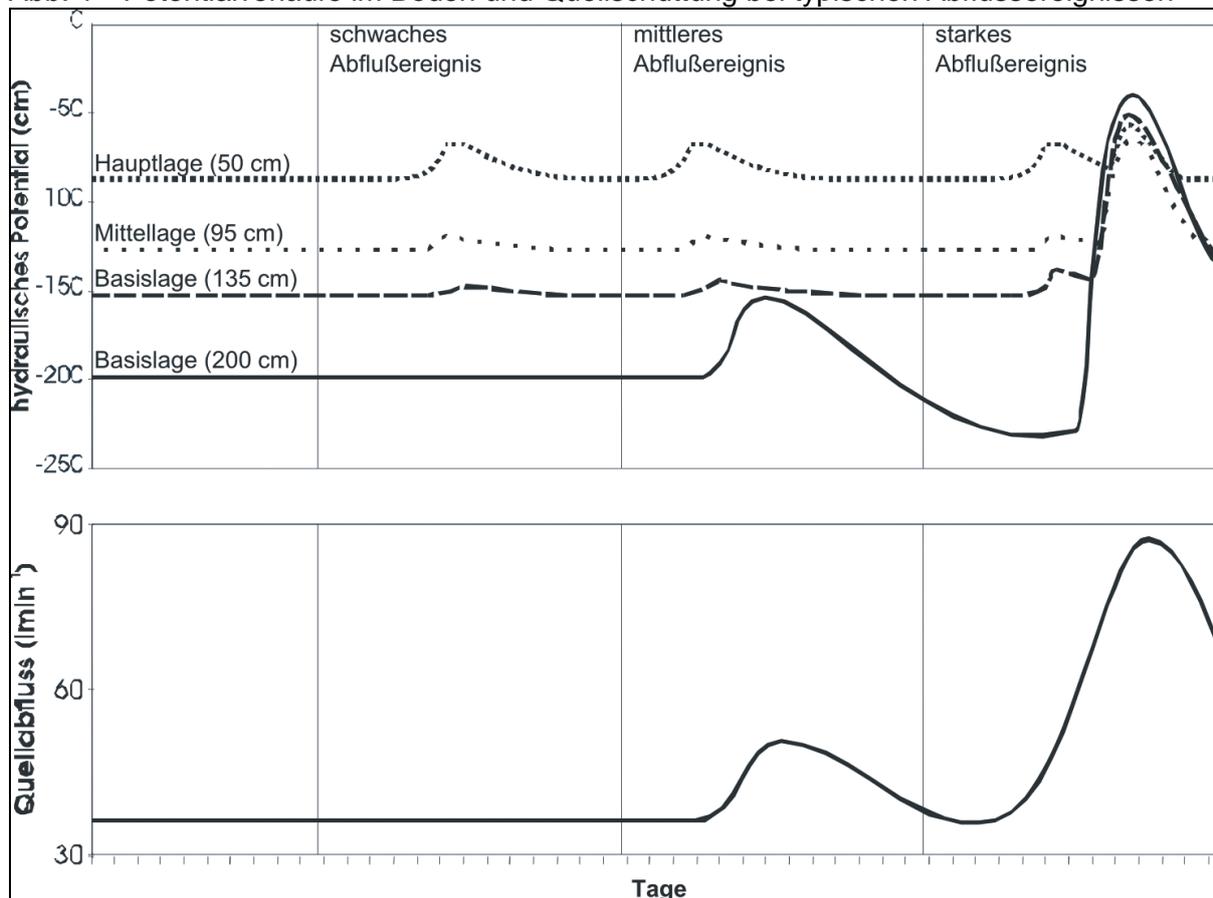
Quelle: nach KLEBER et al. 1998, verändert

In diesen Schichten konnten durch Tensiometer-Messungen (detaillierte Ganglinien bei KLEBER et al. 1998 sowie KLEBER & SCHELLENBERGER 1998) drei Typen von Abflussereignissen oberhalb des Grundwasserstockwerks unterschieden werden:

