

Kapitel 13

Vegetation der Waldquellfluren im Frankenwald

Carl Beierkuhnlein

1. Einführung

Im Frankenwald (Nordost-Bayern) wurden 424 Waldquellfluren pflanzensoziologisch bearbeitet, um die Auswirkungen der Gewässerversauerung auf diesen ansonsten menschlich sehr wenig beeinflussten Biotoptypus zu untersuchen. Zusätzlich zu den Vegetationsaufnahmen wurden hydrochemische Beprobungen der Quellwässer vorgenommen (BEIERKUHNLEIN 1991, 1993, 1994).

Der Frankenwald muss als das am wenigsten montan getönte Mittelgebirge der hier vorgestellten Landschaften angesehen werden. Er wird als südlicher Abschnitt des Thüringisch-Fränkischen Schiefergebirges überwiegend von schwach metamorphen Tonschiefer-Serien des Unterkarbon, vielfach in Wechsellagerung mit Grauwacken, Lyditen und Quarziten aufgebaut (HORSTIG 1966). Das sich heute bietende Landschaftsbild ist das Ergebnis einer im Pleistozän einsetzenden Erosionsphase, in deren Verlauf eine pliozäne Rumpffläche von engen, steilwandigen Kerb- und Kerbsohlentälern zerschnitten wurde (EMMERT & HORSTIG 1972). Die Reste der Rumpffläche bestimmen das schwach wellige Relief der Frankenwaldhochfläche mit Höhenlagen zwischen 500 und 730 m ü.NN. Sie wird nur von vereinzelt Kieselschiefer- und Quarzithärtlingen überragt (Döbra 798 m ü.NN., Wetzstein 792 m ü.NN.).

In den spätpleistozän entstandenen Solifluktsdecken, die den größten Teil des Frankenwaldes überziehen, entwickeln sich im allgemeinen flach- bis mittelgründige, saure Braunerden, die kaum zur Podsolierung neigen (SPIES 1991). In Muldenlagen der Hochflächen werden diese z. T. von Pseudogley-Braunerden, in Unterhangbereichen der steil eingeschnittenen Täler lokal von Hang- und Quellgleyen sowie von Pseudogleyen abgelöst (RÜCKERT 1966). Die Tonschiefergesteine liefern also durchaus nicht zu saures Verwitterungsmaterial, was sich auch an den zahlreichen Basenzeigern der Vegetation deutlich macht und in der potentiell natürlichen Vegetation widerspiegelt.

Aufgrund der tonreichen, hydrologisch dichten Gesteine ist die Grundwasserführung weitgehend auf die Solifluktsdecken konzentriert. Dies begünstigt besonders im Bereich der Talhänge das Entstehen zahlreicher Quellen mit sehr kleinen Einzugsgebieten und geringer bis mäßiger Schüttung. Einzelne außergewöhnlich stark schüttende Quellen sind auf Kluftsysteme im Bereich der Verwerfungszonen beschränkt, die den Frankenwald in herzynischer Richtung durchziehen (APEL 1982).

Mit mittleren Jahresniederschlägen, die von ca. 850 mm am Westrand auf über 1000 mm im Bereich der Wasserscheide ansteigen und sich mit nur schwach ausgeprägten Sommer- und Wintermaxima ziemlich gleichmäßig über das Jahr verteilen sowie mit kühlen Sommern und mäßig kalten Wintern besitzen die mainisch entwässernden Teile des Frankenwaldes ein atlantisch getöntes Klima. Dagegen weist die Nordostabdachung infolge eines ausgeprägten

Lee-Effektes deutlich kontinentalere Züge auf, was vor allem in dem raschen Rückgang der Niederschläge auf ca. 700 mm/a zum Ausdruck kommt (SPIES 1991).

Mit fast 60 % Waldanteil ist der Frankenwald eine der walddreichsten Landschaften Nord-Bayerns. Als potentielle natürliche Vegetation sind größtenteils montane Hainsimsen-Buchenwälder (*Luzulo-Fagetum*), auf basenreicheren Standorten auch Waldmeister-Buchenwälder (*Galio-Fagetum*) anzunehmen, in welchen Tanne und Bergahorn eine große Rolle spielen (ZEIDLER 1953, LANGE et al. 1978). Diese zonalen Laubmischwälder sind heute weitgehend durch Fichtenreinbestände ersetzt; dagegen sind die Ahorn-Eschenwälder steiler Unterhänge noch vielerorts anzutreffen. Während die Hanglagen des Frankenwaldes auch heute noch eine geschlossene Waldbedeckung aufweisen, unterliegen die Hochflächen und Talböden landwirtschaftlicher Nutzung.

Das Gebiet zeichnet sich in erster Linie durch seine Homogenität aus. Diese betrifft vor allem die Gesteine und mithin die dominierenden Tonschiefer-Wechsellagerungen des Unterkarbon. Die Homogenität betrifft aber auch die Reliefformung, denn die ausgeprägten Rumpfflächen des Frankenwaldes, welche ihm den Charakter einer Hochfläche verleihen, sind das auffallendste Landschaftsmerkmal. Sehr ähnlich ist auch die Bodenbildung, die stark durch das Auftreten pleistozäner Fließerdedecken bestimmt wird.

2. Charakterisierung der Quellstandorte des Frankenwaldes

Besonders häufig treten Quellen im Bereich von Ober- und Mittelhängen mit Neigungen zwischen 15° und 30° auf, seltener an Unterhängen oder in den Randbereichen der Hochflächen. Daher sind die meisten Quellen des Frankenwaldes Waldquellen. Die Mehrzahl der untersuchten Quellfluren liegt in etwa 5 bis 20 Meter breiten, mehr oder weniger deutlich eingetieften Quellmulden. Seltener sind Quellen in engen Runsen, bei denen es darüberhinaus meist nicht zur Entwicklung einer wohl ausgebildeten Quellflur kommt.

Die Quellfluren selbst stellen überwiegend scharf abgegrenzte Vegetationseinheiten von elliptischer bis kreisförmiger Gestalt dar. Nur in Plateaulagen treten auch diffuse, bisweilen weitläufige Quellsümpfe auf. Die Begrenzung der Quellflurvegetation deckt sich mit einer markanten morphologischen Trennlinie, an der die Bodenoberfläche von dem umgebenden Waldboden zur Quellflur sprungartig um bis zu 20 cm abfällt.

Mit ihren Ausdehnungen von nur 10 bis 100 m² (selten bis 500 m²) und scharfen Grenzen unterscheiden sich die Quellfluren des Frankenwaldes morphologisch deutlich von den ausgedehnten, diffusen Quellen, die von verschiedenen Autoren (z. B. MAAS 1959, ROLL 1939, 1940) aus den Niederlanden und aus Norddeutschland beschrieben wurden. Als Ursache dafür ist neben den z. T. erheblich abweichenden petrographischen Verhältnissen vor allem die höhere Reliefenergie im Mittelgebirgsraum anzusehen, die über verstärkte lineare Erosionsdynamik zur Eintiefung und damit auch zur Konzentration der Quellbereiche auf kleinere, schärfer begrenzte Flächen führt. Die Schüttungsdynamik der Quellen des Frankenwaldes ist fast immer von rein helokrenem Typ. Ihre Ergiebigkeit unterliegt starken, witterungsabhängigen Schwankungen innerhalb weniger Tage.

3. Gesellschaften der Waldquellen des Frankenwalds

Die soziologische Interpretation der ausgeschiedenen Einheiten basiert in erster Linie auf 421 Aufnahmen die bei BEIERKUHNLEIN (1994) in Form von Tabellen veröffentlicht sind.

