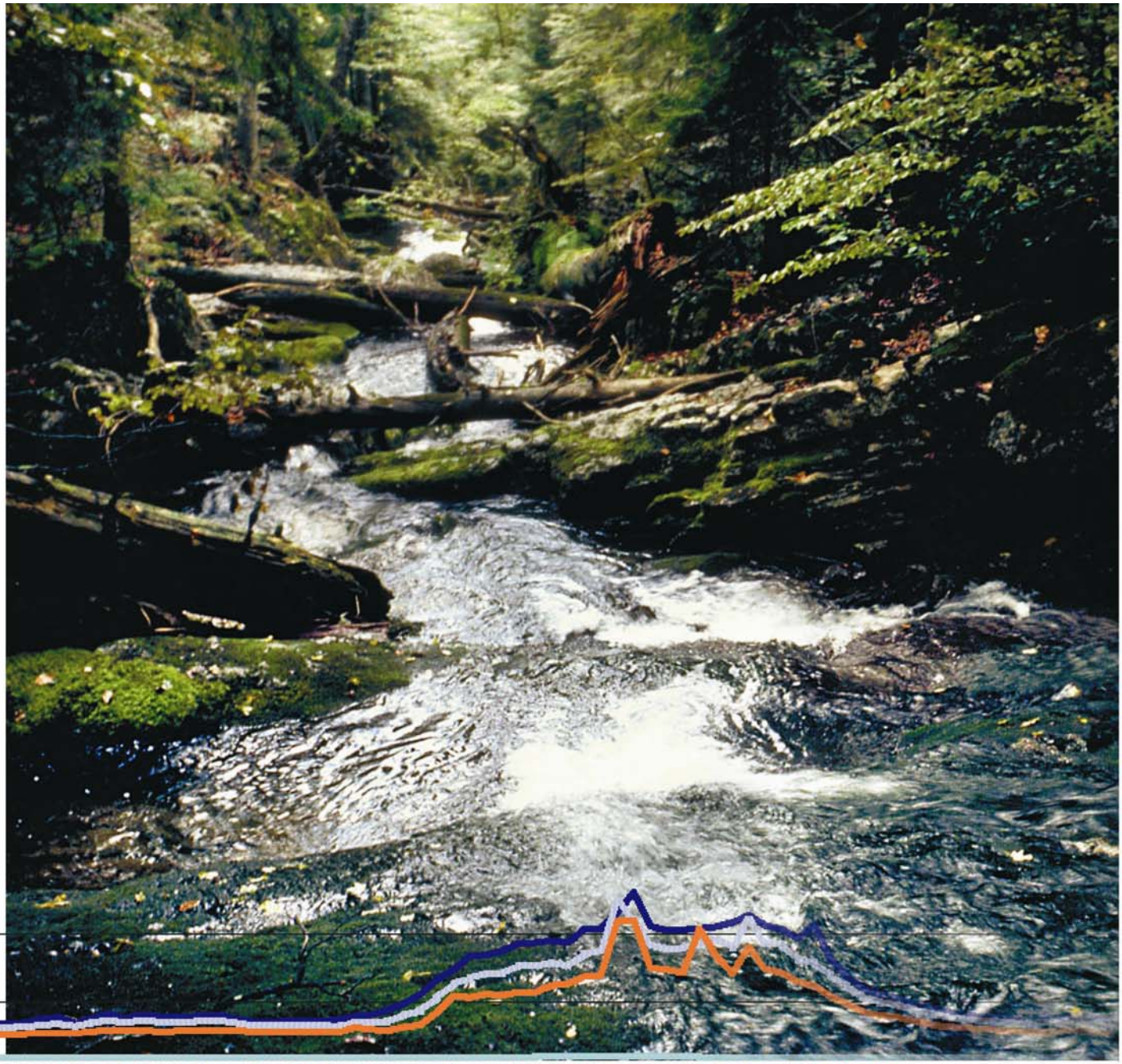
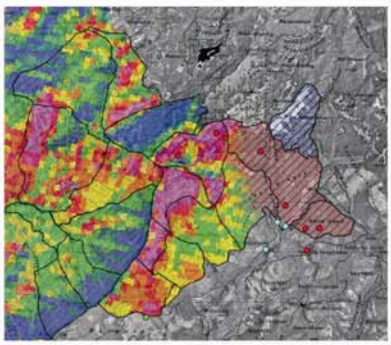




Funktionale Landschaftsanalyse im Albert Rothschild Wildnisgebiet Rothwald

Endbericht - Jänner 2004

Textteil (Teil 1 - ohne Anhang)

Funktionale Landschaftsanalyse im Albert Rothschild Wildnisgebiet Rothwald

Endbericht

Jänner 2004

Im Auftrag des

Vereins zur Förderung der
Landentwicklung und intakter Lebensräume
(LIL)

Prof. Dr. W. Ripl

unter Mitarbeit von Forstdirektor a.D. Dipl. Ing. Karl Splechtna, Dr. A. Brande,

Dr. K. D. Wolter, Dipl. Ing. T. Janssen und W. Ripl jun., C. Ohmeyer

System Institut Aqua Terra / TU-Berlin

Hellriegelstr. 6

14195 Berlin

http://www.aquaterra-berlin.de

Inhaltsverzeichnis

1 AUFTRAG 1

2 ZIELSTELLUNG 1

3 MATERIAL UND METHODEN 4

3.1 GRUNDLAGEN UND METHODEN DER FUNKTIONALEN LANDSCHAFTSANALYSE 4

4 BAUSTEINE DES UNTERSUCHUNGSKONZEPTES / MESSNETZ 6

4.1 ABFLUßMESSUNG 7
4.2 KONZENTRATIONSMESSUNGEN 8
4.3 TEMPERATURMESSUNG 9
4.4 SATELLITENBILDVERARBEITUNG 14
4.4.1 Besonderheiten bei der Interpretation der Thermaldaten 15
4.4.2 Schritte der Satellitenbildverarbeitung 16
4.4.3 Geokorrektur anhand von Passpunkten 16
4.4.4 Berechnung der Schwarzkörpertemperatur 16
4.5 METHODIK ZUR ANALYSE DER BOHRKERNE 17
4.6 CHEMISCH-PHYSIKALISCHE METHODEN DER WASSER- , SCHNEE-, UND FESTSTOFFPROBEN 17
4.6.1 Physikalisch-chemische Wasseranalysen 17
4.6.2 Physikalisch-chemische Bohrkernanalysen 19

5 RESULTATE UND DISKUSSION 20

5.1 ERGEBNISSE DER ZEITLICH HOCHAUFLÖSENDEN VIERKANAL-TEMPERATURSONDEN 20
5.2 BEDEUTUNG DER TEMPERATUR FÜR DEN STOFFHAUSHALT DER LANDSCHAFT (THESEN) 26
5.3 RESULTATE DER AUSWERTUNG VON SATELLITENSZENEN UND GIS-DATEN 27
5.4 WASSERCHEMISCHE ERGEBNISSE DER STICHPROBENUNTERSUCHUNGEN IM ROTHWALD 35
5.5 RESULTATE DER ABFLUSS- UND LEITFÄHIGKEITSSONDEN 37
5.6 DISKUSSION DES CHEMISCHEN WIRKUNGSGRADES IM ROTHWALD 40

6 DIE MOORBOHRKERNE IM ROTHWALDGEBIET 41

6.1 POLLENANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN IN DEN MOOREN ROTMÖSEL, BÄRWIES, GRUBWIESALM 41
6.1.1 Zur Moorentwicklung 42
6.1.2 Zur Waldgeschichte 42
6.1.3 Zum Pollendiagramm Rotmösel: 42
6.1.4 Zum Pollendiagramm Bärwies 43
6.2 DIE MOORBOHRKERNE CHEMISCHE ANALYSENRESULTATE 43
6.2.1 Der Bohrkern Rotmösel 43
6.2.2 Die Bohrkerne Bärwies und Grubwiesalm Kern 1 und 2 44
6.3 THESEN FÜR DIE SELBSTORGANISATION DER ORGANISMEN IM ROTHWALD 45

7 ZUSAMMENFASSUNG 47

8 AUSBLICK UND ANWENDERBEZOGENE NUTZBARMACHUNG DES VORHABENS 49

9 LITERATUR 52

10 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS 54

11 ANHANG 55

Prof. Dr. W. Ripl unter Mitarbeit von Forstdirektor a.D. Dipl. Ing. Karl Splechtna, Dr. A. Brande,
Dr. K. D. Wolter, Dipl. Ing. T. Janssen und W. Ripl jun. , C. Ohmeyer

1 Auftrag

Im Februar 1999 wurde mir seitens des Vereins zur Förderung der Landentwicklung und intakter Lebensräume (LIL) der Auftrag erteilt ein Projekt zum Thema „Funktionale Landschaftsanalyse im Rothwaldgebiet" durchzuführen.

Die vorliegende Arbeit soll letztlich Grundlagen für den Prozess der räumlichen- und zeitlichen Mustererkennung in einer noch intakten Landschaft liefern, die ein weitgehend automatisiertes Energie-, Wasser- und Stoffflussmonitoring ermöglichen. Mit einem solchen Instrument können auch stark genutzte Landschaften, über ihren intakten oder bereits stark beschädigten Wasser- und Stoffhaushalt, qualitativ und quantitativ bewertet und zukünftig in enger Rückkopplung zu den sich ständig ändernden lokalen Voraussetzungen orts- und zeitphasengerecht bewirtschaftet werden.

2 Zielstellung

Die unmittelbare und kurzfristige Zielsetzung ist die Ermittlung der wichtigsten in der Natur vorkommenden Landschaftsprozesse in ihrer räumlichen und zeitlichen Verteilung. Dazu gehören der hydrologische Prozess und die lokalen Stoffwechsel- und Stoffflussprozesse, als wichtigste Elemente der Energiedissipation und die damit verbundenen mechanischen und chemischen Landschaftsprozesse. Diese bestimmen, je nach Prozessführung, die irreversiblen Stoffströme und die Alterung der Landschaft als Degradierung der Nutzbarkeit für die notwendigen Funktionen der Natur in ihrer Verteilung und Intensität (Ripl 1995).

Dabei scheint es wichtig - als ersten Schritt - Prozesse in einer Landschaft zu beobachten, die weitgehend vom Menschen unbeeinflusst ablaufen. Der Selbstorganisationsprozess weist dabei starke Rückkopplungen zum vorrangigsten energiedissipierenden Prozess, nämlich zum lokalen Wasserkreislauf aus. Der Erhalt der Standorteigenschaften, bei maximal

möglicher Nutzung durch Organismen und bei hoher Prozessdichte, durch biologische Stoffumsatzprozesse, wie sie im noch nie bewirtschafteten Rothwaldgebiet noch zu beobachten sind, weist den Forschungsstandort Rothwald für zukünftige Bewirtschaftungsmodelle in Land- und Forstwirtschaft von höchstem Interesse aus.

Zielsetzung ist es die Spielregeln der Natur bezüglich ihrer Eigenschaft als selbstoptimierendes System aufzuzeigen um daraus die Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Landschaftsentwicklung unter bewirtschafteten Verhältnissen abzuleiten. Diese Spielregeln können dabei in die bereits seitens der LIL entwickelte und praktizierte Ökopunktebewertung integriert werden. Erst eine Sicherung der einzelnen Standorte, insbesondere der landwirtschaftlichen Flächen in den Talniederungen bezüglich ihrer stofflichen Ausstattung, kann den in der industriellen Periode stark beschleunigten Alterungsprozess der Landschaft allmählich eindämmen und die Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung sichern (Regionalprogramm Ökopunkte Niederösterreich 1999).