- Kleinere Ereignisse führen zu ungesättigtem Interflow in der Hauptlage und in der Mittellage, während in der Basislage Potentialänderungen gering bleiben. Der Quellabfluss zeigt keine ausgeprägte Reaktion auf solche Ereignisse.
- Abflussereignisse mittlerer Dimension rufen in den oberen Schichten die gleichen Reaktionen hervor, wobei die Messwerte diejenigen der Ereignisse vom Typ 1 nicht übersteigen. In der Basislage, in ca. 200 cm unter Grund, kommt es zu einem verzögerten, scharfen Anstieg der Potentialverläufe. Wenig später steigt auch der Quellabfluss an.

- Darüber hinaus werden starke Abflussereignisse beobachtet. Sie laufen wie Ereignisse des Typs 2 ab, jedoch wird in der Basislage in ca. 200 cm Tiefe ein so starker hydrostatischer Druck erreicht, dass das Wasser in die Hangsedimente gepresst wird, wo es oberflächenparallel abfließt. Starke Ereignisse induzieren demnach gesättigten Abfluss bis in die Hauptlage, der jedoch deutlich zeitlich versetzt zum auslösenden Niederschlag/Schneesmelze erfolgt. Der Anstieg des Abflusses in der Quelle ist entsprechend hoch.

Abb. 1 Potentialverläufe im Boden und Quellschüttung bei typischen Abflussereignissen



Quelle: KLEBER 2004

Der Fluss in der Basislage während der Ereignisse vom Typ 2 und 3 erfolgt im Wesentlichen als Über-schichtung des Grundwassers durch schnell fließenden Interflow. Dies ergibt sich aus den im gesamten Messzeitraum deutlichen Unterschieden in hydrochemischen (LINDEMANN 1997) und Isotopen-chemischen Messwerten (KLEBER et al. 1998, KLEBER 2004) zwischen Grundwasser und Interflow. Die chemischen Eigenschaften des Grundwassers sind auf Reaktionen mit dem Sediment der tieferen Basislage während einer längeren Verweildauer zurückzuführen, während die des Interflow eher der Zusammensetzung des Niederschlagswassers ähneln (LINDEMANN 1997).

Die Basislage wirkt somit als Stauer für die hangenden Schichten und führt dort zu Interflow. Dies gilt insbesondere bei Normalabflüssen unter ungesättigten Bedingungen. Bei stärkerem Abfluss wirkt die Basislage jedoch als Leiter für eingedrungenes Wasser und führt zu gesättigtem, hangparallelem Abfluss. Unter diesen Bedingungen gibt es zwei getrennte Interflow-Systeme in den verschiedenen Schichten oberhalb des Grundwasserkörpers. Bei Extremereignissen kommt es in der Tiefenlinie der Hangdelle nahe der Quelle zu einem Aufsteigen aus der Basislage in hangende Schichten, wo nach dem auslösenden Ereignis ein deutlich

verstärkter Fluss induziert wird. Der entscheidende Einfluss auf das hydrogeologische System geht also von der Basislage aus, insbesondere von deren anisotropen hydraulischen Eigenschaften. Daraus lassen sich zwei Schlüsse ziehen:

- Hangsedimente sind die entscheidenden Steuerungsgrößen im hydrologischen System des untersuchten Einzugsgebiets. Es ist anzunehmen, dass sich dieser prinzipielle Befund – neben Gebieten mit vergleichbarer Geofaktorenkonstellation – auch auf andere Einzugsgebiete übertragen lässt.
- Die konkrete Ausgestaltung der Hangwasserdynamik im Untersuchungsgebiet geht jedoch auf die besonderen hydraulischen Eigenschaften des tegulär eingeregelteten Ton-schieferskeletts zurück. Es ist somit unwahrscheinlich, dass sich die Ergebnisse direkt auf andere Gesteins- und Reliefverhältnisse übertragen lassen, sondern es bedarf vergleichender Untersuchungen, in denen insbesondere unterschiedlichen geologischen Rahmenbedingungen Rechnung getragen wird. Auch ist anzunehmen, dass die verschiedenartige Ausbildung der Mittellagen in geringeren Meereshöhen die hydrogeologischen Verhältnisse modifiziert.