3.1. *Platyhypnidio-Fontinaletea antipyreticae*

3.1.1. *Scapanietum undulatae*

Im Quellbereich findet eine enge Verzahnung der eigentlichen Quellflurvegetation mit hypokrenalen Kryptogamengesellschaften der beschatteten Quellbäche statt. Sie sind durch das hochstete Auftreten des Lebermooses *Scapania undulata* gekennzeichnet. Auffallend ist, dass den 10 Beständen des Frankenwaldes welche zu den Moosgesellschaften der *Platyhypnidio-Fontinaletea* und dort zum *Scapanietum undulatae* gestellt werden, sowohl Arten der *Montio-Cardaminetea*, wie auch der *Caricetea fuscae* nahezu völlig fehlen. Die einzige Kennart *Scapania undulata* tritt höchstet in Erscheinung. Allerdings sollte diese Art die Bestände dominieren, was nicht erkennbar ist. Auch sind die für die charakteristische Artenkombination bedeutsamen Moose *Brachythecium rivulare* und *Chiloscyphus polyanthus* nicht besonders häufig. Lediglich *Allium ursinum* zeigt eine gewisse Häufung. Es ist zu erwarten, dass die Gesellschaft auch in anderen Beständen auftritt, dort aber nur auf kleiner Fläche mosaikartig entlang von Rinnsalen eingegliedert ist.

3.2 *Montio-Cardaminetea*

Die eukrenalen Gesellschaften der *Montio-Cardaminetea*, der eigentlichen Quellfluren im pflanzensoziologischen Sinn, nehmen den größten Teil der untersuchten Bestände ein. Zwei Gesellschaften werden unterschieden, von welchen die zuerst behandelte Assoziation, das *Caricetum remotae*, als kennartenarme Zentralassoziation aufzufassen ist. Ihr schließt sich das *Chrysosplenietum oppositifolii* an.

Die Klassencharakterarten der *Montio-Cardaminetea* *Cardamine amara*, *Brachythecium rivulare*, *Rhizomnium punctatum* und *Stellaria alsine* (= *S. uliginosa*) sind zahlreich vertreten. Hinzu treten *Senecio fuchsii*, *Plagiomnium undulatum*, *Plagiomnium affine*, *Ranunculus repens*, *Carex remota*, *Lysimachia nemorum*, *Crepis paludosa* und *Galium palustre*. Auch die in allen Quellfluren des Frankenwalds verbreiteten Arten *Dryopteris dilatata*, *Athyrium filix-femina*, *Oxalis acetosella*, *Mnium hornum* und *Pellia epiphylla* zeigen hohe Stetigkeit.

Die im Frankenwald sehr verbreitete *Stellaria uliginosa*, bei PHILIPPI & OBERDORFER (1977) Verbandscharakterart des *Cardamino-Montion* Br.-Bl. 25, wird von HINTERLANG (1992a) nur als Differentialart angesehen. Damit scheint klar, dass die Waldquellen des Frankenwalds nicht dem *Cardamino-Montion* zugeordnet werden können.

Entscheidend für die untersuchten Waldquellfluren ist daher die Ordnung *Cardamino-Chrysosplenietalia* Hinterlang 92. Hierhin sind die beschatteten Quellfluren zu stellen. Moose spielen an diesen Quellen zwar eine geringe Rolle bezüglich der Dominanzverhältnisse, treten jedoch artenreich und, beschattet von anderen Schichten, teilweise mit erheblichen Deckungs-

werten in Erscheinung. Der einzige Verband, das *Caricion remotae*, umfaßt lediglich zwei Gesellschaften, das *Caricetum remotae* und das *Chrysosplenietum oppositifolii*.

Floristische Beziehungen des *Caricion remotae* bestehen zu Auwäldern des *Alno-Ulmion* mit den Verbandscharakterarten *Stachys sylvatica*, *Festuca gigantea*, *Plagiomnium undulatum*, *Chrysosplenium alternifolium* und *Equisetum sylvaticum*, stärker noch zum Unterverband *Alnenion glutinosae-incanae*, der Assoziationsgruppe der kollinen und montanen Bach-Eschenwälder.

3.2.1. *Caricion remotae*-Basalgesellschaft

Zu dieser Einheit werden 13 Bestände gestellt, welche nicht eindeutig einer der beiden Gesellschaften des *Caricion remotae* zugeordnet werden können. Die Aufnahmen sind relativ artenarm (durchschnittlich 17 Arten). Floristisch verarmte Gesellschaften stellen heute ein weit verbreitetes Problem pflanzensoziologischen Arbeitens dar. Im Rahmen der Versauerungsproblematik ist zu erwarten, dass durch den Ausfall einzelner Charakterarten lediglich Basalgesellschaften anzutreffen sind. Es kann sich neben verarmten aber auch um unausgereifte Bestände handeln.

3.2.2 *Caricetum remotae*

Zahlenmäßig nehmen die Bestände des *Caricetum remotae* nur eine untergeordnete Rolle ein. Lediglich 23 Aufnahmen konnten dieser Gesellschaft zugeordnet werden, die als Zentralassoziation des *Caricion remotae* anzusehen ist. Das *Caricetum remotae* gilt als schattenertragend (MAAS 1959). Auch PHILIPPI & OBERDORFER (1977) heben hervor, dass die Gesellschaft wegen des geringen Lichtangebots nicht von Hochstauden überwuchert wird. Selbst wenn *Chrysosplenium oppositifolium* fehlt, so sind doch dessen Begleitarten aus den Buchenwäldern wie *Lamium galeobdolon*, *Stachys sylvatica* oder *Festuca altissima* noch stark vertreten. *Plagiochila asplenioides* besitzt in den untersuchten Beständen dieser Gesellschaft einen deutlichen Schwerpunkt.

Die Mooschicht kann mit durchschnittlich 48 % bemerkenswerte Deckungswerte erreichen. Dies steht nicht unbedingt im Gegensatz zu der Aussage KÄSTNERS (1942): "Moose treten stark zurück, denn sie leben in der Hauptsache unter dem Geblätt der Laubschicht", denn die Tatsache, dass die Moose von höherwüchsigen Pflanzen überdeckt werden und daher nicht aspektbestimmend in Erscheinung treten, bedeutet nicht, dass sie geringe Deckung besitzen. Hohe Stetigkeit zeigen in dieser Gesellschaft vor allem *Rhizomnium punctatum* und *Pellia epiphylla*. Eigene Charakterarten fehlen der Gesellschaft. Sie ist nur durch Ordnungs- bzw. Verbandscharakterarten sowie negativ durch das Fehlen von *Chrysosplenium oppositifolium* gekennzeichnet. Auch *Chrysosplenium alternifolium* fehlt der Gesellschaft zumeist. *Chrysosplenium oppositifolium* tritt zwar in einigen Aufnahmen des *Caricetum remotae* bei KÄSTNER (1942) auf und erreicht auch in dem von OBERDORFER (1957) beschriebenen synonymen *Cardaminetum flexuosae* hohe Stetigkeit. Die heutige Auffassung (HINTERLANG 1992a) folgt aber SCHWICKERATH (1944), welcher nur die Bestände ohne *Chrysosplenium* hier einordnet.