Die Studie des Rothwaldgebiets soll längerfristig dazu beitragen Strategien der Selbstoptimierung des Ökosystems und der Vergesellschaftung der Organismen nicht nur offen zu legen, sondern auch, soweit möglich, in der land- und forstwirtschaftlichen Praxis zu nutzen. Dazu sind weiterführende Kenntnisse über die Prozesse und deren Verteilung einer lokalen Kreislaufführung von Wasser und Stoffen unabdingbare Voraussetzungen für ein zukünftiges, nachhaltiges Wirtschaften.

Das Verständnis der Zusammenhänge zwischen lokaler Verdunstung, Kondensation und der daran gekoppelten meist internalisierten lokalen Stoffflüsse, sowie die Rolle des bodennahen Wasserdampfs für Klima und Atmosphäre sind notwendig, um eine Nachhaltigkeitssteigernde und eine an der Minimierung irreversibler Stoffströme orientierte Bewirtschaftung zu erzielen. Die Sicherung der notwendigen Serviceleistungen von Ökosystemen, für die menschliche Gesellschaft, auf der gesamten Fläche bei ertragreicher Bewirtschaftung der eigenen Landesfläche, muss wieder möglich werden.

Durch ein autarkes zellulares Stoffstrommanagement sowie einer an den Stoffverlusten rückgekoppelten besseren Flächenbewirtschaftung werden, für künftige Generationen bei gleichzeitiger Entschärfung des Nord-Süd Konfliktes, unsere gesellschaftliche Ressourceneffizienz und unsere Zukunftsfähigkeit bestimmt.

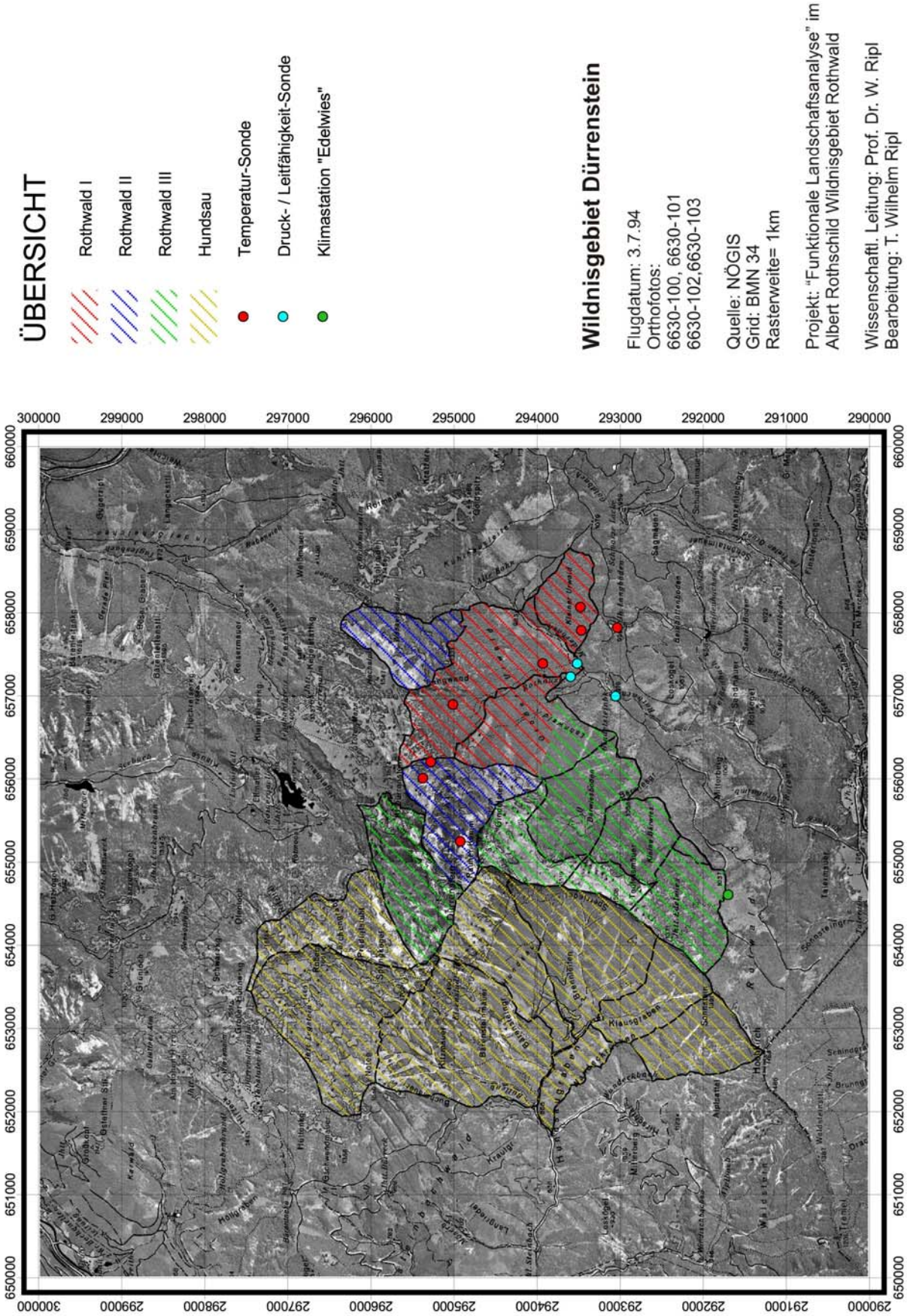


Abbildung 1: Übersichtsplan vom Wildnisgebiet Dürrenstein

3 Material und Methoden

3.1 Grundlagen und Methoden der funktionalen Landschaftsanalyse

Die wichtigste Voraussetzung für eine nachhaltig nutzbare Landschaft ist ihre stoffliche Integrität. Dem hydrologischen Kreislauf kommt bei der Wahrung der stofflichen Integrität eine herausragende Bedeutung zu. Erfolgt der Abfluss des niedergeschlagenen Wassers durch Versickerung im Boden bzw. über eine hohe Grundwasserneubildung, werden durch das Wasser Stoffe aus den obersten Schichten der Böden entsprechend ihrer Löslichkeit abgereichert und mit dem abfließenden Wasser irreversibel über die Flüsse aus der Landschaft ausgetragen. Silikate und schwerlösliche Metallsalze aber auch refraktäre (schwer abbaubare) organische Stoffe reichern sich dabei in den obersten Bodenschichten an, während die für die Vegetation notwendigen Nähr- und Mineralstoffe in den Oberböden abnehmen. In den Gewässern steigern sie dagegen temporär die Produktionsmöglichkeiten und tragen so zum Prozess der Gewässereutrophierung bei. Die zukünftige Nutzbarkeit der einzelnen Standorte einer Landschaft als Träger für die Vegetation und damit der Bodenfruchtbarkeit nimmt dabei allmählich ab, die Landschaft altert. (Siehe Abbildung 2).

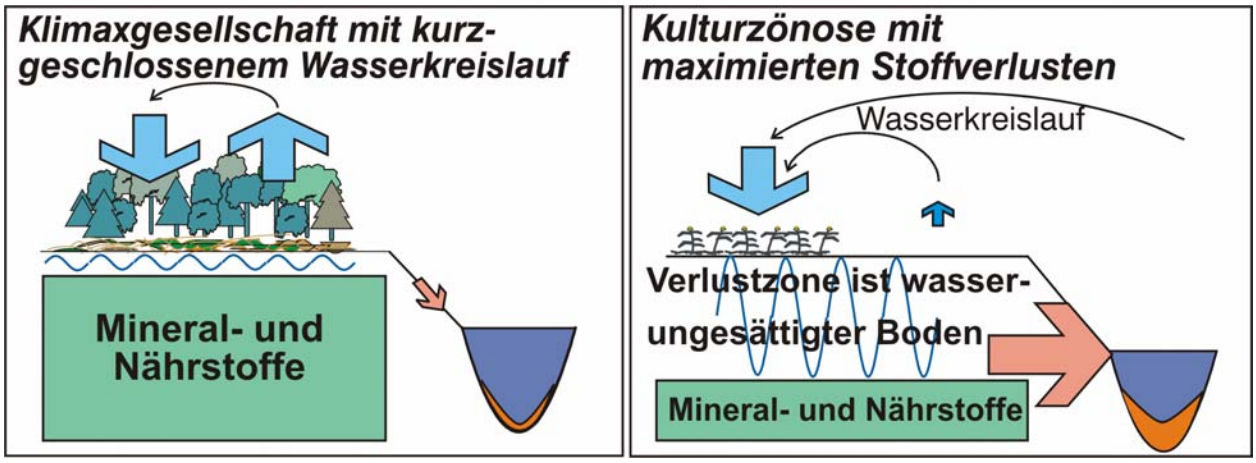


Abbildung 2: Klimaxgesellschaft versus Kulturzönose

Wird dagegen in einer mit Vegetation optimal ausgestatteten Landschaft ein maximaler Teil des Niederschlags in der Landschaft durch lokale Speicherung zurückgehalten und durch die Vegetation verdunstet (evapotranspiriert), bleiben die vegetationsnotwendigen Stoffe der Landschaft erhalten. Die Landschaft bleibt länger nutzbar und altert langsamer. Der Prozess der Maximierung der lokalen Verdunstung und der lokalen Kreislaufführung der Nutzstoffe in der Vegetation war daher der Schlüsselprozess für die allmähliche Steigerung der Nachhaltigkeit der Natur. Ein Organismenensemble (Biozönose), welches über Zeiträume an einem Ort besser mit seinen Ressourcen wirtschaftet, ist an seinem Standort nachhaltiger und kann sich gegenüber weniger optimierten Organismengesellschaften solange und an den Stellen ausbreiten, als diese Gemeinschaft die verlustärmere Kreislaufführung der

Stoffe bewerkstelligt. Die weniger effiziente Biozönose (Organismen–Gesellschaft) schrumpft und wird durch die besser angepaßte Biozönose (mit besserer Kreislaufführung und geringeren Verlusten) ersetzt. Dies bedeutet einerseits, dass die Strukturbildung in natürlichen Systemen eher von der Ressourceneffizienz der Zönosen gesteuert wird, als durch einzelne Arten, die nicht nach dem Kriterium der am Standort optimierten Biozönose selektiert worden sind.

Der zu einem Zeitpunkt an einem Standort optimierte Landschaftsprozess (Wechselwirkung der Vegetation mit den lokalen Standortvoraussetzungen) ist daran erkennbar, dass er räumlich und zeitlich auch die bessere Temperaturdämpfung zwischen Tag und Nacht aufweist. Gleichzeitig müssen die Stoffströme aus der Landschaft in den Flüssen, insbesondere die der Nähr- und Mineralstoffe, ein Minimum darstellen. Daraus ergeben sich die Ansätze für die funktionale Lanschaftsanalyse, welche in einem Gebiet wie dem Rothwald bezüglich ihrer Durchführbarkeit wie Aussagekraft am besten getestet werden können.

Aus der Dynamik dieser Prozesse lässt sich der Wirkungsgrad einer Landschaft - als Maß für ihre Nachhaltigkeit – ableiten. Wahrnehmbar wird dieser als Dämpfung der Temperatur-ganglinie, sowie in der Verringerung von Bodenwasser- und Abfluss–schwankungen und an minimierten Stoffflüssen in den Gewässern.