### **Vegetationsökologie von Quellen**

Auf Gesellschaftsniveau lässt sich eine vegetationskundliche Differenzierung der Waldquellfluren des Frankenwaldes herausarbeiten (BEIERKUHNLEIN 1999a, 1999b). Über das gesamte Spektrum der Vegetationseinheiten kommen folgende Taxa vor: *Dryopteris dilatata*, *Athyrium filix-femina*, *Oxalis acetosella*, *Mnium hornum* und *Pellia epiphylla*. Hingegen sind *Galium palustre*, *Crepis paludosa*, *Lysimachia nemorum*, *Carex remota* und *Scapania undulata* zwar weit verbreitet, zeigen jedoch klare Schwerpunkte in einzelnen Gesellschaften.

Zahlreiche Arten der Quellfluren fehlen einem erheblichen Teil der Aufnahmen. Dazu gehören *Chrysosplenium oppositifolium*, *Cardamine amara*, *Brachythecium rivulare*, *Chaerophyllum hirsutum*, *Impatiens noli-tangere*, *Plagiomnium undulatum*, *Plagiomnium affine*, *Stellaria nemorum* und *Rhizomnium punctatum*. Dies ist der Fall an Quellen mit niedrigem pH. Aus dem Fehlen von *Cardamine amara*, *Chrysosplenium oppositifolium* und *Rhizomnium punctatum*, aber auch anderer Kennarten wie *Cardamine flexuosa* und *Chrysosplenium alternifolium*, kann abgeleitet werden, dass eine Stellung solcher Bestände zu den Cardamino-Chrysosplenietalia, nicht mehr zu rechtfertigen ist. Sogar die Zuordnung zu den Quellflurgesellschaften (Montio-Cardaminetea nach PHILLIPI & OBERDORFER 1977 bzw. HINTERLANG 1992a, 1992b) ist nicht mehr möglich. Es muss also eine gravierende Verschiebung des Artenspektrums dieser Weichwasser-Quellflurgesellschaften eingetreten sein.

Als quantitativ bedeutsamste Assoziationen des Untersuchungsgebiets stellen sich das *Chrysosplenietum oppositifolii* und das *Caricetum fuscae* dar. Sie sind durch zahlreiche Charakter- und Differentialarten voneinander abgegrenzt. Auch die standörtlichen Rahmenbedingungen beider Assoziationen sind sehr unterschiedlich. In erster Linie sind für ihre Ausbildung wasserchemische Gegebenheiten verantwortlich. Quellen mit neutralen bis mäßig sauren Wässern werden vom *Chrysosplenietum oppositifolii*, saure Quellen, in welchen pH-Werte unter 5 auftreten, vom *Caricetum fuscae* besiedelt. Vergleicht man die Höhenverteilung der beiden Assoziationen, so ist, wenn sich auch eine gewisse Überlagerung zeigt, doch eine eindeutige Differenzierung der beiden Gesellschaften zu erkennen. Das *Chrysosplenietum* kann als Assoziation der Tieflagen, das *Caricetum* als Assoziation der Hochlagen angesehen werden. Die durch neuartige Immissionsbeeinflussungen induzierte zeitliche und