In den Quellfluren des Frankenwalds treten *Lysimachia nemorum* und *Carex remota*, welche in dieser Assoziation ihren Schwerpunkt besitzen, zwar häufig zusammen auf, aber nur selten ohne *Chrysosplenium oppositifolium*, wie das für das *Caricetum remotae* zu fordern wäre. SCHWICKERATH (1944) stellt heraus, dass im *Caricetum remotae* *Chrysosplenium oppositifolium* und *Cardamine amara* nur spärlich vorkommen. Hingegen sei gerade hier das Auftreten von *Impatiens noli-tangere*, *Stellaria nemorum* und *Lysimachia nemorum* zu erwarten. Dies kann, mit Ausnahme von *Lysimachia nemorum*, wiederum aus den vorliegenden Aufnahmen nicht bestätigt werden. Nach HINTERLANG (1992a) sind die beiden Verbandscharakterarten des *Caricion remotae*, *Lysimachia nemorum* und *Cardamine flexuosa*, hier im Optimum. *Carex remota* ist auch tatsächlich immer eng mit *Lysimachia nemorum* vergesellschaftet. *Cardamine flexuosa* hingegen, die auch als lokale Charakterart der Gesellschaft angesehen wird (PHILIPPI & OBERDORFER 1977), tritt kaum in Erscheinung. Dies verwundert, da die Synonyma *Cardamine amara-flexuosa*-Gesellschaft Phil. et Oberd. 77, *Carici remotae-Cardaminetum flexuosae* (Kästn. 40) Oberd. 57 und *Cardaminetum flexuosae* Oberd. 57 die durchaus erhebliche lokale Bedeutung von *Cardamine flexuosa* andeuten. Es zeigt sich aber in jedem Fall die enge Verwandtschaft des *Caricetum remotae* mit dem *Chrysosplenietum oppositifolii*, wie dies auch schon für ältere Synonyma bzw. hierin heute enthaltene Gesellschaften herausgestellt wurde. So streicht OBERDORFER (1957) heraus, dass das *Cardaminetum flexuosae* dem *Cardamineto-Chrysosplenietum alternifolii* "recht nahe" steht. Auch die geographische Verbreitung beider Gesellschaften, des *Caricetum remotae* und des *Chrysosplenietum oppositifolii*, scheint sehr ähnlich zu sein (HINTERLANG 1992a, ZECHMEISTER & MUCINA 1994).

3.2.3 *Chrysosplenietum oppositifolii*

Die quantitativ bedeutsamste Gesellschaft der Waldquellfluren des Frankenwalds ist das *Chrysosplenietum oppositifolii*. Die weitaus größte Zahl der 421 ausgewerteten Aufnahmen ist dieser Assoziation zuzurechnen (n=253). Es handelt sich beim *Chrysosplenietum oppositifolii* um eine Gesellschaft mehr oder minder beschatteter kalkarmer Quellfluren, welche auch an feuchten, nur schwach durchsickerten Stellen auftreten kann. In allen Ausbildungen des *Chrysosplenietum* spielen die Klassencharakterarten der *Montio-Cardaminetea*, *Cardamine amara*, *Brachythecium rivulare*, *Rhizomnium punctatum* und *Stellaria uliginosa*, eine große Rolle. Auch *Senecio fuchsii*, *Plagiomnium undulatum*, *Plagiomnium affine*, *Ranunculus repens*, *Carex remota*, *Lysimachia nemorum*, *Crepis paludosa* und *Galium palustre* besitzen hohe Stetigkeit. Diagnostisch besonders bedeutsam ist jedoch das Auftreten der namensgebenden Art *Chrysosplenium oppositifolium*, welche nicht selten mehr als 50 % der Fläche bedeckt. Der pH-Wert der Quellwässer liegt durchschnittlich bei 6,3. Die Höhenverteilung des *Chrysosplenietum* zeigt sich annähernd normalverteilt mit einem Maximum der Aufnahmen bei etwa 550 m ü.NN. Mit abnehmender Höhenlage, d.h. vor allem unterhalb 500 m ü.NN, werden Quellen im Frankenwald orographisch bedingt allgemein immer seltener. Oberhalb 600 m ü.NN treten zwar noch zahlreiche Quellen auf, das *Chrysosplenietum* wird dort aber zunehmend durch das *Caricetum fuscae* ersetzt (Abb. 13.1).

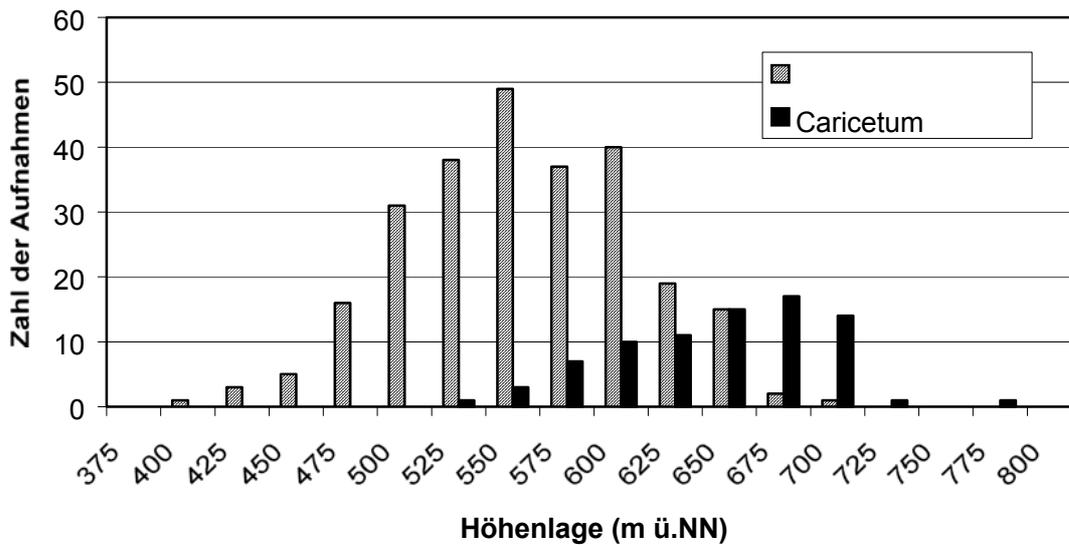


Abb. 13.1: Höhenverteilung der Aufnahmen der beiden häufigsten Assoziationen der Quellfluren des Frankenwaldes, dem *Chrysosplenietum oppositifolii* und dem *Caricetum fuscae*

Es können verschiedene Subassoziationen und Varianten des *Chrysosplenietum* erkannt werden. Sie werden im folgenden diskutiert. Die Untergliederung in die Subassoziationen *typicum* und *cardaminetosum amarae* erfolgt in Anlehnung an PHILIPPI & OBERDORFER (1977), sie sollte jedoch kritisch überprüft werden. Innerhalb der Subassoziation *typicum* wird neben einer typischen Variante eine Variante von *Lunaria rediviva* ausgeschieden. Beide zeigen enge Bezüge zum *Caricetum remotae*. Die Subassoziation *cardaminetosum amarae* macht das Gros der Aufnahmen der Gesellschaft aus. Sie wird in 5 Varianten untergliedert (typische Variante, Variante von *Sphagnum fallax*, von *Galium odoratum*, von *Urtica dioica* und von *Chaerophyllum hirsutum*), von welchen teilweise noch Ausbildungen unterschieden werden können.

3.2.4. *Chrysosplenietum oppositifolii typicum*

Direkt an das *Caricetum remotae* schließt sich mit 27 Aufnahmen das *Chrysosplenietum oppositifolii typicum* an. Auffallend ist in den beiden ausgeschiedenen Varianten die geringe Artenzahl (durchschnittlich 17 bzw. 18 Arten) sowie die starke Beschattung. Der pH-Wert liegt, wie im gesamten *Chrysosplenietum*, durchschnittlich über 6. Das *Chrysosplenietum oppositifolii typicum* ist über das gesamte Höhenspektrum des *Chrysosplenietum oppositifolii* verbreitet.