Bemessen lässt sich der Wirkungsgrad zum einen über die Schwankung der täglichen Temperaturamplitude, zum anderen über das Verhältnis der sich im Kreislauf befindenden Stoffe zu den Stoffverlusten.

Der stoffliche Wirkungsgrad einer Landschaft kann ausgedrückt werden in Protonen- bzw. Ladungsflüssen als Rate der gesamten lokalen Stoffumsätze zu den irreversiblen Stoffverlustprozessen und lässt sich in folgender Formel beschreiben:

(Gesamtstoffumsatz – stoffliche Verluste) / Gesamtstoffumsatz

Ausgedrückt in Protonen- bzw. Ladungsfluss pro Fläche und Zeit.

Eine zweite Möglichkeit einen Wirkungsgrad zu bestimmen, ergibt sich aus dem Grad der Energiedissipation eines Landschaftssystems, welcher vor allem durch die vegetationsabhängige Evapotranspiration und Kondensation des Wassers, bewerkstelligt wird. Die relative Dämpfung des täglichen Energiepulses der Landoberfläche, ausgedrückt in der Temperatur, ist ebenso ein Maß für die Nachhaltigkeit einer Landschaft:

MW Temperatur - Amplitude / MW Temperatur

Die Aufgabe dieses Untersuchungskonzeptes besteht darin, die thermische und chemische Leistungsfähigkeit bzw. die Rückhaltefähigkeit für Wasser und gelöste Stoffe (Retention) räumlich und zeitlich abgegrenzter Landschaftssysteme zu beschreiben. Es soll die Verteilung der energiedissipativen Prozesse in der Landschaft erfassen. Über den Wasserhaushalt zusammenhängliche (kohärente) räumliche Systeme sind Wassereinzugsgebiete, welche einen gerichteten Wasser- und Stoffstrom aufweisen und die über möglichst geschlossene zeitliche Intervalle des Dissipationsprozesses (Tages- und Jahreszyklen verzahnt mit den Wachstumsphasen und Generationszeiten der Organismen) betrachtet werden können.

Parallel dazu bildet das thermische Verhalten der Landschaft den temperaturausgleichenden lokalen Wasserhaushalt ab, wobei der thermische Dämpfungsfaktor den thermischen Wirkungsgrad beschreibt. Der lokale Wasserhaushalt ist dabei in hohem Maß an die Vegetationsfunktion gekoppelt. Das thermische Verhalten der Landschaftsoberfläche wird vom Landsat (Thematic Mapper) TM V Kanal 6 mit einer Pixelgröße von 120x120 m bei einer 16-tägigen Überfliegungsfrequenz abgebildet (siehe Abbildung 8, 7 und 8). Der neue Landsat TM VII, der seit 1999 im Einsatz ist, zeigt in den sichtbaren Kanälen eine Auflösung von 15x15 m (Landsat V 30x30 m) und im thermischen Kanal eine Auflösung von 60x60 m. In der Praxis zeigen sich durch Wolken beeinträchtigte Satellitenszenen für die thermische Auswertung als unbrauchbar, so dass pro Jahr meist nur etwa 5 – 6 interpretationsfähige Satellitenbilder zur Verfügung stehen. Bewölkte Szenen liefern jedoch Informationen bezüglich der Verteilung und Muster der energiedissipativen Prozesse in Landschaft und Atmosphäre. Diese Muster wurden jedoch in der vorliegenden Studie nicht systematisch ausgewertet. Eine multitemporale Auswertung der wolkenfreien Satellitenszenen hingegen, sollte bei kontinuierlicher Auswertung allmählich räumliche Muster in den thermischen Dämpfungseigenschaften der Rothwaldlandschaft erkennen lassen. Im ersten Jahr der Untersuchungen wurden vorerst 3 Satellitenszenen bearbeitet. Weitere Satellitenszenen sollten in Zukunft laufend ausgewertet werden, wobei besonders die Bearbeitung von Daten des im Jahr 1999 eingesetzten Landsat TM VII, auf Grund seiner höheren Auflösung, vorzusehen ist.

4 Bausteine des Untersuchungskonzeptes / Messnetz

Das Messnetz der Untersuchung stützt sich auf das „Störprojekt – Entwicklung eines Land-Gewässer Bewirtschaftungskonzeptes zur Senkung von Stoffverlusten an Gewässer" (Ripl et al. 1996), welches nach dem ETR-Modell (Ripl 1995) entwickelt wurde.

Einerseits werden hier die Stoffströme der Abflüsse über Leitfähigkeits- und Druckmessungen, begleitet von Analysen der chemischen Hauptkomponenten von

Wasserstichproben beobachtet. Andererseits wird die Temperaturverteilung in der Landschaft über Satellitenbilder (großräumige Verteilung) und Temperatursonden (lokale zeitlich hochaufgelöste Verteilung), als Kenngröße für die Energiedissipation verfolgt.

4.1 Abflußmessung

Für das Monitoring der Stoffströme sowie der Abflüsse wurden selbstregistrierende Leitfähigkeits- und Druckmesssonden im Rothausbach (L05 & P05) und unterhalb des Zusammenflusses von Rothausbach und Moderbach an der Gindelsteinbrücke (L04 & P04) eingesetzt.

Standort	Nr.	Rechtswert	Hochwert
Rotbach (Gindelsteinbrücke)	L04		
Moderbach (Kolk)	L04		
Rothausbach (Kolk)	L05		

Tabelle 1: Standorte der Leitfähigkeitssonden

Aufgrund der extrem flachen Wasserführung an der Gindelsteinbrücke, wurden die dort eingesetzten Sonden in den Moderbach vor dem Zusammenfluss mit dem Rothausbach am 25.8.00 verlegt. Während die Temperatur, Leitfähigkeits- und Drucksonden ausgewertet wurden, wurden die Abflüsse wegen Fehlens einer konsistenten Schlüsselkurve (Wasserstands-Abflussbeziehung) nicht berechnet. Die Erstellung von Schlüsselkurven erwies sich dabei, aufgrund der Morphologie und Dynamik des Bachbettes (Verlagerung von Gestein während der Abschmelzperioden), als wenig zuverlässig. Da jedoch periodenweise konsistente Datensätze für die Wasserstandsschwankungen sowie für die Leitfähigkeit vorliegen, soll versucht werden diese Daten zu interpretieren, um weitere Details der Urwaldfunktionen zugänglich zu machen.

Der Einsatz von jeweils zwei Drucksonden zur Messung des Wasser- bzw. des Luftdrucks und von temperaturkorrigierten Leitfähigkkeitssonden dient der Erfassung der Abflüsse sowie der elektrischen Leitfähigkeit der Gewässer (Riedling et al. 1997). Damit sollen die Stoffströme im Rothausbach, mit einem Einzugsgebiet, welches weitgehend Urwaldfläche darstellt, sowie zunächst beim Sammler Rothbach (Summe Rothausbach und Moderbach) bei der Gindelsteinbrücke und anschließend im Moderbach, der das größere Einzugsgebiet des Vorfluters für den Rotbach darstellt, abgeschätzt werden können.

Die Beschreibung der stofflichen Verlustprozesse erfolgt, im Allgemeinen durch eine Erfassung des Abflusses als frachtbestimmende Größe. Druckmesssonden, die den Wasserstand zeitlich hochauflösend (alle 20 Minuten) erfassen, lassen eine Ermittlung einer Wasserstands- Abflussbeziehung (Schlüsselkurve) zu, die eine Erstellung einer ereignisbezogenen Abflussganglinie ermöglicht. Die Schwankungen des Abflusses sind im Allgemeinen stark von den Niederschlags- und Schneeschmelzereignissen geprägt. Der

Niederschlag, in unseren Breiten, weist gewöhnlich kein regelmäßiges Tagesmuster auf und ist von variierender Dauer.

Für das Rothwaldgebiet zeigte sich jedoch der vorgesehene Messansatz, durch die Schwierigkeit einen repräsentativen Querschnitt zu finden, sowie einer im Winter hohen Flussbettdynamik, als kaum verwirklichbar. Die Abflussereignisse sind im Rothwald durch das Vorhandensein einer meist mächtigen Streuschicht, insbesondere in den durch das Umfallen der Bäume entstehenden Vertiefungen, die sich allmählich mit organischer Substanz (Blatt-, Nadel- und Moderstreu) füllen und durch ein hohes Wasserrückhaltevermögen die Abflüsse stark dämpfen, geprägt. Erst während der Schneeschmelzperioden kommt es zu größeren Abflussspitzen. Zu diesen Zeitpunkten waren jedoch die Messungen sowie die Funktion der Sonden durch Schnee und Vereisung teilweise beeinträchtigt. Die Resultate der Sonden wurden dahingehend ausgewertet, dass sich zwar für verschiedene Perioden Beziehungen zwischen den gemessenen Leitfähigkeiten und den Wasserstandsmessungen aufstellen ließen, diese konnten jedoch für relative Abflussabschätzungen nur sehr bedingt herangezogen werden. Leitfähigkeit und Wasserstand zeigten ferner diurnale Leitfähigkeits- und Druckmuster. Im Tagesverlauf änderten sich die wasserstandsabhängigen Druckverhältnisse zyklisch, simultan dazu aber auch die Leitfähigkeiten. Dabei sind entsprechend den Wasserstandsanstiegen Abnahmen der Leitfähigkeit zu verzeichnen. Dieses Phasenverhalten lässt auf einen stark ausgebildeten kurzgeschlossenen Wasserhaushalt (Verdunstung am Tag und Taubildung in der Nacht) schließen.

Klima- und Niederschlagsdaten im Untersuchungsgebiet, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts "Edelwies" der Universität für Bodenkultur in Wien, von Dipl. Ing. Dr. K. Kleemayr an einer Klimamessstationen am Rande des Wildnisgebiets (Gauss Krueger Österreich, Rechts-W –95426, Hoch-W 5291740, Höhe 1100) erhoben. Sie enthalten Datenreihen mit 10-minütiger Auflösung bezüglich Temperatur, Strahlung, Niederschlag bzw. Schneehöhe. Die Daten für die Jahre 1999, 2000 und 2001 wurden berücksichtigt, mit den Satellitenbildern abgestimmt und zur Abschätzung der Niederschlagsverteilung herangezogen.

4.2 Konzentrationsmessungen

In Landschaften, die stark von anthropogen erhöhten Stoffflüssen geprägt sind, sind die Quellen der Varianz bzw. das Auftreten von Mustern für die einzelnen Stoffe durch monatliche Messungen als Prozesse zu identifizieren. Im Urwaldgebiet zeigten sich bisher in den Gewässern erwartungsgemäß relativ geringe Variationen. Zeitlich hochauflösende (20-minütige Messfrequenz) und mit der aktuellen Temperatur korrigierte kontinuierliche Leitfähigkeitsmessungen wurden eingesetzt, um eventuelle zeitliche Muster im Ionengehalt der Lösungen und die dafür verantwortlichen Prozesse zu identifizieren. Gleichzeitig wurden aus den Flüssen Stichproben entnommen und auf physikalische und chemische Parameter

analysiert. Die entnommenen Wasserproben wurden bezüglich folgender Parameter im Laboratorium des Fachgebiets Limnologie der TU-Berlin untersucht:

pH, Leitfähigkeit, Kieselsäure (SiO_2)
Anionen: Alkalinität (CO_3, HCO_3), Chlorid (Cl), Sulfat (SO_4), Nitrat (NO_3)
Kationen: Calzium (Ca), Magnesium (Mg), Natrium (Na), Kalium (K), Ammonium (NH_4)

Phosphor (P), Stickstoff (N), die Metalle Eisen (Fe), Mangan (Mn), einige Schwermetalle sowie organischer Kohlenstoff (C) wurden weniger frequent in Stichproben zu verschiedenen Zeitpunkten analysiert.