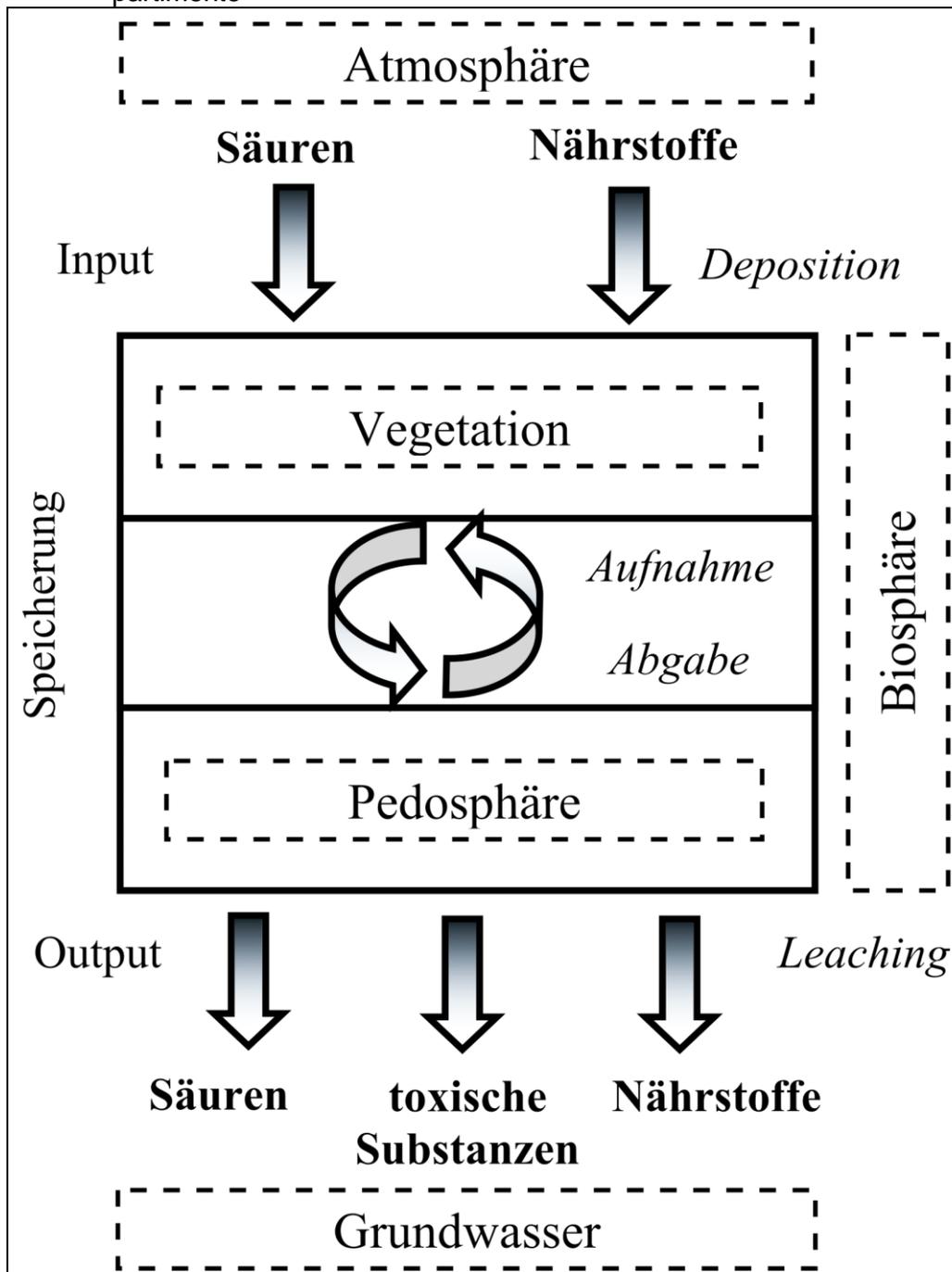
räumliche Veränderung im Wasserchemismus (BEIERKUHNLEIN 1991, AUDORFF & BEIERKUHNLEIN 1999) und die damit zusammenhängende graduelle Vegetationsveränderung (BEIERKUHNLEIN 1995) erschwert eine klassifizierende Einstufung im Rahmen einer pflanzensoziologischen Zuordnung.