Typische Variante

In Laubwaldgebieten finden sich, bedingt durch die Phänologie und Wuchsform der Buche, d.h. durch die starke Beschattung während der Vegetationsperiode, Quellen mit insgesamt geringer Vegetationsdecke. Die typische Variante des *Chrysosplenietum oppositifolii typicum*, welcher 17 Aufnahmen zugerechnet wurden, zeichnet sich floristisch durch das Fehlen differenzierender Arten aus und nimmt daher eine zentrale Stellung ein. *Brachythecium rivulare* und *Plagiomnium*

affine sind auffallend geringer am Gesellschaftsaufbau beteiligt als in anderen Ausbildungen des *Chrysosplenietum*. Vor allem *Cardamine amara* besitzt nur eine sehr geringe Stetigkeit. *Lysimachia nemorum*, *Pellia epiphylla* und *Galium palustre* fehlen, *Oxalis acetosella* und *Mnium hornum* sind sehr selten. Im Jahresverlauf kommt es wegen des Lichtmangels nicht zur Ausbildung einer oberen Krautschicht mit *Chaerophyllum hirsutum* oder *Impatiens noli-tangere*.

Moose scheinen besonders stark durch die mechanische Einwirkung der Überdeckung durch in die Quellmulden eingetragene Laubstreu beeinträchtigt zu werden. Die Artenvielfalt wird dadurch negativ beeinflusst. In Laubwaldgebieten erfolgt mit dem Wind ein Eintrag von Laubstreu in Vertiefungen, wie sie vor allem die helokrenen Quellen darstellen. Dort stellt dieses Laub eine starke Beeinträchtigung des Wachstums niedrigwüchsiger Arten dar. Außerdem wirkt sich der hohe Streueintrag auf die Bodenbildung im Quellbereich aus, wie dies auch von ROLL (1941) bemerkt wird: "... der ganze weiche Grund, der zumeist aus Laub umgebender Bäume aufgebaut ist ..."

Variante von *Lunaria rediviva*

Diese Ausformung (8 Aufnahmen) des *Chrysosplenietum oppositifolii typicum* ist wie die typische Variante, durch die geringe Beteiligung von *Cardamine amara*, *Plagiomnium affine*, *Impatiens noli-tangere*, *Chaerophyllum hirsutum* gekennzeichnet. Sie tritt vor allem in Situationen auf, in welchen *Lunaria rediviva* an frischen, gut basenversorgten Unterhängen in der umgebenden Laubvegetation eine große Rolle spielt. *Dentaria bulbifera* und *Geranium robertianum* zeigen eine gewisse Bindung an diese Variante. Die untersuchten Wässer sind neutral bis basenreich ($5,9 < \text{pH} < 7,7$). Die von den Beständen besiedelten Höhenlagen bewegen sich zwischen 450 und 550 m ü.NN.

3.2.5. *Chrysosplenietum oppositifolii cardaminetosum amarae*

Diese nach *Cardamine amara* benannte Subassoziation wurde von PHILIPPI & OBERDORFER (1977) wegen der hohen Stetigkeit von *Cardamine amara* in artenreicheren Ausbildungen des *Chrysosplenietum* ausgeschieden. Auch wenn es als wenig glücklich erscheint, eine Klassencharakterart als Differentialart für eine Subassoziation einzusetzen, soll diese Benennung zunächst übernommen werden. Es sei aber darauf hingewiesen, dass zu prüfen ist, ob einzelne der hier vorgestellten Varianten nicht eher in den Rang einer Subassoziation gestellt werden sollten. Sie lassen sich im übrigen auch in der zusammenfassenden Darstellung HINTERLANGS erkennen. Auch sind sie ökologisch relativ gut zu interpretieren. Hier soll dennoch an der gültig beschriebenen Unterteilung in zwei Subassoziationen (*typicum* und *cardaminetosum amarae*) festgehalten werden. Zahlreiche der 227 Quellfluren der Subassoziation *cardaminetosum amarae* werden für einige Wochen des Jahres von *Impatiens noli-tangere* in ihrem Aspekt bestimmt. Auch die Typusaufnahme PHILIPPIS (1989) zum *Chrysosplenietum oppositifolii* (Tab. 12, Aufnahme 1 nach HINTERLANG 1992a) enthält *Impatiens noli-tangere* mit der Artmächtigkeit 2.

Variante von *Petasites albus*

Nicht selten sind wenig beschattete Waldquellfluren (Deckung der Baumschicht < 50 %) von *Petasites albus* völlig beherrscht (15 Aufnahmen). Als weitere charakterisierende Art tritt *Thalictrum aquilegiifolium* hinzu. *Chrysosplenium oppositifolium* beherrscht die untere Krautschicht. *Impatiens noli-tangere* und *Chaerophyllum hirsutum* sind unbedeutend. Die pH-Werte bewegen sich zwischen 5,8 und 7,7. Die erhöhten Eisen- (durchschnittlich 203 ppb bei n=6) und Aluminiumgehalte (durchschnittlich 111 ppb bei n=6) sind eventuell durch das Schüttungsverhalten zu erklären (BEIERKUHNEIN 1994).

Petasites albus wird als Differentialart für die Höhengestaltung des *Chrysosplenietum oppositifolii typicum* angesehen. Da im Frankenwald die hochmontane Stufe nicht erreicht wird, und auch innerhalb des Frankenwalds von den durch *Petasites albus* gekennzeichneten Quellfluren nicht die höchsten Lagen besiedelt werden (460 bis 570 m ü.NN), müssen andere Standortbedingungen als die Höhenlage für die Entwicklung der Bestände verantwortlich gemacht werden.

Petasites albus bildet innerhalb feuchter Saumgesellschaften eine eigene Fazies aus (im *Stachyo-impatiensetum noli-tangere*), kann aber auch eigenständige Bestände bilden (*Petasites albus*-Gesellschaft bei GÖTZ & RIEGEL 1989), welche im Frankenwald an Wegrändern zu finden sind. Dort fehlen *Cardamine amara* und *Chrysosplenium alternifolium*. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass die von *Petasites albus* besiedelten Quellen Standorte sind, an welchen die interflowgesteuerte - und starken Schwankungen im Jahresverlauf unterliegende - Schüttungsdynamik noch durch substratspezifische Eigenheiten modifiziert wird. *Petasites albus*-Fluren finden sich an Quellen mit hohem Grobschuttanteil. Es ist zu erwarten, dass sich sommerliche Trockenheit hier besonders bemerkbar macht, da nur wenig Feinsubstanz zur Wasserspeicherung zur Verfügung steht. Die Tatsache, dass die Art auch trockenere Stellen zu besiedeln vermag, unterstreicht die Hypothese, dass die Ausbildung der Gesellschaft durch stark schwankende Wasserversorgung und dem damit zusammenhängenden Ausfall von Konkurrenten gefördert wird.

Typische Variante

Die 30 dieser Einheit zugerechneten Beständen sind gekennzeichnet durch das gemeinsame, hochstete Auftreten von *Chrysosplenium oppositifolium* und *Impatiens noli-tangere*. Die sonst steten Begleiter mit Schwerpunkt in Buchenwäldern wie *Milium effusum* oder *Bromus benekenii* treten zurück. Eigene Differentialarten fehlen. Somit nimmt die Einheit eine zentrale Stellung innerhalb der Subassoziation ein. Die wasserchemischen Parameter entsprechen etwa den durchschnittlichen Standortbedingungen innerhalb des *Chrysosplenietum*. Die pH-Werte zeigen allerdings eine weite Spanne von 4,6 bis 7,1. Die Höhenlage der Bestände liegt zwischen 480 und 630 m ü.NN.