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Erhebung von Grundlagenmaterial in Form von Analysen einzelner Wasserkörper und abfließender Wässer sowie von Schnee aus dem Urwaldgebiet durchgeführt. Diese Analyse stellen, in Verbindung mit den ebenfalls abzuschätzenden Abflüssen, einerseits die Basis für eine Charakterisierung stoffliche Austräge aus dem Untersuchungsgebiet dar. Andererseits lassen sich durch vergleich von Analyse, aus verschiedenen Standorten und aus Phasen verschiedener Dynamik, Rückschlüsse auf die chemische Prozesse, ihrer Verteilung und damit auf die Stoffwechselfunktion des Urwaldgebiets ableiten.

Die Gewässer Rothausbach, Moderbach und einige ihrer Zuflüsse bzw. Quellen wurden in mehrmaligen Messserien auf die Chemische Zusammensetzung beprobt und untersucht. Diese Analysen wurden in verstärktem Ausmaß im Jahr 2000 und 2001 durchgeführt.

Eine detaillierte Methodenbeschreibung für die Analyse von Wasser und Schneeproben, aber auch für die Analysen der Bohrkerne der untersuchten Moore, folgt nachstehend.

4.3 Temperaturmessung

Die Dämpfung des Sonnenenergiepulses, durch Vegetationsstrukturen und Wasser, wird durch die Messung ihres zeitlichen und räumlichen Temperaturverhaltens im Tages- bzw. Jahresgang bestimmt. Für die Messungen wurden bezüglich der Energieversorgung autarke, zeitlich hochauflösende Vierkanalsonden eingesetzt.

Temperatursonden mit einer zeitlichen Auflösung von 20 Minuten erfassen die Temperatur jeweils in10 cm Bodentiefe, an der Bodenoberfläche, 10 cm und 200 cm über dem Boden und geben damit Aufschluss über die Verdunstungsfähigkeit der Landschaft. Wassergesättigter Boden bzw. bis oben anstehendes kapillares Wasser weist hohe thermische Pulsdämpfungseigenschaften (vgl. Abbildung 3) auf, während das Fehlen von Wasser zur lokalen Überwärmung führt.

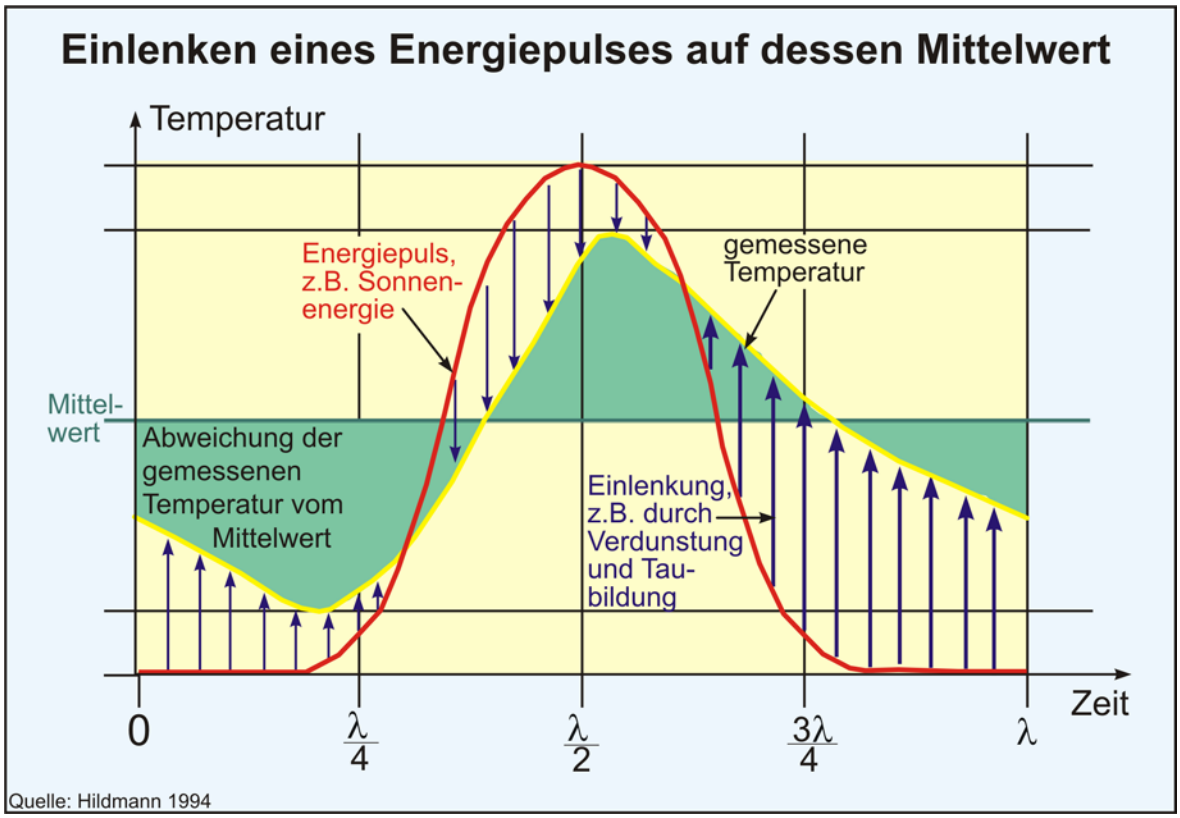


Abbildung 3: Prinzipskizze Temperaturdämpfung

Der Einsatz von kontinuierlich registrierenden Mehrkanal-Messsonden mit einer Messfrequenz von 3*h-1 erlaubt, an einzelnen Messstandorten, die Registrierung der Temperaturen an jeweils 4 Punkten. Diese wurden wie folgt gewählt: in 10 cm Bodentiefe (Kanal 4), an der Bodenoberfläche (Kanal 3), in 10 cm Höhe (Kanal 2) und in 2 m Höhe über dem Boden (Kanal 1). Drei Temperatursonden wurden zunächst an 3 verschiedenen Standorten aufgestellt. Zwei wurden im kleinen Urwald aufgestellt und eine Sonde wurde auf einer mit Gras bewachsenen Freifläche vor dem Jagdhaus „Langböden" installiert. Diese Sondenmessungen wurden sukzessiv im Untersuchungsgebiet durch Aussetzen von weiteren Sonden und Umsetzen erweitert, so dass heute Information von mehreren interessanten Standorten vorliegt. Damit diese Information bezüglich der Temperaturdämpfung verglichen werden kann, wurde ein Algorithmus verwendet, der eine Bemessung der einzelnen Standorte für die untersuchten Monate ermöglicht und der auch die Berechnung eines Gesamtdämpfungsfaktors für die einzelnen Standorte zulässt. Der Dämpfungsfaktor sollte sowohl die räumlichen wie auch die zeitlichen Dämpfungseigenschaften für die Temperaturschwankungen des Standorts widerspiegeln. Wirkungsgrade wie auch Dämpfungsfaktoren sind dynamische Systemeigenschaften, welche nur in ihrer regionalen und zeitlichen Einbettung repräsentativ sind. Sie sind weder unmittelbar auf andere Standorte übertragbar, noch linear. Dies heißt ein doppelt so hoher Dämpfungsfaktor bedeutet nicht einen doppelt so guten Standort. Diese in unserem Fall berechneten Dämpfungsfaktoren sind dagegen geeignet, richtungssicher Verbesserungen

oder Degradierungen des Standorts anzuzeigen und damit ein objektives Maß für die Veränderungen der einzelnen Standorte zu liefern.

Der anstelle eines theoretischen Wirkungsgrads verwendete empirisch ermittelte Temperatur- Dämpfungsfaktor wurde wie folgt berechnet:

$$100 - \left(\frac{A * SD}{100} \right)^5$$

Die Zahl 100 und der Exponent 5 wurden so gewählt, dass eine gute Spreizung (Verteilung) der Dämpfungsfaktoren zwischen 0 und 1 gegeben ist.

A = die über ein Monat gemittelten maximalen Tagesamplituden

SD = die Standardabweichung von A

Die Auswahl, der Beobachtungsstandorte für die Temperatursonden, erfolgte für den ersten Messzeitraum vom 26.5.99 bis 26.8.99, nach den Gesichtspunkten an zwei relativ ähnlichen Urwaldstandorten (S01 und S02) über den Sommerzeitraum erste Erfahrungen zu machen. Als Referenz wurde eine offene Wiese vor dem Jagdhaus „Langböden" ausgewählt (S03). Dieser Standort deckt sich mit dem Standort der Freilandbeobachtungen, welche Roller 1944 durchgeführte (Roller 1963).

Standort	Nr.	Rechtswert	Hochwert
Kleiner Urwald	S01		
Kleiner Urwald	S02		
Freifläche vor Jagdhaus	S03		
Buchengürtel-Inversionszone	S06		
Picetum	S07		
Lawinenhang (Hotspot)	S08		
Schneegrube (Coolspot)	S09		
Großer Urwald	S99		

Tabelle 2: Standorte der Temperatursonden

Ab Mitte August 2000 wurden fünf weitere Temperatursonden installiert. Zwei (S08 und S09) wurden in Hochlagen, an denen bislang in sämtlichen Satellitenszenen maximale positive und negative Temperaturauslenkungen festgestellt werden konnten, aufgestellt.

Zwei weitere Temperatursonden wurden im Mittelhang des Buchengürtels S06 bzw. im darüber liegenden Picetum installiert, um den Temperaturverlauf zu registrieren. Der Standort S07 - Picetum wurde deshalb gewählt, um die Bedeutung der „Fichtenkappe" dieses höhenzonalen Waldvegetationsbereichs (bei uns um 1400 m NN) zu untersuchen.

Dieses Picetum gehört zu den letzten Restbeständen in diesem Höhenbereich, da hier Almflächen durch großflächige Rodungen in den letzten 2000 Jahren kahl gelegt wurden. Pflanzensoziologisch sprechen wir vom montanen Karbonat Alpendost - Fichtenwald. Adenostylo glabrae-picetum (Zukrigl 1973) in der subalpinen Stufe. In der Urwaldarbeit von 1962, hat Dr. Zukrigl die rudimentären Überbleibsel dieser reinen Fichtenwälder mit eingesprengtem Ahorn als „PICETUM ACERI" angesprochen.

Es wird vermutet, dass sich diese hoch liegenden Standorte in der dynamischen Kondensationszone für den im Urwald durch Verdunstung entstehenden Wasserdampf befinden und sich deshalb, in diesen Höhenlagen (etwa 1200-1400 m), durch Freisetzung latenter Wärme die thermophile Vegetationszone eines Buchengürtels in der Inversionszone ausbildet. Die letzte Sonde (S99) wurde im großen Urwald 2001 installiert und bis 5.7. 2002 betrieben.

Die Laufzeiten der Temperatursonden sind in Abbildung 4, die Standorte in Abbildung 5 und Tabelle 2 dargestellt.