Unterhalb des Assoziationsniveaus scheinen darüber hinaus andere Faktoren als der Wasserchemismus wirksam zu sein. Innerhalb des *Caricetum fuscae* spielt die Schüttungsdynamik eine differenzierende Rolle. Beim *Chrysosplenietum* macht sich die Beschattung durch den angrenzenden Waldbestand in der Artenzusammensetzung bemerkbar. Die Subassoziation *typicum* findet sich vor allem in Laubwäldern, ihre Variante nach *Lunaria rediviva* ist auf schluchtwaldartige luftfeuchte Lagen guter Basenversorgung beschränkt und durch das aspektbestimmende Auftreten von *Lunaria* in der Waldbodenvegetation gekennzeichnet. Bei starker Belichtung der Quellflur bildet sich die Variante von *Chaerophyllum hirsutum* aus. Mit dem Auftreten dieser Hochstaudenflur ergeben sich syntaxonomische Probleme, da die obere Krautschicht im Gegensatz zu der Grundsicht mit *Cardamine amara* und *Chrysosplenium oppositifolium* nur im Sommer ausgebildet ist. Aus der jahreszeitlichen Veränderung der Dominanz einzelner Arten wurde in der Literatur sogar die Existenz zweier Gesellschaften an einem Standort abgeleitet: Eine Kälberkopf-Flur ("*Chaerophylletum hirsuti*") (GUTTE et al. 1965), unter welcher die Bestände des "*Chrysosplenio-Cardaminetum*" (nach GUTTE et al. 1965) oder die "Frühjahrgesellschaft" der Bitterschaumkraut-Quellflur (*Cardaminetum amarae*) (nach ROLL 1941) fortbestehen. Es handelt es sich also um ein *Chrysosplenietum oppositifolii*, welches im Sommer einen *Chaerophyllum*-Aspekt zeigt.

Die lichtbedingte Gesellschaftsbildung mit *Chaerophyllum* ist als eine regelhafte Erscheinung anzusehen. KÄSTNER (1938) bemerkt über das *Cardaminetum amarae*, es sei "in den meisten Fällen nach der Blüte der beiden vorherrschenden Arten *Cardamina amara* und *Chrysosplenium oppositifolium* durch die Gesellschaft des Berg-Kälberkopfes, das *Chaerophylletum hirsuti*, überwuchert, unter dessen Geblätt es sich den ganzen Rest der Vegetationszeit hindurch erhält." Das Auftreten zweier Gesellschaften am gleichen Wuchsort widerspricht allerdings der Definition der Pflanzengesellschaft nach TÜXEN (1937). Vielmehr müssen verschiedene Ausprägungen im Jahresverlauf als unterschiedliche Aspekte einer Gesellschaft angesehen werden. Saisonale Aspekte können wiederum nicht als Assoziationen oder Synusien gewertet werden (BARKMANN 1968). Auch von NIEMANN et al. (1973) wird festgestellt, dass neben dem *Geranio sylvatici-Chaerophylletum hirsuti* (s.u.) *Cardaminion*-Gesellschaften bestehen, die als Quellstaudenfluren mit *Chaerophyllum hirsutum* ausgebildet sind. Ihnen fehlen die für das *Geranio sylvatici-Chaerophylletum hirsuti* bezeichnenden Arten *Geranium sylvaticum* und *Polygonum bistorta*. *Chrysosplenium oppositifolium* und *Cardamine amara*, welche auch im *Geranio sylvatici-Chaerophylletum hirsuti* auftreten können, kommen hier zu höherer Stetigkeit.

Weitere Faktoren, welche für die Ausbildung von Varianten und Ausbildungen des *Chrysosplenietum oppositifolii* verantwortlich sind, sind durch die unterschiedliche Konkurrenzkraft einzelner Arten unter bestimmten Umweltbedingungen zu erklären. Ein Beispiel hierfür ist *Petasites albus*, eine Art, die bei besonders grobschuttreichen Quellaustritten mit stark schwankender Wasserversorgung den dort auftretenden sommerlichen Trockenstress offensichtlich gut tolerieren kann und die Quellfluren dominiert, aber an edaphisch ständig feuchten Quellen fehlt. Autökologische Standortansprüche, beispielsweise an das thermische Milieu, sind eventuell noch für die Ausbildung weiterer Einheiten, wie z.B. der Variante von *Galium odoratum* verantwortlich zu machen.