Variante von *Sphagnum fallax*

Diese artenreichen Bestände (durchschnittliche Artenzahl 32) zeigen starke Ähnlichkeit zu der bei HINTERLANG (1992a) aufgestellten Variante von *Sphagnum fallax*. *Dicranella palustris* hat einen Schwerpunkt in dieser Variante. Zahlreich vertreten sind bei den 24 Aufnahmen die Arten um *Sphagnum fallax*, welche auch das *Caricetum fuscae polytrichetosum* kennzeichnen (s.u.). Sie besitzen aber geringe Deckung und Stetigkeit. Besonders hervorzuheben ist das Zurücktreten von *Polytrichum commune*. Auch *Sphagnum fallax* besitzt nicht die Vitalität wie im *Caricetum fuscae*, erreicht aber bei hoher Stetigkeit mittlere Deckungswerte. Arten der Buchenwälder wie *Festuca altissima* und *Fraxinus excelsior* (Jungpflanzen) sind stark vertreten. Trotz des Auftretens zahlreicher acidophiler Arten sind die pH-Werte überraschend hoch. Der pH-Wert liegt durchschnittlich bei 6,1. Die mittlere Deckung der Baumschicht ist mit 43 % geringer als bei anderen Ausbildungen des *Chrysosplenietum*. Hochstauden spielen aber keine Rolle. Die mittlere Deckung der Mooschicht ist mit nahezu 50 % hoch. *Carex remota*, *Lysimachia nemorum*, *Crepis paludosa* und *Galium palustre* zeigen hohe Stetigkeit.

Es handelt sich hier nun tatsächlich um eine Höhenform des *Chrysosplenietum*. Die Spanne der Höhenlage bewegt sich zwischen 500 und 690 m ü.NN. Die mittlere Höhenlage (n=24) ist 572 m ü.NN. Es zeigen sich im Vergleich zu anderen Ausbildungen des *Chrysosplenietum* erhöhte Aluminiumgehalte (durchschnittlich 93 ppb bei n=10 im Vergleich zu 63 ppb bei n=115 für das *Chrysosplenietum* insgesamt). Die ökologische Übergangsstellung dieser Variante zwischen dem *Chrysosplenietum* und dem *Caricetum fuscae* wird in den Abbildungen 13.2 bis 13.5 deutlich. Damit zeigt sich, dass diese Einheit als Übergangsstadium aufzufassen ist, in dem noch Arten des *Chrysosplenietum* vorkommen, welches aber schon deutliche Versauerungserscheinungen zeigt. Dies würde auch die relativ hohen Artenzahlen erklären.

Variante von *Galium odoratum*

Die Ausbildung von Quellfluren des *Chrysosplenietum* mit *Galium odoratum* scheint für den Frankenwald besonders kennzeichnend zu sein. Insgesamt konnten 49 Aufnahmen dieser Einheit zugerechnet werden, sie ist also recht häufig. *Galium odoratum* und *Stachys sylvatica* sind in ihrem Vorkommen auf diese Variante des *Chrysosplenietum* konzentriert. Hinzu treten *Geranium robertianum*, *Bromus benekenii* und *Mercurialis perennis*. Häufig sind *Fagion*-Arten wie *Melica uniflora*, *Veronica montana* und *Carex sylvatica*. Eine Gruppe von Basenzeigern kennzeichnet die Bestände. Sie liegen in Misch- und Nadelwäldern an Quellen mit relativ hohen pH-Werten. Der pH-Wert sinkt im Jahresverlauf nicht unter 5,6. Häufiger liegt der minimale pH-Wert zwischen 6 und 7. Die Calciumgehalte sind relativ hoch. Keine der Quellfluren liegt höher als 600 m ü.NN. Zwei Ausbildungen dieser Variante können unterschieden werden, eine typische und eine von *Veronica montana*.

Variante von *Urtica dioica*

Eng schließt sich an die vorher besprochene Einheit die Variante von *Urtica dioica* an. *Urtica dioica*, eine Ordnungsdifferentialart der *Cardamino-Chryso-splenietalia*, besitzt an Waldquellen einen natürlichen Standort. Die hier vorgestellte nur unscharf abzugrenzende Einheit lässt sich in eine typische Ausbildung und eine Ausbildung von *Chryso-splenium alternifolium* untergliedern. Die Nitratgehalte dieser 33 Quellen liegen leicht über jenen der anderen Ausbildungen des *Chryso-splenietum*, aber noch unter jenen des *Caricetum fuscae*. Die pH-Werte zeigen sehr starke Streuung und bewegen sich zwischen 4,8 und 7,5. Werte über 7 sind nicht selten. Der Schwerpunkt der Bestände liegt deutlich unter 600 m ü.NN.

Variante von *Chaerophyllum hirsutum*

Die Variante von *Chaerophyllum hirsutum* wird im Frankenwald durch 76 Aufnahmen gestützt und nimmt somit eine gewichtige Stellung ein. Unter dem Dach der oberen, von *Chaerophyllum* dominierten Krautschicht, welche in der Regel mehr als 75 % der Fläche deckt, entwickelt sich *Chryso-splenium oppositifolium* mit erhöhter Vitalität. *Lophocolea bidentata* hat in dieser Einheit einen deutlichen Schwerpunkt. *Caltha palustris* tritt regelmäßig in Erscheinung und zeigt die vermittelnde Stellung der Einheit zum *Calthion*. Auffallend ist die hohe Stetigkeit von *Crepis paludosa*, ebenfalls ein Pendant zu den Gesellschaften mit *Chaerophyllum* aus dem *Calthion* und *Filipendulion*. Eine breite Spanne wasserchemischer Bedingungen wird von Beständen dieser Variante toleriert. Die pH-Werte bewegen sich zwischen 4,5 und 7,6. Ähnlich unterschiedlich sind die eingenommenen Höhenlagen (430 bis 670 m ü.NN). Der Lichtfaktor scheint für die Bildung dieser Variante entscheidend zu sein. Die Deckung der Baumschicht liegt im Mittel bei weniger als 50 %.

Es ist zu prüfen, ob diese Variante nicht als Subassoziation anzusehen ist. *Chaerophyllum hirsutum* grenzt die weniger stark beschatteten Quellfluren gut ab. Die Art hat zudem einen deutlichen Schwerpunkt außerhalb der *Montio-Cardaminetea*, vor allem im *Filipendulion*, *Calthion* und *Aegopodion*, und ließe sich daher gut als Differentialart verwenden. Neben einer typischen Ausbildung können Ausbildungen von *Chryso-splenium alternifolium* und von *Impatiens noli-tangere* erkannt werden. Die typische Ausbildung der Variante von *Chaerophyllum hirsutum* vermittelt zu den im folgenden beschriebenen Grünland-Gesellschaften.

3.3 *Molinio-Arrhenatheretea*

3.3.1 *Geranio sylvatici-Chaerophylletum hirsuti*

In einer Übergangsstellung zwischen den Beständen der *Cardamino-Chryso-splenietalia* und jenen des *Caricetum fuscae polytrichetosum* (s.u.) findet sich eine Gruppe von 21 Aufnahmen, in welchen *Chryso-splenium oppositifolium* fehlt, *Carex remota* und *Lysimachia nemorum* aber ebenfalls zurücktreten und *Chaerophyllum hirsutum* hohe Stetigkeit und Deckungswerte erreicht. Zwar erreichen Arten der *Montio-Cardaminetea* wie *Brachythecium rivulare*, *Cardamine amara* oder *Rhizomnium punctatum* noch hohe Stetigkeit, sie besitzen aber insgesamt ein zu breites Gesellschaftsspektrum, um eine Zuordnung der Bestände zu den *Montio-Cardaminetea* zu rechtfertigen. Arten des *Caricetum fuscae polytrichetosum* treten bereits stärker in

Erscheinung. *Juncus effusus*, *Agrostis canina* und *Agrostis stolonifera* sind häufig, rechtfertigen noch keine Zuordnung zum *Caricetum fuscae*. Die Einheit zeichnet sich durch ihren Reichtum an Wiesenarten aus. *Myosotis nemorosa*, *Ajuga reptans* oder *Cirsium palustre* besitzen hohe Stetigkeit. *Caltha palustris*, *Caltha minor*, *Equisetum palustre* und *Valeriana dioica* sind nicht selten.