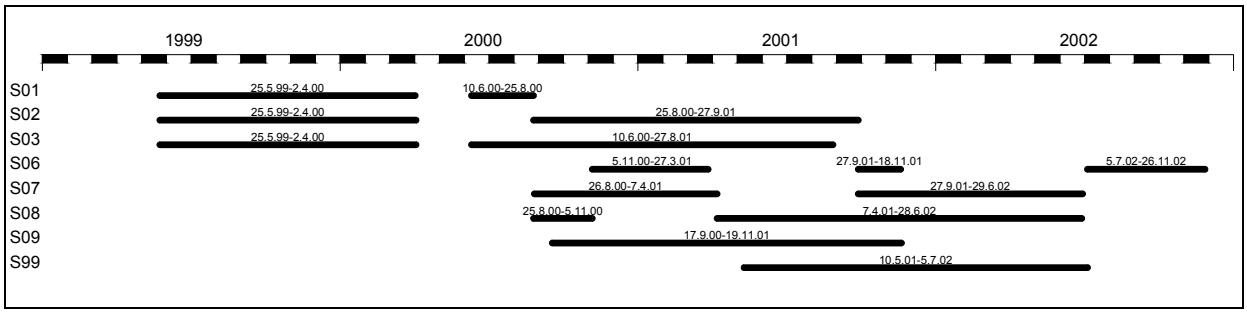
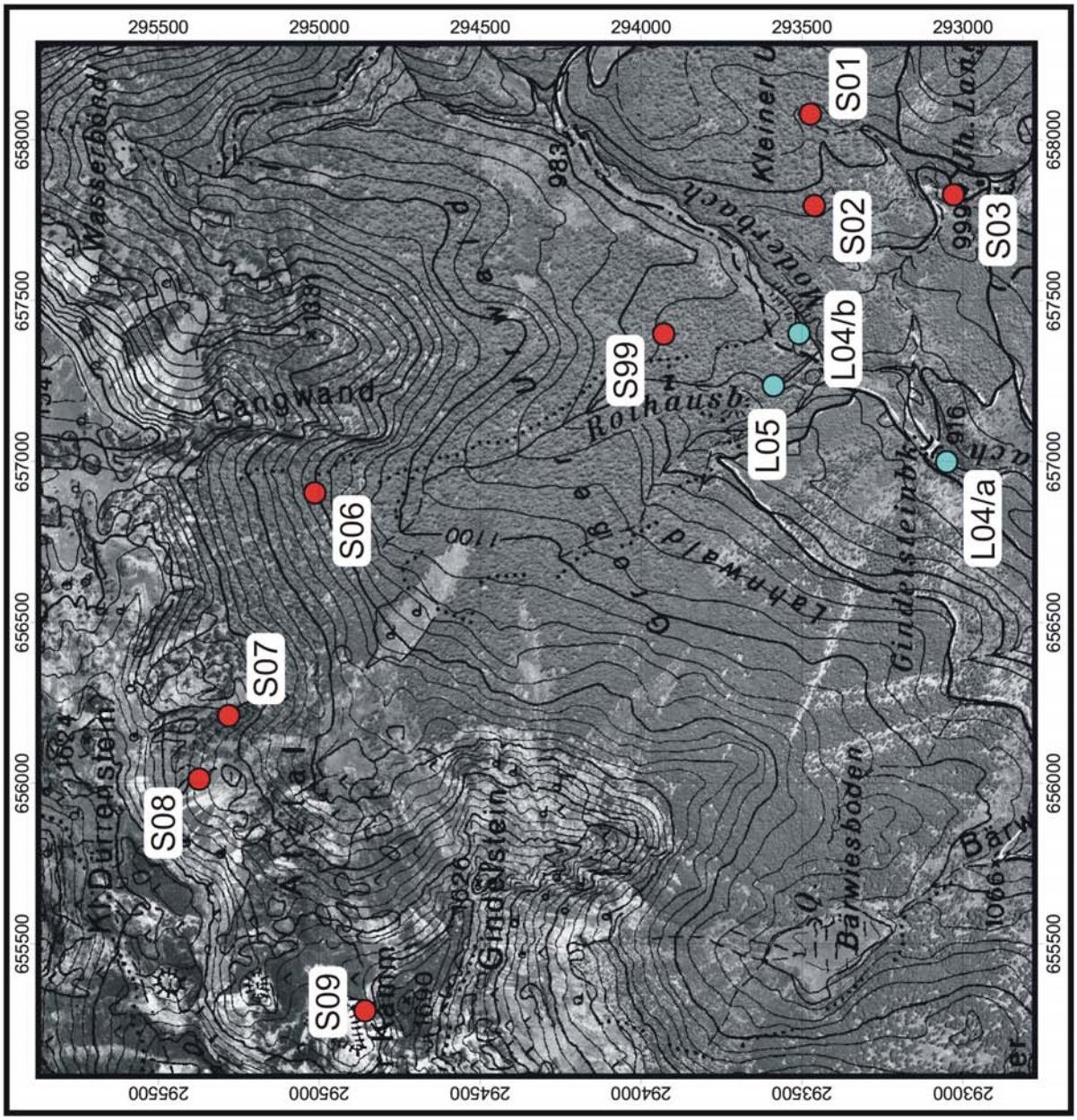


Abbildung 4: Laufzeiten der Temperatursonden



Sondenstandorte

S01 Kleiner Urwald
S02 Kleiner Urwald
S03 Freifläche vor Jagdhaus
S06 Buchengürtel-Inversionszone
S07 Picetum
S08 Lawinenhang (Hotspot)
S09 Schneegrube (Coolspot)
S99 Großer Urwald
L04/a Rothbach (Gindelsteinbrücke)
L04/b Moderbach (Kolk)
L05 Rothausbach (Kolk)

Wildnisgebiet Dürrenstein

Flugdatum: 3.7.94
Orthosfotos:
6630-100, 6630-101
6630-102, 6630-103

Quelle: NÖGIS
Grid: BMN 34
Rasterweite= 500 m

Projekt: "Funktionale Landschaftsanalyse" im Albert Rothschild Wildnisgebiet Rothwald

Wissenschaftl. Leitung: Prof. Dr. W. Ripl
Bearbeitung: T. Wilhelm Ripl

Abbildung 5: Standorte der eingesetzten Sonden

4.4 Satellitenbildverarbeitung

Satelliten erfassen über unterschiedliche Sensoren die Strahlungseigenschaften der Erde. Im vorliegenden Fall, der Aufnahmen des Landsat 5, messen die Sensoren die Intensität der von der Erde emittierten bzw. reflektierten Rückstrahlung (Strahlungsdichte) in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen (vgl. Tabelle 3). Die einzelnen Kanäle repräsentieren jeweils einen dieser Bereiche.

Kanal-Nr.	Wellenlänge (µm)		Auflösung (m)
1	0,45 - 0,52	Sichtbar blau	30 * 30
2	0,52 - 0,60	Sichtbar grün	30 * 30
3	0,63 - 0,69	Sichtbar rot	30 * 30
4	0,76 - 0,90	Nahes Infrarot	30 * 30
5	1,55 - 1,75	Mittleres Infrarot	30 * 30
6	10,40 - 12,50	Thermisches Infrarot	120 * 120
7	2,08 - 2,35	Mittleres Infrarot	30 * 30

Tabelle 3: Aufnahmebereiche des Landsat 5 TM

Die Sensoren, die über einen beweglichen Spiegel die Erdoberfläche abtasten, zerlegen diese in einzelne Bildelemente (Pixel) und geben die durchschnittliche Strahlungsdichte für einen Pixel wieder. Diesen Werten werden, entsprechend der Auflösung des Sensors, Zahlen zwischen 0 und 255 (ein Byte) zugeordnet.

Das Sensorsystem „Thematic Mapper" (TM) des Satelliten Landsat 5 bot sich für die Auswertung an. Seine Auflösung beträgt in den zur Bestimmung der Flächennutzung nutzbaren Kanälen 30 * 30 m und im Thermalkanal (Kanal 6) 120*120 m. Aufnahmen des Landsat 5 TM stellen damit zur Zeit, die für den Zweck der Oberflächentemperaturabschätzung günstigste Datenquelle, bei einer noch hinreichenden räumlichen Auflösung, dar. Allerdings wird der Vorteil der relativ hohen räumlichen Auflösung durch eine geringere Aufnahmehäufigkeit geschmälert. Der Satellit überfliegt ein Gebiet nur alle 8 bis 16 Tage. So kann es abhängig von der Wetterlage vorkommen, dass über viele Monate keine wolkenfreie Aufnahme vorliegt. Treten in einer Satellitenszene Wolken auf, so werden durch die Sensoren die Eigenschaften der Wolken anstelle der darunter liegenden Erdoberfläche, festgehalten. Auch der Schattenwurf von Wolken führt zu Schwierigkeiten der Interpretation, da er die Einstrahlung gegenüber nicht verschatteten Flächen verringert, wodurch die Rückstrahlung der beschatteten Flächen ebenfalls reduziert ist.

Um Satellitenbilder mit anderen Informationen überlagern zu können (z.B. Einzugsgebietsgrenzen, Fließgewässernetz), müssen diese geometrisch korrigiert werden. Geometrische Verzerrungen gehen dabei hauptsächlich auf folgende Faktoren zurück:

- Die Erdkrümmung
- Starke Höhenunterschiede in der Szene

- Die Erdrotation; während der kontinuierlichen Abtastung dreht sich die Erde senkrecht zur Satellitenlaufbahn weiter
- Den Weiterflug des Satelliten senkrecht zur Aufnahmerichtung („Scan Time Scew")
- Eine ungleichmäßige Spiegelgeschwindigkeit (Abbremsen vor dem Zurückfahren)

Die Geokorrektur erfolgt über so genannte Passpunkte. Das sind Punkte, denen sich sowohl in einzelnen Kanälen der Satellitenszene, als auch auf einer topographischen Karte Koordinaten zuordnen lassen. Mit speziellen Berechnungsverfahren wird aus den Koordinatenpaaren der Passpunkte eine Formel ermittelt, mit der die alten Koordinaten auf die neuen transformiert werden können. Dabei wird der durchschnittliche Lagefehler über alle Passpunkte und für jeden einzelnen Passpunkt berechnet. Durch die Eliminierung der Passpunkte mit den größten Lageungenauigkeiten kann eine Verbesserung der Lagegenauigkeit erzielt werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Anzahl der Passpunkte nicht zu gering wird und diese die gesamte Fläche abdecken.

4.4.1 Besonderheiten bei der Interpretation der Thermaldaten

Ein Großteil der kurzwelligen Einstrahlung wird absorbiert und in Erwärmung der bestrahlten Objekte (Boden, Vegetation, etc.) umgesetzt. Das Ausmaß der Erwärmung hängt in erster Linie von der Verdunstung und der Wärmekapazität der bestrahlten Oberflächen ab. Die in Kanal 6 des Landsat 5 TM erfasste Strahlung gibt Aufschluss über die Temperatur der ausstrahlenden Oberfläche.

Die in diesem Projekt verwendeten Temperaturen stellen Schwarzkörpertemperaturen (Strahlungstemperaturen) dar. Ein Schwarzkörper gibt bei jeder Temperatur und jeder Wellenlänge das Maximum an Strahlung ab. Alle anderen natürlichen und künstlichen Materialien (Gesteine, Vegetation, Beton etc.) sind dagegen näherungsweise nur Graukörper, welche bei gleicher Temperatur weniger Strahlung als Schwarzkörper abgeben. Die wirklichen Oberflächentemperaturen von Graukörpern sind daher immer höher als die Schwarzkörpertemperaturen.