Abb. 2 Vereinfachtes Schema der bei der Ökosystempassage wirkenden versauerungsrelevanten Stoffflüsse, Pools und Prozesse sowie der beteiligten ökosystemaren Kompartimente



Quelle: Eigene Darstellung

Das *Phalarido-Petasitetum hybridii* ist ebenfalls nicht durch wasserchemische Gegebenheiten zu erklären. Hier ist vor allem die Ausbreitungsbiologie der Art mit der Ausbildung von Polykormonen beziehungsweise die Fernverbreitung durch Rhizombruchstücke entscheidend. Nur talbodennahe Quellen der Unterhänge können so von der Charakterart *Petasites hybridus* erreicht und dann auch dominiert werden. Diese Gesellschaft tritt auch in offenen Bereichen der Täler auf nassen Bracheflächen auf und vermittelt damit, ähnlich wie das ebenfalls an wenig beschatteten Waldquellen nachgewiesene *Geranio-Chaerophylletum* und das *Chaerophyllo-Filipenduletum* zu Wiesenquellen und zu bachbegleitenden Hochstaudenfluren.

Die Aluminiumgehalte des Caricetum sind hoch (483 ppb im Vergleich zu 63 ppb), die Kalziumgehalte relativ gering (im Mittel 4,6 ppm). Auffallend sind die teilweise sehr hohen Nitratgehalte. Mit durchschnittlich 141  $\mu\text{mol/l}$  zeigen die Bestände des *Caricetum fuscae* die höchsten Nitratwerte aller 6 ausgeschiedenen Verbände. Eine Ursache dafür könnte die versauerungsbedingt behinderte Entkoppelung des Stickstoffkreislaufs sein (DURKA & SCHULZE 1992, BEIERKUHNEIN & DURKA 1993). Die Sulfatgehalte unterscheiden sich hingegen kaum zwischen *Caricetum* und *Chrysosplenietum*.

Die Waldquellen des Frankenwaldes werden durch hydrochemische, mikrometeorologische und vegetationskundliche Untersuchungen charakterisiert. Im Mittelpunkt steht die Frage, welche Umweltvariablen die Artenzusammensetzung von Waldquellen beeinflussen. Es zeigt sich, dass unter den heutigen Bedingungen nicht, wie natürlicherweise zu erwarten, der Lichthaushalt, sondern das wasserchemische Regime als dominierende Variable der Artenzusammensetzung anzusehen ist (BEIERKUHNEIN 1993, BEIERKUHNEIN & GRÄSLE 1998). Zahlreiche Quellen weisen nicht mehr Quellflugesellschaften der *Montio-Cardaminetea* sondern zu den *Caricetea fuscae* zu stellende Niedermoorgesellschaften auf.

Das Auftreten ganzjährig stark saurer Quellwässer ist auf die Hochlagen im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes begrenzt. Unter vergleichbaren orographischen, petrographischen, klimatischen und forstwirtschaftlichen Rahmenbedingungen finden sich in anderen Teilgebieten noch höhere pH-Werte. Daher wird diese Erscheinung als Resultat lokaler Immissionsbeeinflussung durch saure Depositionen gewertet. Da gezeigt werden kann, dass die Quellflurvegetation sensibel auf den Wasserchemismus reagiert, kann sie folglich auch als Indikationsinstrument der Säurebelastung von Einzugsgebieten angesehen werden (BEIERKUHNEIN 1993, 1996).