Das mittlere pH dieser Quellen liegt mit 6,1 noch relativ hoch angesichts der Tatsache, dass sie eher auf höhere Lagen (durchschnittliche Höhenlage 560 m ü.NN) konzentriert sind. Die Werte liegen damit allerdings unter den pH-Werten der Quellen des *Filipendulion*. Gegenüber den Beständen des *Chrysosplenietum* zeigen sich erhöhte Aluminiumgehalte (93 ppb bei n=10 im Vergleich zu 63 ppb bei n=115). Die Eisengehalte sind im Vergleich aller Gesellschaften hier am höchsten. Bezüglich der Höhenlage ist festzuhalten, dass das *Geranio sylvatici-Chaerophylletum hirsuti* klar höhere Lagen besiedelt als das *Chaerophyllo hirsuti-Filipenduletum*.

3.3.2. *Scirpetum sylvatici*

An relativ großflächigen Quellbereichen mit geringer Neigung und daher wenig bewegtem Quell- bzw. Grundwasser findet man die Waldsimseflur. Die Assoziation ist nur schwach durch die Dominanz von *Scirpus sylvaticus* gekennzeichnet. Die Art konnte selten auch im *Chrysosplenietum* nachgewiesen werden. Sie erreicht dort aber nur geringe Deckungswerte. Für ein Auftreten der schwachen Assoziationscharakterart *Dactylorhiza majalis* sind die untersuchten Bestände wohl zu stark beschattet. Folgende Arten sind kennzeichnend: *Lythrum salicaria*, *Stachys palustris*, *Menyanthes trifoliata* und *Frangula alnus*. OBERDORFER (1983) stellt heraus, dass Übergänge zum *Caricetum fuscae* bestehen. In den untersuchten Flächen treten, ebenso wie im *Chaerophyllo-Filipenduletum* und im *Geranio-Chaerophylletum*, Arten des *Caricetum fuscae polytrichetosum* bereits in Erscheinung. Dennoch sind die pH-Werte, welche im Mittel bei 6,0 liegen, noch recht hoch. Die sechs dieser Einheit zugerechneten Bestände besitzen mit durchschnittlich 24 Arten eine mittlere Artenvielfalt. Die sehr geringe Deckung der Baumschicht ist durch die Großflächigkeit der Quellfluren bedingt und erklärt neben reliefbedingten Faktoren wohl am besten die Standorteigenschaften der Waldsimsefluren.

3.3.3. *Chaerophyllo hirsuti-Filipenduletum*

Dem *Chaerophyllo hirsuti-Filipenduletum* gehören 10 Aufnahmen an. *Filipendula ulmaria*, *Chaerophyllum hirsutum*, *Caltha palustris*, *Cirsium oleraceum* und *Crepis paludosa* sind charakteristisch, und *Equisetum palustre* besitzt hohe Stetigkeit. Hinzu treten *Lysimachia vulgaris*, *Caltha palustris*, *Rhynchospora squarrosus* und *Angelica sylvestris*. *Polygonum bistorta* und *Anthriscus sylvestris* fehlen. Das *Chaerophyllo-Filipenduletum* zeigt in den herzynischen Mittelgebirgen deutliche Beziehungen zum Cardaminion. Dies belegt unter anderem die von BALATOVA-TULACKOVA (1984) definierte Subassoziation *chrysosplenietosum oppositifolii*. Der durchschnittliche pH-Wert der Quellwässer dieser Gesellschaft ist mit 7,0 außerordentlich hoch. Die Höhenlage, welche von diesen Beständen besiedelt wird, ist relativ gering (unter 560 m ü.NN).

3.4 *Artemisietea vulgaris*

3.4.1 *Phalarido-Petasitetum hybridii*

Die wenigen Aufnahmen der Rohrglanzgras-Pestwurz-Flur (n=4) heben sich durch das dominante Auftreten von *Petasites hybridus* von den anderen Beständen ab. Zwar treten unter dem Dach von *Petasites* noch typische Quellflurarten auf, sie kommen jedoch, mit Ausnahme von *Impatiens noli-tangere*, kaum noch zu üppiger Entfaltung. Die Gesellschaft vermittelt zu den Hochstaudenfluren der Talauen auf leicht geneigtem, durchrieseltem Substrat. Diese Quellfluren sind relativ großflächig und an Unterhängen gelegen. GRÄSLE (1992) und BEIERKUHNLEIN (1994) sehen in *Petasites hybridus*-dominierten Beständen ein Beispiel für die Bedeutung der Ausbreitungsmechanismen der Arten. *Petasites hybridus* breitet sich vorwiegend durch Rhizombruchstücke aus. Abgelegene Quellgebiete können deshalb von der Art nicht erreicht werden. Lediglich Quellen im Unterhangbereich mit Verbindung zur Talvegetation werden von *Petasites hybridus* besiedelt und dann auch oft dominiert. So ist anzunehmen, dass, sofern ein ausreichendes Lichtangebot besteht, nicht abiotische Standortfaktoren limitierend bezüglich des Vorkommens von *Petasites* wirken, sondern die ausbreitungsbiologischen Eigenschaften der Art.

3.5 *Scheuchzerio-Caricetea fuscae*

3.5.1 *Caricetum fuscae*

Caricetum fuscae polytrichetosum communis

Diese häufige Gesellschaft (n=80) ist standörtlich eng zu umgrenzen. Sie ist auf Quellen mit sauren Quellwässern beschränkt. Bei neutralen bis mäßig sauren Bedingungen gelangt sie nicht zur Entfaltung. Die Gesellschaft ist keineswegs auf Fichtenforste beschränkt. Nicht selten bilden Mischbestände und vereinzelt auch Laubwälder die angrenzende Vegetation. Im Untersuchungsgebiet kann nur eine der bislang beschriebenen Varianten (HINTERLANG 1992a) des *Caricetum fuscae polytrichetosum* festgestellt werden, die Variante von *Sphagnum fallax*. Während *Sphagnum fallax* mit hoher Stetigkeit und Deckung auftritt, ist *Carex fusca* (= *C. nigra*) nur selten anzutreffen.

Die charakteristische Artenkombination ist: *Sphagnum fallax*, *Polytrichum commune*, *Glyceria fluitans*, *Viola palustris*, *Holcus mollis*, *Agrostis canina*, *Juncus effusus*, *Agrostis stolonifera*. Hinzu treten Farne wie *Dryopteris dilatata*, *Athyrium filix-femina*, *Thelypteris phegopteris*, *Gymnocarpium dryopteris* und *Thelypteris limbosperma*. Es herrschen insgesamt Moose, Farne und Poaceen vor, während Krautige stark zurücktreten.

Die Artenzahl ist mit durchschnittlich 19 Arten gering. Auffallend ist der Jungwuchs von *Picea abies* und *Sorbus aucuparia* sowie das Auftreten von *Vaccinium myrtillus*. Keimlinge der bestandsbildenden Baumarten sind sonst in Quellfluren selten. Eine Ursache für deren Etablierung kann im durch die Torfmoospolster gebildeten Sonderstandort liegen. Die Differentialart für die östliche Rasse der Gesellschaft, *Calamagrostis villosa*, tritt aufgrund der geringen Höhenlage des Frankenwalds, mit der die zonale Ausbildung des *Calamagrostio*

villosae-Piceetum nicht erreicht wird, nur an Sonderstandorten der höchsten Lagen in Erscheinung.