Ein Maß für die geringere Temperaturstrahlung ist der Emissionskoeffizient. Ein um 1% geringerer Emissionskoeffizient führt zu einer Unterschätzung der realen Temperatur von 0,2° bis 0,6° Kelvin (Goßmann 1990). Die Höhe dieses Betrages hängt in erster Linie von dem Temperaturunterschied zwischen der Oberfläche und der darüber befindlichen Luftschicht ab. Die Unterschätzung wird, abgeleitet aus der Lufttemperatur der Klimastationen und den mittleren Temperaturen der Satellitenszenen, im Bereich zwischen 0,3° und 0,45° Kelvin liegen.

In Tabelle 4 sind für einige Oberflächenarten die Emissionskoeffizienten aufgeführt.

Oberflächenart	Emissionskoeffizient
Wasser, rein, 1 °C	0,998
Eis	0,980
Sand, fein, trocken	0,949
Sand, fein, naß	0,962
Lehm, sandig, trocken	0,954
Lehm, sandig, naß	0,968
Torf, trocken	0,970
Torf, naß	0,983
Gras, grün, dichte Struktur	0,986
Gras, grün, dünne Struktur auf feuchtem sandigen Lehm	0,975
Nadelwald	0,970
Laubwald	0,950

Tabelle 4: Emissionskoeffizienten einiger ausgewählter Oberflächen in Spektralbereichen zwischen 8 und 14µm. (Ausgewählt aus der Zusammenstellung von Baumgartner et al. 1985, zit. in Goßmann 1990)

Beide Effekte (Emissionskoeffizient und Temperatur der Luftschicht) werden in der vorliegenden Arbeit vernachlässigt, da es in erster Linie auf eine Feststellung größerer relativer Temperaturunterschiede ankommt.

4.4.2 Schritte der Satellitenbildverarbeitung

Die Satellitendaten wurden weitgehend mit dem verbreiteten kommerziellen Programm IDRISI (Idrisi for Windows, Version 2.0) der Clark University Worcester (Massachusetts, USA) verarbeitet.

4.4.3 Geokorrektur anhand von Passpunkten

Zur Geokorrektur und Entzerrung auf das Gauß-Krüger Koordinatensystem mit IDRISI wird ein Polynom 2. Grades eingesetzt. Dabei findet die Methode „Nearest Neighbour" Anwendung. Diese ordnet dem Ergebnispixel mit dem Pixelzentrum (x,y) den Wert des Ursprungpixels zu, dessen Mittelpunkt seinem Pixelzentrum (x,y) am nächsten liegt.

Für alle Satellitenszenen sollte eine Lagegenauigkeit von unter 30 m (Pixelbreite) erreicht werden. Eine weitere Verbesserung ist, sowohl aufgrund der möglicherweise noch vorhandenen Versätze von einem Pixel in den Szenen, als auch bedingt durch die Papierverzerrung der topographischen Karten, kaum möglich.

4.4.4 Berechnung der Schwarzkörpertemperatur

Der Kanal 6 des Landsat 5 TM wird zur Ermittlung der Schwarzkörpertemperaturen eingesetzt. Ohne atmosphärische Korrektur, wie im vorliegenden Fall, können die absoluten Oberflächentemperaturen Fehler bis zu 1 °C aufweisen. Da in erster Linie die relativen Unterschiede von Interesse sind, wurde auf diesen Schritt verzichtet.

Die Berechnung der Schwarzkörpertemperaturen, für die verschiedenen Szenen, erfolgt mittels eines in IDRISI implementierten Befehls. Dabei werden die in Kanal 6 erfassten Werte bestimmten Strahlungsdichten zugeordnet und dann in Schwarzkörpertemperaturen umgerechnet. Für die Erstellung der Temperaturkarten wurden die Temperaturen auf 0,5 °C- Schritte festgelegt.

4.5 Methodik zur Analyse der Bohrkerne

Zur Beschreibung der Landschaftsentwicklung wurden an drei Mooren vier Bohrkerne, mittels eines Kannenbohrers vom Typ Jowsey, gezogen und bezüglich der Pollenstratigraphie gewählter ^{14}C- Proben zur Altersdatierung und bezüglich der chemischen Zusammensetzung analysiert. Die Probenahme erfolgte durch Dr. A. Brande von der TU-Berlin und W. Ripl (jun.), die Pollenanalysen von K. Erd und die chemischen Analysen wurden am Fachgebiet Limnologie der TU-Berlin unter Leitung von Dr. W. Ripl analysiert. Die ^{14}C-Analysen wurden an markanten Profiltiefen vom Leibnitz Laboratorium der Universität Kiel durchgeführt.

4.6 Chemisch-physikalische Methoden der Wasser- , Schnee-, und Feststoffproben

Feldmethoden: Im Rothwaldgebiet erfolgte die Entnahme der Wasser- bzw. Schneeproben in Form von Stichproben für die physikalisch-chemischen Analysen in Säure gewaschenen und mit destilliertem Wasser gespülten 250 ml Polyethen Flaschen, sowie in vorbehandelten 50 ml Glasröhrchen. Die Proben wurden nach Berlin transportiert und im Umweltanalytischen Laboratorium des FG. Limnologie analysiert.

Den im Zusammenhang mit den pollenanalytischen Untersuchungen mittels eines Kannenbohrers entnommenen Bohrkernen wurden Teilproben für die chemische Charakterisierung der Bohrkerne entnommen und ebenfalls analysiert.

4.6.1 Physikalisch-chemische Wasseranalysen

Die **elektrische Leitfähigkeit** wurde bei +20 °C (±0,5 °C) mit einer Sonde (Fa. WTW) bestimmt.

Der **pH-Wert** wurde bei +20 °C (± 0,5 °C) potentiometrisch mit einem pH-Meter mit Einstab-Glaselektrode (Fa. SCHOTT) bestimmt. Stets wurde eine 2-Punktkalibrierung mit Eichpuffern (Fa. MERCK) vorgenommen.

Zur Bestimmung der **Makrokonstituenten (Anionen und Kationen)** wurden die Wasserproben durch mit Probewasser vorgespülte Glasfaserfilter (Fa. WHATMAN GF/C)

filtriert, während für die Analyse von **SiO_2** Faltenfilter des Typs 595 1/2 (Fa. SCHLEICHER & SCHÜLL) eingesetzt wurden.

Verdünnungsschritte wurden mit Kolbenhubpipetten vorgenommen, um für die verschiedenen Analysenschritte optimale Konzentrationsbereiche zu erzielen. Die Einzelanalysen wurden unter steter Berücksichtigung von Eich- und Blindwerten durchgeführt.

Metallanalysenproben wurden ohne vorherige Filtration mit 50 µl 65%iger HNO_3 auf 20 ml Probe angesäuert.

Die **Alkalinität** wurde durch potentiometrische Endpunkttitration (pH 5,3) mit Hilfe eines Autotitrators (Fa. RADIOMETER) und 0,01 mol/l HCl bestimmt. Bei der Titration wurde die Probe von CO_2-freier Luft durchströmt.

Die Anionen **Chlorid** und **Sulfat** wurden mit einem Ionenchromatographen (DX-100, Fa. DIONEX) als Ein-Säulensystem mit Suppressor und Leitfähigkeitsdetektor gemessen. Als Eluent wurde eine wässrige Lösung mit 3,5 mM Na_2CO_3 und 1 mM $NaHCO_3$ verwendet.

Nitrit (NO_2-N) wurde mit Hilfe der Gries-Ilosvay-Reaktion als Azofarbstoff mit der FIA photometrisch bei 540 nm bestimmt.

Nitrat (NO_3-N) wurde mit Hilfe der FIA nach on-line Reduktion zu Nitrit mit verkupfertem Cadmiumgranulat nach Wood et al. (1967) als Azofarbstoff bei 540 nm photometrisch bestimmt.

Ammonium wurde als NH_3 mit Hilfe der FIA bei 590 nm photometrisch bestimmt. Die Probe wurde in einen wäßrigen Trägerstrom injiziert und mit einem Natriumhydroxidstrom vermischt. Das gebildete Ammoniak reagiert nach Diffusion in einer Gasdiffusionszelle mit einem Säure-Base-Indikatorgemisch (Kresolrot, Bromthymolblau, Bromkresolviolett).

Für die **Gesamt-N** Bestimmung wurde ein Aufschluß nach KOROLEFF (1976) mit alkalischem $K_2S_2O_8$ (Kaliumperoxodisulfat) im Autoklaven bei +120 °C durchgeführt und entsprechend mit der Nitratbestimmungsmethode weiterbehandelt.

Zur **Gesamt-P** Bestimmung der Wasserproben wurde ein Aufschluss nach KOROLEFF (1976) mit saurem $K_2S_2O_8$ (Kaliumperoxodisulfat) im Autoklaven bei +120 °C vorgenommen. Der Gesamt-Phosphor der Proben wurde im Anschluss an den Aufschluss als Phosphat (Molybdänblaumethode nach MURPHY & RILEY 1962) mit Hilfe der FIA bei 660 nm photometrisch bestimmt.

Lösliche Kieselsäure wurde mittels FIA als Molybdänblau-Komplex nach MULLIN & RILEY (1955) unter Maskierung störender Phosphationen bei 695 nm photometrisch bestimmt. Analysenansätze, Reagenzien und Kalibrierstandards wurden in Kunststoffgefäßen geführt.

Metallanalysenproben wurden mit 65%iger Salpetersäure (50 µl HNO_3/20 ml Probe) angesäuert.

Die Alkali/Erdalkalimetalle **Na, K, Ca und Mg** wurden unter Einsatz der Ionenchromatographie (Fa. METROHM Typ 690) mit Leitfähigkeitsdetektor getrennt und bestimmt. Als stationäre Phase diente sphärisches Silicagel mit Polybutadienmaleinsäuregruppen (SUPER-SEP nach Schomburg). Als mobile Phase wurde Weinsäure-Dipicolinsäure-Eluent verwendet.

Die Metalle **Fe und Mn** wurden mit Hilfe der Flammen-AAS (Fa. PERKIN-ELMER, Modell 2100) bestimmt.

4.6.2 Physikalisch-chemische Bohrkernanalysen

Die **Bohrkerne** wurden bei +8 °C dunkel gelagert und im Labor aufgearbeitet.

Mit einem Spatel wurden die Bohrkernen in 2,5 cm dicke Proben geteilt und in Kautex Flaschen homogenisiert. Durch Konstanttrocknung bei +105 °C wurden die Trockengewichte bestimmt. Durch Glühen bei +550 °C und +900 °C bis zur Gewichtskonstanz wurden die entsprechenden Glühverluste ermittelt.

Zur Vorbereitung von **Nährstoff- und Metallanalysen** wurden die Sedimentproben gefriergetrocknet und im Exsikkator aufbewahrt.

Zur Bestimmung von Gesamt-Phosphor, Gesamt-Schwefel, Alkali-und Erdalkali,- sowie der Schwermetalle wurden 250 mg Probe in ein Glasröhrchen mit Teflonverschluss eingewogen und mit 5 ml 7 M Salpetersäure bei +140 °C 45 min autoklaviert.

Der **säureunlösliche Rest (SUR)** wurde aus der Trockensubstanz unter Berücksichtigung der bei +900 °C verglühten Substanz und der erwarteten Metalloxide berechnet. Der Karbonatanteil wurde aus der Differenz des Glühverlustes bei +550 °C und +900 °C errechnet.