## Literatur

- AUDORFF, V. & BEIERKUHNEIN, C. (1999): Versauerung und Stoffausträge aus Quelleinzugsgebieten. In: BEIERKUHNEIN, C., GOLLAN, T. (Hrsg.): Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa, Bayreuther Forum Ökologie 71, S. 103-117
- BARKMAN, J. J. (1968): Das synsystematische Problem der Mikrogesellschaften innerhalb der Biozönosen. In: TÜXEN, R. (Hrsg.): Pflanzensoziologische Systematik, Ber. Intern. Sympos. IVV Stolzenau/Weser (1964), S. 21-48
- BEIERKUHNEIN, C. (1991): Räumliche Analyse der Stoffausträge aus Waldgebieten durch Untersuchung von Waldquellfluren. In: Die Erde 122, S. 291-315
- BEIERKUHNEIN, C. (1993): Waldquellfluren - ein Beitrag zum Monitoring von Umweltbelastungen im Frankenwald. In: BARSCH, D., KARRASCH, H. (Hrsg.): Geographie und Umwelt., Verh. d. Deutschen Geographentages, Bd. 48, Basel (1991), S. 214-219
- BEIERKUHNEIN, C. (1995): Florenveränderungen durch Immissionseinflüsse - Pflanzengeographische Analyse der Vegetation von Waldquellen. In: Artenschutzreport 5, S. 34-43
- BEIERKUHNEIN, C. (1996): Biomonitoring mit Quellen der silikatischen Mittelgebirge. In: Cru-noecia 5, S. 141-151
- BEIERKUHNEIN, C. (1999a): Quellflugesellschaften an helokrenen Waldquellen der silikatischen Mittelgebirge. In: BEIERKUHNEIN, C., GOLLAN, T. (Hrsg.): Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa, Bayreuther Forum Ökologie 71, S. 143-154

- BEIERKUHNLEIN, C. (1999b): Vegetation der Waldquellfluren im Frankenwald. In: BEIERKUHNLEIN, C., GOLLAN, T. (Hrsg.): Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa, Bayreuther Forum Ökologie 71, S. 155-172
- BEIERKUHNLEIN, C., DURKA, W. (1993): Beurteilung von Stoffausträgen immissionsbelasteter Waldökosysteme Nordostbayerns durch Quellwasseranalysen, Forstwiss. Cbl. 112, S: 225-239
- BEIERKUHNLEIN, C., GRÄSLE, W. (1998): The influence of light regime and water chemistry on the structure of forest spring vegetation. In: BOTOSANEANU, L. (ed.) Studies in crenobiology: the biology of springs and springbrooks, p. 9-22, Backhuys Publishers, Leiden
- BEIERKUHNLEIN, C., MILBRADT, J., TÜRK, W. (1991): Vegetationsskizze von Oberfranken. In: Bayreuther Bodenkundliche Berichte 17, S. 41-65
- BEIERKUHNLEIN, C., TÜRK, W. (1991): Die Naturräume Oberfrankens und angrenzender Gebiete. In: Bayreuther Bodenkundliche Berichte 17, S. 1-10
- DANNAPFEL, M. (1991): Kurzer Abriß der Geologie von Oberfranken. In: Bayreuther Bodenkundliche Berichte 17, S. 11-19
- DURKA, W., SCHULZE, E.-D. (1992): Hydrochemie von Waldquellen des Fichtelgebirges. In: Z. Umweltchem. Ökotox. 4, S: 217-226
- EIDEN, R. (1991): Die klimatische Situation Oberfrankens. In: Bayreuther Bodenkundliche Berichte 17, S. 27-39
- V. GELDERN-CRISPENDORF, G. (1930): Kulturgeographie des Frankenwaldes. In: Dissertation, Universität Halle-Wittenberg
- GUTTE, P., HEMPEL, W., MÜLLER, G., WEISE, G. (1965): Vegetationskundlicher Überblick Sachsens. In: Ber. Arbeitsgem. sächs. Botaniker N.F. 5/6, S. 348-430
- HINTERLANG, D. (1992a): Vegetationsökologie der Weichwasserquellgesellschaften zentral-europäischer Mittelgebirge. In: Crunoecia 1, S. 124
- HINTERLANG, D. (1992b): Vegetationsökologische Aspekte der Weichwasser-Quellgesellschaften zentraleuropäischer Mittelgebirge unter besonderer Berücksichtigung der Synsystematik. In: Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft 4, S. 105-121
- V. HORSTIG, G., STETTNER, G. (1976): Geologische Karte von Bayern 1:25.000. Erläuterungen zu Blatt 5735 Schwarzenbach am Wald. Bayerisches Geol. Landesamt, München, S. 61
- HÜSER, K. (1991): Oberfranken: ein geomorphologischer Dreitakt aus Grundgebirge, Bruchschollenzonen und Grundgebirge. In: Bayreuther Bodenkundliche Berichte 17, S. 21-26
- KÄSTNER, M. (1938): Die Pflanzengesellschaften der Quellfluren und Bachufer aus dem Verband der Schwarzerlen-Gesellschaften. In: Veröff. Landesver. sächs. Heimatschutz 1938, S. 69-118, Dresden (aus KÄSTNER, M., FLÖSSNER W., UHLIG, J.: Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes. Teil IV)
- KLEBER, A. (1992): Periglacial slope deposits and their pedogenic implications in Germany. In: Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 99, p. 361-372
- KLEBER, A. (2004): Lateraler Wasserfluss in Hangsedimenten unter Wald. In: LORZ, C. & HAASE, D. (Hrsg.), Stoff- und Wasserhaushalt in Einzugsgebieten. Beiträge zur EU-Wasserrahmenrichtlinie, Springer Verlag, Berlin u. a. (= Geowiss. u. Umwelt 12), S: 7-22
- KLEBER, A., SCHELLENBERGER, A. (1998): Slope hydrology triggered by cover-beds. With an example from the Frankenwald Mountains, Northeastern Bavaria. In: Z. f. Geomorph. N.F. 42, p. 469-482