Insgesamt konzentrieren sich die Aufnahmen auf die Hochlagen (Abbildung 13.1). Die mittlere Höhenlage liegt bei 637 m ü.NN und damit höher als jene des *Chrysosplenietum* mit 554 m ü.NN. Der relative Lichtgenuss ist oft hoch und kann 15 % erreichen (GRÄSLE 1992). Dies ist durch die großflächige Ausdehnung der Quellfluren in den hochgelegenen Plateaulagen bedingt. Erwartungsgemäß liegen die pH-Werte der Quellwässer im sauren Bereich. Vereinzelt wurden Werte unter 4 nachgewiesen. Insgesamt zeigen sie eine deutliche Unterscheidung gegenüber den oben beschriebenen Gesellschaften. So liegt beispielsweise der Durchschnittswert für die 253 Quellen des *Chrysosplenietum* bei pH 6,3, der für die 80 Quellen des *Caricetum fuscae* bei 4,7. Selbst in den Hochlagen ist die Gesellschaft nur unter sauren Quellwasserbedingungen anzutreffen.

4. Diskussion

Eine klare floristische Differenzierung der Waldquellfluren des Frankenwaldes lässt sich vor allem auf Gesellschaftsniveau herausarbeiten. 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*) 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 und die damit zusammenhängende graduelle Vegetationsveränderung 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 Kälberkropf-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 1940) fortbestehen. Es handelt es sich also um ein *Chrysosplenietum oppositifolii*, welches im Sommer einen *Chaerophyllum*-Aspekt zeigt.

Die lichtbedingte Gesellschaftsausbildung 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-Kälberkropfes, 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.

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 daneben in Tälern auf nassen Brachflächen 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.

Klar unterscheiden sich die ausgeschiedenen Vegetationstypen 1 bis 3, *Chrysosplenietum oppositifolii*, *Chrysosplenietum oppositifolii cardaminetosum* Variante nach *Sphagnum fallax* bzw. *sphangetosum* und *Caricetum fuscae polytrichetosum communis* bezüglich der pH-Werte ihrer Wässer. Die intermediäre Stellung des *Chrysosplenietum sphagnetosum* ist aus Abbildung 13.2 deutlich ersichtlich.

Die Aluminiumgehalte des *Caricetum* sind deutlich höher als jene des *Chrysosplenietum* (483 ppb im Vergleich zu 63 ppb) (Abbildung 13.3), die Kalziumgehalte hingegen relativ gering (im Mittel 4,6 ppm) (Abbildung 13.4). Auffallend sind die teilweise sehr hohen Nitratgehalte im *Caricetum* (Abbildung 13.5). Mit durchschnittlich 141 µmol/l zeigen die Bestände des *Caricetum fuscae* die höchsten Nitratwerte. Eine Ursache dafür könnte die versauerungsbedingte Entkoppelung des Stickstoffkreislaufs sein (DURKA & SCHULZE 1992, BEIERKUHNEIN & DURKA 1993). Die Sulfatgehalte unterscheiden sich hingegen kaum zwischen dem *Caricetum* und dem *Chrysosplenietum*.

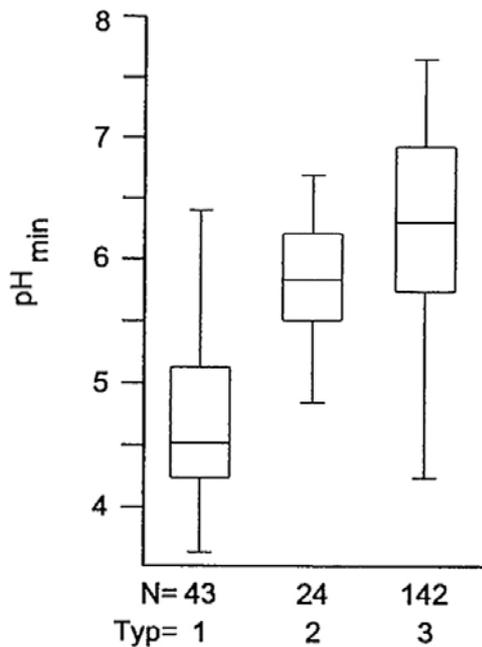


Abb. 13.2: Minimale pH-Werte im Jahresgang von Quellwässern des *Caricetum fuscae polytrichetosum* (Typ 1), des *Chrysosplenietum oppositifolii sphagnetosum* (entspricht der Variante von *Sphagnum fallax* der *subass. cardaminetosum*) (Typ 2) und der restlichen Bestände des *Chrysosplenietum oppositifolii* (Typ 3) (Daten von 209 Quellen wurden ausgewertet)

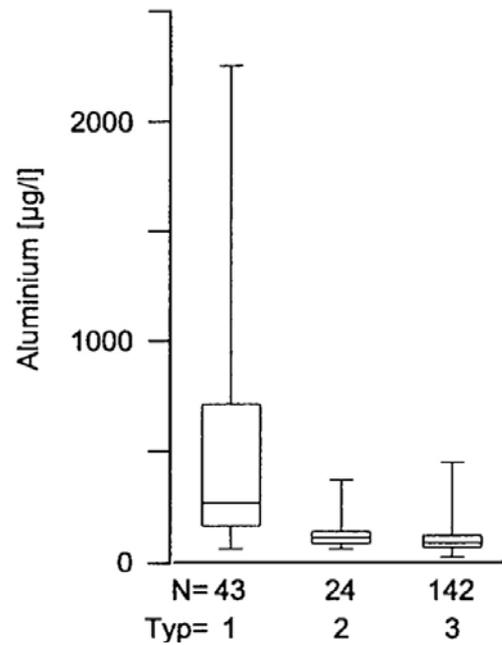


Abb. 13.3: Aluminiumgehalte von Quellwässern des *Caricetum fuscae polytrichetosum* (Typ 1), des *Chrysosplenietum oppositifolii sphagnetosum* (entspricht der Variante von *Sphagnum fallax* der *subass. cardaminetosum*) (Typ 2) und der restlichen Bestände des *Chrysosplenietum oppositifolii* (Typ 3) (Daten von 209 Quellen wurden ausgewertet)

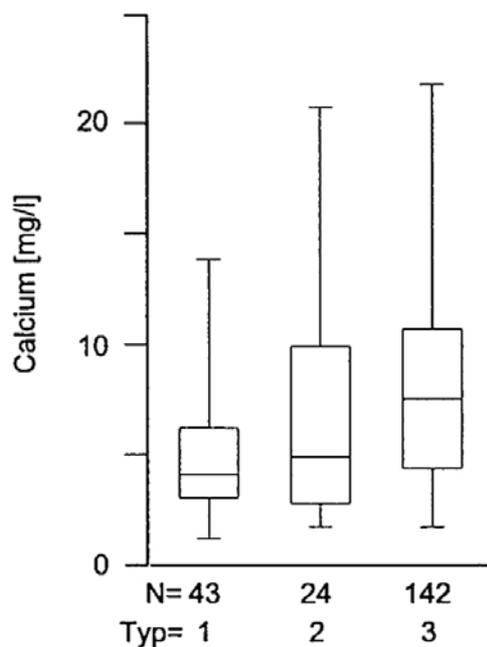


Abb. 13.4: Calciumgehalte von Quellwässern des *Caricetum fuscae polytrichetosum* (Typ 1), des *Chrysosplenietum oppositifolii sphagnetosum* (entspricht der Variante von *Sphagnum fallax* der *subass. Cardaminetosum*) (Typ 2) und der restlichen Bestände des *Chrysosplenietum oppositifolii* (Typ 3) (Daten von 209 Quellen wurden ausgewertet)

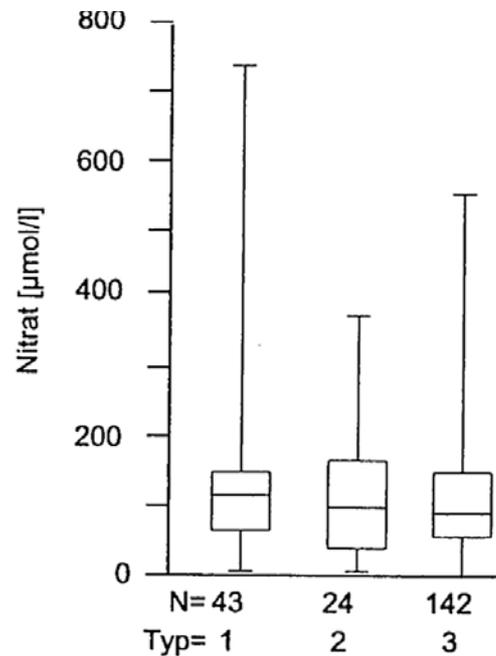


Abb. 13.5: Nitratgehalte von Quellwässern des *Caricetum fuscae polytrichetosum* (Typ 1), des *Chrysosplenietum oppositifolii sphagnetosum* (entspricht der Variante von *Sphagnum fallax* der *subass. cardaminetosum*) (Typ 2) und der restlichen Bestände des *Chrysosplenietum oppositifolii* (Typ 3) (Daten von 209 Quellen wurden ausgewertet)

5. Zusammenfassung

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. Zahlreiche Quellen weisen nicht mehr Quellflurgesellschaften 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.