Die organische Substanz wurde aus dem **Glühverlust (+550 °C)** nach Abzug des Schwefelgehaltes errechnet. Zur Ermittlung des organischen Kohlenstoffes wurde der Gesamtkohlenstoff um den anorganischen Kohlenstoffanteil korrigiert.

Die Analyse von **Gesamtkohlenstoff** und **Stickstoff** erfolgte mit einem Elementaranalysator CHN-O-Rapid (Fa. HERAEUS). Das Probenmaterial wird bei Temperaturen von +1600 ° - +1800 °C oxidiert und die Gasprodukte (CO_2, N_2) über einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor bestimmt. Die **Schwefelbestimmung** erfolgte mit einem S-

Analysator derselben Firma bei Verbrennungstemperaturen von +1150 °C. Das entstehende SO_2-Gas wird mit einem IR-Photometer detektiert.

Der **Gesamt-Phosphor** der Sedimentproben wurde im Anschluss an den Aufschluss als Phosphat (Molybdänblaumethode nach MURPHY & RILEY 1962) mit Hilfe der FIA bei 660 nm photometrisch bestimmt.

Die Metalle **Na, K, Ca, Mg, Fe** und **Mn** wurden mit Hilfe der Flammen-AAS (Modell 2380, PERKIN-ELMER) bestimmt. Bei der Bestimmung von Na und K wurde als Ionisationspuffer salzsaure CsCl- und $Al(NO_3)_3$-Lösung nach Schuhknecht & Schinkel zugesetzt, während bei Ca- und Mg-Analysen salzsaure La_2O_3-Lösung als Freisetzungs-Reagenz hinzugefügt wurde.

5 Resultate und Diskussion

5.1 Ergebnisse der zeitlich hochauflösenden Vierkanal-Temperatursonden

Insgesamt liegen für die Zeitperiode vom Mai 1999 bis Oktober 2002, bezüglich der Temperatur, 20-minütige Sondenmessungen an insgesamt 8 Stellen vor. Durch Umsetzung einzelner Messgeräte, die meist über ein Jahr betrieben wurden und verschiedene Gebietstypen repräsentieren, konnten die thermischen Charakteristika einzelner Standorte ermittelt werden.

Abweichend von der herkömmlicher Gepflogenheit, die einzelnen Sensoren von direkter Sonneneinstrahlung durch Abschattung zu schützen, wurden sämtliche Sensoren nur mit roten Plastikkappen geschützt und der Lage der Kanäle entsprechend angeordnet. Der Kanal 2 (10 cm über dem Boden) und der Kanal 1 (200 cm über dem Boden) waren entsprechend dem Standort, außer bei Beschattung durch die Vegetation, direkter Strahlung ausgesetzt. Damit wurde erreicht, dass nicht die Lufttemperatur sondern die Körperstrahlung der Wärme absorbierenden Phasengrenzflächen erfasst wurde. Diese war beim Vergleich mit der thermischen Signatur der Satellitenbilder von Interesse. Die Sensoren registrierten Temperaturen entsprechend den Beschattungsverhältnissen und der Beschattungsdauer bei gegebenen Witterungsverhältnissen. Aus den in Abbildung 6 dargestellten Tagesgängen von S01 und S02, beide Standorte im kleinen Urwald gelegen, und der Sonde in „Langböden" S03, können bei einer zeitlichen Auflösung von 20 Minuten die Temperaturabweichungen unter besonnten und beschatteten Verhältnissen verfolgt werden. Von Interesse ist der Kanal 3 von S03, der die höchsten Temperaturen direkt an der Bodenoberfläche ausweist. Diese Temperaturen sind es jedoch, die für die Prozesse an diesen Punkten (wie Reaktionen und Verdunstung bzw. bei Fehlen von Wasser für das Überhitzen) bestimmend sind. Es kann in den Abbildungen der Temperaturgänge somit direkt abgelesen werden, welchen Einfluss Beschattung, Wind und Niederschlag zu verschiedenen Zeitpunkten an der energetisch

aktiven Phasengrenzfläche auf die Prozesstemperatur ausüben. Aus der Form der Anstiegs- und Abstiegsäste der Temperaturkurven können somit wichtige Informationen über den energiedissipativen Prozess an verschiedenen Standorten gewonnen werden.

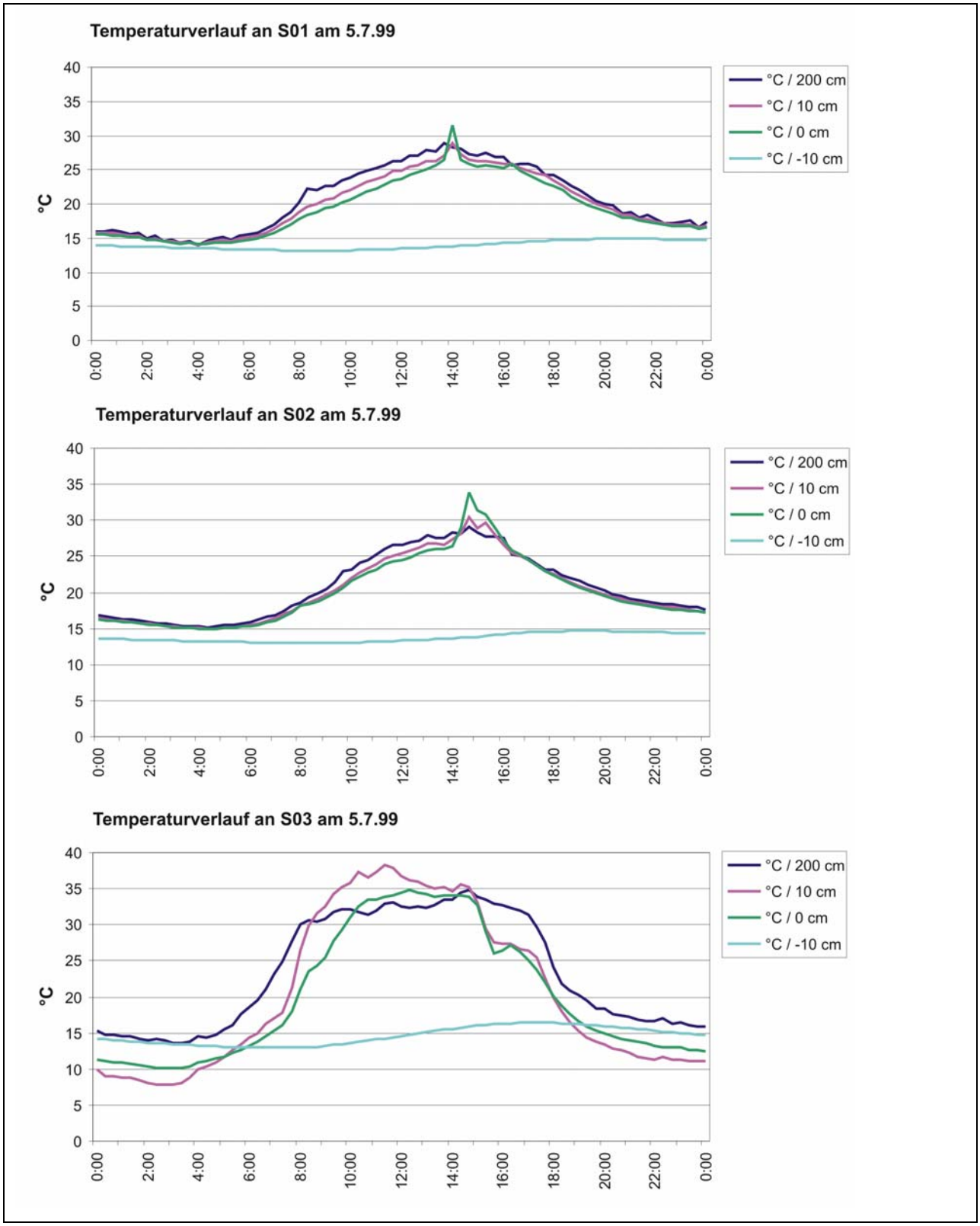


Abbildung 6: Temperaturverlauf an S01, S02 und S03 am 5.7.03

Neben den Sonden S01 und S02 im kleinen Urwald wurde eine weitere Sonde am Forsthaus „Langböden" S03 betrieben. Danach wurden weitere Standorte gewählt, welche sich nach der Beurteilung der Satellitenbilder als überwärmteste bzw. kühlste Stellen auszeichneten. Als „Hotspot" (wärmster Messpunkt) diente der Lawinenhang S08, ein Messstandort wurde im Buchengürtel S07 gewählt, ein weiterer im Picetum S06 und als „Coolspot" (kühlster Messpunkt) wurde die Schneegrube S09 ausgesucht. Zusätzlich wurde eine Sonde im großen Urwald (S99) aufgestellt. Die genaue Anzahl der erhobenen Messdaten variiert stark zwischen den einzelnen Messpunkten, da einerseits die Installationszeiten der Sonden und die Sondenrückstellzeiten von Standort zu Standort verschieden sind und witterungsbedingt Ausfallzeiten hingenommen werden mussten. Die Daten liegen digital vor und werden auf CD-ROM archiviert dem Endbericht beigelegt. Im vorliegenden Bericht werden die, über jeweils einen Monatszeitraum gemittelten Tagesgangsdaten, sowie die Varianzen dieser Daten für die vier Kanäle an den einzelnen Standorten vorgestellt. Die Monatsmittelwerte, die Monatsminima, die Monatsmaxima, die Standardabweichung und der Dämpfungsfaktor DF aus allen vier Kanälen wurden berechnet und in Tabelle 6 im Anhang dargestellt.

Neben den tabellierten Hauptdaten wurden, für die einzelnen Monate und die einzelnen Kanäle, die Tagesgänge der Temperaturen sowie der Varianzen $(SD)^2$ gemittelt und dargestellt. Siehe Abbildung 18 - Abbildung 25 im Anhang.

Während sich auf Tagesbasis, bei den im kleinen Urwald platzierten Sonden S01 und S02, im Kanal 4 (10 cm im Boden) kaum noch Tages- und Nachtschwankungen zeigen (Minima auf diesem Kanal treten meist zwischen 8 und 9 Uhr morgens auf, die Maxima meist zwischen 19 und 20 Uhr) sind die übrigen Kanäle deutlich, mit Minima um 3 – 5 Uhr und Maxima zwischen 12 und 15 Uhr, differenziert. In den Tagesgängen zeigen sich im Gegensatz zur Sonde auf der Freifläche S03 meist die geringsten Temperaturen an der Bodenoberfläche mit einigen kurzfristigen Ausnahmen, wo zur Mittagszeit der Bodenkanal 3 kurzfristig maximale Werte aufweist.

Während der Nachtzeit ist der Temperaturausgleich zwischen den Kanälen 1, 2, und 3 meist sehr gut, wobei bei den meisten Tagesgängen in der Nacht der Bodenkanal über den beiden anderen Kanälen liegt. Die meisten dieser Tagesgänge zeigen weiters asymmetrische Verhältnisse mit einem langsameren Temperaturanstieg der vielfach unter 1°C pro Stunde liegt und einer etwas rascheren Abkühlungsphase zwischen 1-2 °C pro Stunde. Vergleiche Abbildung 7 bzw. Abbildung 18 - Abbildung 25 im Anhang.