- KLEBER, A., SCHELLENBERGER, A. (1999): Hydrogeologische Verhältnisse eines Quelleinzugsgebiets im Frankenwald. In: Bayreuther Forum Ökologie 71, S. 17-25
- KLEBER, A., LINDEMANN, J., SCHELLENBERGER, A., BEIERKUHNEIN, C., KAUPENJOHANN, M. PEIFFER, S. (1998): Slope deposits and water paths in a spring catchment, Frankenwald, Bavaria, Germany. In: Nutrient Cycling in Agroecosystems 50, p. 119-126
- LANGE, E., SCHLÜTER, H., GRINGMUTH-DALLMER, E. (1978): Zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte des Frankenwaldes. In: Flora 167, S. 81-102
- LINDEMANN, J. (1997): Quantifizierung biogeochemischer Eisen- und Sulfat-Umsetzungen in einem Quellmoor und deren Beitrag zur Säureneutralisierung in einem Einzugsgebiet des Frankenwaldes. In: Diss. Univ. Bayreuth, Bayreuther Forum Ökologie 51, S. 1-271
- MARTIN, E. (1925): Die Benennung und die Umgrenzung des Frankenwaldes. In: Frankenwald 1, S. 158-160 und 182-183
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J., GELLERT, J., NEEF, E., MÜLLER-MINY, H., SCHULTZE, H.J. (Hrsg.) (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. In: Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg
- NIEMANN, E., HEINRICH, W., HILBIG, W. (1973): Mädesüß-Uferfluren und verwandte Staudengesellschaften im hercynischen Raum. In: Wiss. Z. Friedr.-Schiller Univ. Jena, Math.-Nat. R. 22(3/4), S. 591-635
- PHILIPPI, G., OBERDORFER, E. (1977): Klasse: Montio-Cardaminetea Br.-Bl. et Tx. 43. Quellflurgesellschaften und Waldsümpfe. In: OBERDORFER, E. (Hrsg.): Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Bd.I, S. 199-213
- ROLL, H. (1941): Quellvegetation und Pflanzensoziologie. In: Forschungen und Fortschritte 17, S. 102-103
- SCHELLENBERGER, A. (1996): Der Einfluss des oberflächennahen Untergrundes auf den Wasserhaushalt eines Quelleinzugsgebietes im Frankenwald. In: Unveröff. Diplomarbeit, Univ. Bayreuth, Lehrstuhl f. Geomorphologie, S. 136
- SCHLUND, J. (1931): Der Frankenwald: Name und seine Grenzen. In: Frankenwald 7, S. 17-22
- TÜXEN, R. (1937): Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. In: Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem, Niedersachsen 3, S. 1-170
- WILSON, E. O. (1984): Biophilia. The human bond with other species. In: Harvard University Press