Literatur

- BALATOVA-TULACKOVA, E. (1984): Hochstaudengesellschaften im Gebiet des Landschaftsschutzgebietes Jizerské hory. *Folia geobotanica et phytotaxonomica* **19**, 5-27
- 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, 21-48
- BEIERKUHNLEIN, C. (1991): Räumliche Analyse der Stoffausträge aus Waldgebieten durch Untersuchung von Waldquellfluren. *Die Erde* **122**, 291-315
- BEIERKUHNLEIN, C. (1993): Waldquellfluren - ein Beitrag zum Monitoring von Umweltbelastungen im Frankenwald. in: BARSCH, D., H. KARRASCH (Hrsg.): Geographie und Umwelt. Verh. d. Deutschen Geographentages Bd. **48** - Basel 1991, 214-219
- BEIERKUHNLEIN, C. (1994): Waldquellfluren im Frankenwald - Untersuchungen zur reaktiven Bioindikation. *Bayreuther Forum für Ökologie* **10**, 253 S.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1995): Florenveränderungen durch Immissionseinflüsse - Pflanzengeographische Analyse der Vegetation von Waldquellen. *Artenschutzreport* **5**: 34-43
- BEIERKUHNLEIN, C. & W. DURKA (1993): Beurteilung von Stoffausträgen immissionsbelasteter Waldökosysteme Nordostbayerns durch Quellwasseranalysen. *Forstwiss. Cbl.* **112**, 225-239
- DURKA, W. & E.-D. SCHULZE (1992): Hydrochemie von Waldquellen des Fichtelgebirges. *Z. Umweltchem. Ökotox.* **4**(4), 217-226
- GÖTZ, S. & G. RIEGEL (1989): Die Vegetation der Bachtäler im Einzugsbereich der Ilz im Bayerischen Wald. *Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges.* **47**, 257-331
- GRÄSLE, W. (1992): Waldquellfluren im Frankenwald. Floristische, strukturelle, hydrochemische und mikroklimatische Untersuchungen an ausgewählten Quellen. Diplomarbeit Lehrstuhl Biogeographie, Universität Bayreuth, 132 S., Bayreuth
- GUTTE, P., W. HEMPEL, G. MÜLLER, G. WEISE (1965): Vegetationskundlicher Überblick Sachsens. *Ber. Arbeitsgem. sächs. Botaniker N.F.* **5/6** (2), 348-430

- HADAC, E. (1983): A survey of plant communities of springs and mountain brooks in Czechoslovakia. *Folia Geobot. Phytotax.* **18** (4), 339-361
- HARM, S. (1990): Kleinseggenriede (*Scheuchzerio-Caricetea fuscae*) im Südwest-Harz. *Tuexenia* **10**, 173-183
- HEINRICH, W., W. HILBIG, E. NIEMANN (1972): Zur Verbeitung, Ökologie und Soziologie der Roten Pestwurz (*Petasites hybridus* (L.) Gaertn., Meyer et Scherb.). *Wiss. Z. Friedr.-Schiller-Univ. Jena, Math.-Nat. R.* **21** (5/6), 1099-1124
- HINTERLANG, D. (1992a): Vegetationsökologie der Weichwasserquellgesellschaften zentraleuropäischer Mittelgebirge. *Crunoecia* **1**, 1-124
- HINTERLANG, D. (1992b): Vegetationsökologische Aspekte der Weichwasser-Quellgesellschaften zentraleuropäischer Mittelgebirge unter besonderer Berücksichtigung der Synsystematik. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* **4**, 105-121
- KÄSTNER, M. (1938): Die Pflanzengesellschaften der Quellfluren und Bachufer aus dem Verband der Schwarzerlen-Gesellschaften. Veröff. Landesver. sächs. Heimatschutz **1938**, 69-118, Dresden (Aus KÄSTNER, M., W. FLÖSSNER & J. UHLIG: Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes. Teil IV)
- KÄSTNER, M. (1942): Über einige Waldsumpfgesellschaften, ihre Herauslösung aus den Waldgesellschaften und ihre Neueinordnung. *Bot. Cbl., Beih.* **61 B** (1/2), 137-207
- MAAS, F.M. (1959): Bronnen, bronbeken en bronbossen von Nederland, in het bijzonder die van de Veluwezoom, een plantensociologische en oekologische studie. Medel. Landbouwhogeschool Wageningen **59**, 166 S.
- NIEMANN, E., W. HEINRICH & W. HILBIG (1973): Mädesüß-Uferfluren und verwandte Staudengesellschaften im hercynischen Raum. *Wiss. Z. Friedr.-Schiller Univ. Jena, Math.-Nat. R.* **22** (3/4), 591-635
- OBERDORFER, E. (1938): Ein Beitrag zur Vegetationskunde des Nordschwarzwaldes. *Beitr. naturk. Forsch. Südw.-Dtl.* **3**, 149-270
- OBERDORFER, E. (1957): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. *Pflanzensoziologie* **10**, 564 S.
- OBERDORFER, E. (Hrsg.) (1983): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil 3, 455 S., Stuttgart
- PHILIPPI, G. (1989): Die Pflanzengesellschaften des Belchen-Gebietes im Schwarzwald. Der Belchen - Geschichtlich-naturkundliche Monographie des schönsten Schwarzwaldberges. *Natur- und Landschaftsschutzgeb. Bad.-Württ.* **13**, 747-890
- PHILIPPI, G. & E. OBERDORFER (1977): Klasse: Montio-Cardaminetea Br.-Bl. et Tx. 43. Quellflurgesellschaften und Waldsümpfe. In: OBERDORFER, E. (Hrsg.): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Bd.I, 199-213, Stuttgart
- ROLL, H. (1940): Weitere Waldquellen Holsteins und ihre Pflanzengesellschaften. *Arch. Hydrobiol.* **36**, 424-465
- ROLL, H. (1941): Quellvegetation und Pflanzensoziologie. *Forschungen und Fortschritte* **17**, 102-103
- SCHLÜTER, H. (1966): Vegetationsgliederung und -kartierung eines Quellgebietes im Thüringer Wald als Grundlage zur Beurteilung des Wasserhaushaltes. *Arch. Natursch. Landsch. Forsch.* **6**, 3-44
- SCHLÜTER, H. (1970): Vegetationskundlich-synökologische Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines hochmontanen Quellgebietes im Thüringer Wald. *Wiss. Veröff. Geogr. Inst. Dt. Akad. Wiss. N.F.* **27/28**, 23-246
- SCHWICKERATH, M. (1944): Das Hohe Venn und seine Randgebiete. *Pflanzensoziologie* **6**, 1-278
- TÜXEN, R. (1937): Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. *Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. Niedersachsen* **3**, 1-170