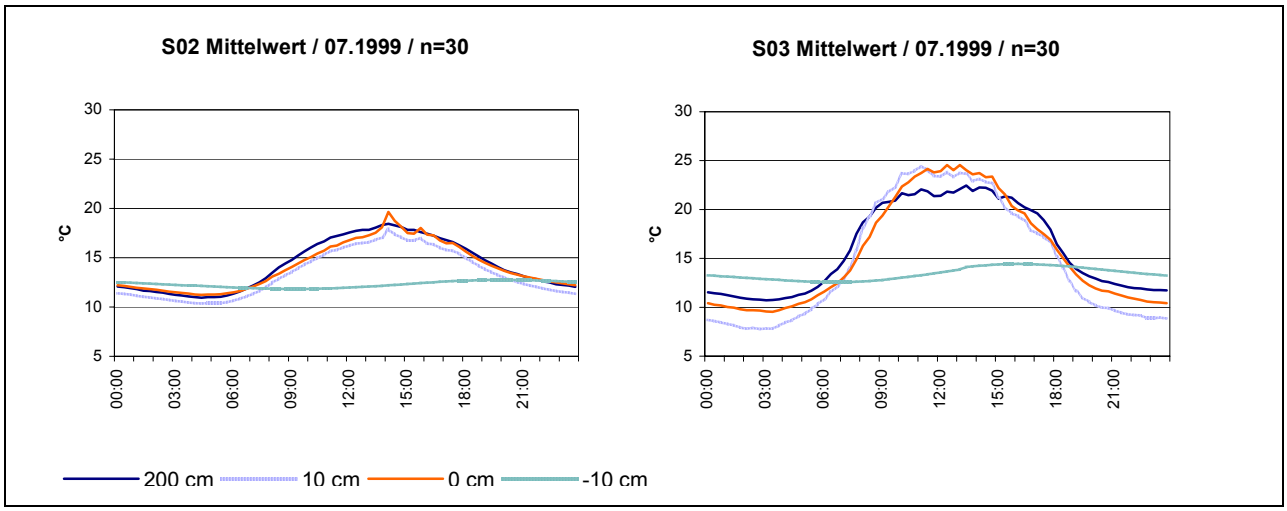


Abbildung 7: Gemittelte Tagesgänge auf Monatsbasis. Vergleich Kleiner Urwald (S02) mit Freifläche (S03)

Schließlich wurden die einzelnen Standorte über die Dämpfungsfaktoren (DF) gerankt, wobei nur Monatsmittel von Monaten zwischen Mai und September in diesen Standortvergleich einbezogen wurden.

Ranking	Standort	Sonde	Dämpfungsfaktor
1	Buchengürtel-Inversionszone	S06	0,83
2	Großer Urwald	S99	0,82
3	Picetum	S07	0,77
4	Kleiner Urwald	S02	0,76
5	Kleiner Urwald	S01	0,74
6	Schneegrube (Coolspot)	S09	0,64
7	Freifläche vor Jagdhaus	S03	0,58
8	Lawinenhang (Hotspot)	S08	0,56

Tabelle 5: Dämpfungsfaktoren für die jeweiligen Sondenstandorte

Für die Sonde S01 (auf einer Höhe von 1005 m NN und bei einer Hangneigung von etwa 8% nach WSW exponiert) im kleinen Urwald liegen insgesamt ausgewertete Daten für 15 Monate vor und zwar vom Mai 1999 (5 Tage) – August 2000 (25 Tage) bzw. für die übrigen Monate 30 Tage. Für den Standort S01 wurde eine Dämpfungswert von 0,74 errechnet.

Für S02 (in einer Höhe von 970 m NN, einer Hangneigung von etwa 8% und nach W exponiert) liegen Messdaten für 25 Monate vor und zwar vom Mai 1999 (6 Tage) – September 2001 (26 Tage). Messlücken liegen für S01 für April und Mai 2000 vor, während im Jahr 2000 für S02 für April – November Datenlücken vorhanden sind. Für den Standort wurde ein Dämpfungsfaktor von 0,76 berechnet. Für beide Serien ergab sich eine gute Übereinstimmung bezüglich der täglichen bzw. monatlichen Mittelwertsmuster sowie für die Varianzen. Für sämtliche Kanäle der Sonden im kleinen Urwald wurde, insbesondere in den Sommermonaten, ein sehr guter Temperaturausgleich für die einzelnen oberirdischen Messhöhen festgestellt. Die Varianzen zeigen jedoch deutliche Anstiege der Muster zwischen

12 und 15 Uhr. Die höchsten Varianzen wurden für die Sensoren an der Bodenoberfläche und in 10 cm über dem Boden festgestellt, während in 2 m Höhe geringere Varianzen auftraten. Die besten Dämpfungseigenschaften zeigten jedoch die Sensoren in 10 cm Bodentiefe (Kanal4) wo sich kaum mehr Tagespulse feststellen ließen. Die Temperaturvarianzen lagen bei diesen Sensoren sehr nahe an 0.

Die maximalen Mittelwerte in den Sommermonaten schwankten meist zwischen 15 und 20°C. Von Interesse ist bei allen Tagesgängen im kleinen Urwald der langsame Anstieg der Temperatur an Vormittagen und maximale Temperaturen zwischen 12 und 15 Uhr für die Kanäle an der Bodenoberfläche und darüber, während der Sensor in 10 cm Tiefe (Kanal 4) erst zwischen 18 und 21 maximale Tagestemperaturen anzeigt.

Starke Abweichungen zu den Temperaturmessungen der Stationen S01 und S02 zeigten sich bei der Station S03, welche auf einer offenen Wiese vor dem Forsthaus Langböden eingerichtet war. Für diese Sonde liegen insgesamt 25 Monate für die Zeit vom Mai 1999 bis August 2001 vor. Messlücken traten für März und April 2000 auf.

Die Sonde auf der Freifläche S03, außerhalb des eigentlichen Urwaldgebietes (995 m NN bei einer Hangneigung von 8% und nach WNW exponiert), zeigt dagegen, während der Sommerperiode wesentlich raschere Temperaturanstiege und langsamere Abkühlungen. Die Maxima und Minima sind stärker ausgeprägt und wurden meist im Bodenkanal 3 (0 cm) aber auch im Kanal 2 (10 cm über dem Boden) registriert. Auf der Freifläche wurden die höchsten Temperaturen zum Teil vor und um 12 Uhr erreicht. Während die monatlichen maximalen Temperaturmittelwerte auf der Freifläche am Boden und in 10 cm Höhe bis an die 30°C ansteigen, ist der in 2 m Höhe (Kanal 1) liegende Sensor besser gedämpft. Die Maxima des 10 cm im Boden messenden Sensors treten meist schon um 15 Uhr auf. Insbesondere im Spätsommer betragen die mittleren Amplituden dieses Sensors um die 5°C. Der Dämpfungsfaktor wurde mit 0,58 berechnet und stellt von den gewählten Standorten das zweitschlechteste Ergebnis dar.

Die Sonde S06 wurde erst im November 2000 im Buchengürtel (1205 m NN bei einer Hangneigung von 25% und nach S exponiert) installiert. Insgesamt liegen 12 Monate mit Messungen vor bis zum November 2002, wobei eine Messlücke zwischen Oktober 2001 und Juli 2002 aufgrund eines Funktionsausfalls der Messsonde auftrat. Dieser Standort zeichnete sich durch sehr gute Temperaturdämpfungseigenschaften aus. Der berechnete Temperaturdämpfungsfaktor war mit 0,83 der höchste gemessene und übertraf damit die tiefer in der Kessellage mit seinem Buchen/Fichten/Tannen Dreiklang gelegenen Standorte. Der Buchengürtel schließt sich nach oben, hangaufwärts an und diese zonale, von der Buche dominierte, Pflanzengesellschaft bildet dort die Baumgrenze. Ursprünglich begann hier ab 1400 m NN eine Fichtenwaldgesellschaft (Picetum aceri), die heute weitgehend zerstört ist. In einem Reliktbestand dieses Picetums wurde die Sonde S07, in einer Höhe von 1425 m

SW exponiert, auf einer Verebnung einer NS-streichenden Felsformation über dem Ötztal installiert.

Für die Sonde S07 liegen insgesamt 19 Monate an Daten vor und zwar vom August 2000 bis Juni 2002. Messlücken traten vom April bis September 2001 auf. Auch diese Sonde zeigte eine hohe Temperaturdämpfung während des ganzen Jahres. Der für die Monate Mai bis Ende September berechnete Dämpfungsfaktor betrug für diesen Standort 0,77. Sowohl im Buchengürtel wie auch im Picetum traten nur für den Sensor in 2 m Höhe (Kanal 1) gemittelte Tagesmuster mit Temperaturen unter 0° C auf. Diese Bereiche oberhalb des Urwalds scheinen von der Kondensationszone des im Urwald generierten Wasserdampfes geprägt zu sein. Die hochgelegenen Standorte werden, insbesondere im Herbst und Winter, stark durch die Freisetzung der Latentwärme des Wasserdampfs positiv beeinflusst. Dies gilt vorrangig für den Buchengürtel.

Die Stelle, welche beim Überflug des Satelliten am 26.07.95 um 08:55 MEZ, am 29.06.97 um 09:21 MEZ und am 17.09.97 um 09:24 MEZ maximale Temperaturen registriert wurden, befindet sich oberhalb der Baumgrenze am Dürrenstein S08. Die relativ kühlste Stelle, in den bearbeiteten Satellitenszenen, liegt am Nordhang des sich zum Dürrensteins hinziehenden Gindelsteingrates, am Ostrand der Doline „Schneegrube" in einer beschatteten Latschen- und Geröllzone S09. Die Sonde S08 ist nach Süden exponiert und bei einer Hangneigung von 30% in einem steinigen auf 1460 m liegendem Lawinenhang aufgestellt. Hiervon liegen 13 Monate gemittelte Tagesgänge vor. Die Messperiode währte vom August 2000 – Dezember 2001. Messlücken traten im Dezember 2000 – April 2001 auf. Die Mittelwerte und die Varianzen lassen hohe Spitzentemperaturen mit relativ frühen Anstiegsphasen erwarten. Der Temperaturdämpfungsfaktor betrug für S08 0,56.

S09 liegt auf 1575m NN Höhe. Insgesamt liegen 15 Monatskurven vom September 2000 bis November 2001 mit gemittelten Tagesgängen vor. Dieser Standort ist in den einzelnen Monaten von der Dauer der Sonneneinstrahlung bei minimaler Vegetation geprägt, die sich in den Perioden erhöhter Varianz widerspiegelt. Für die Schneegrube wurde ein Dämpfungsfaktor von 0,64 berechnet.

Schließlich wurde S99 im großen Urwald auf 980 m NN in ebenem Gelände eingesetzt. Insgesamt liegen 15 Monatskurven vom Mai 2001 – Juli 2002 vor. Die Dämpfungseigenschaften dieses Standortes sind direkt mit den Standorten der Sonden im kleinen Urwald vergleichbar. Die Messungen wiesen im großen Urwald einen hervorragenden Dämpfungsfaktor von 0,82 auf.

Von größter Bedeutung, bei der Betrachtung der Temperatur der einzelnen Standorte, ist der dissipative Wasserkreislauf. Der lokale Taupunkt wird in einem Urwald meist mehrmals am Tag in beide Richtungen über- bzw. unterschritten. Dabei dienen die etwas kühleren

Bereiche, z.B. an Vegetationsteilen wie Blättern und Nadeln, als Kondensationszonen, welche bei diesem Prozess gleichzeitig gewärmt werden und die dadurch einen optimalen Temperaturausgleich erzielen. Daraus muss gefolgert werden, dass ein extrem kurzgeschlossener Wasserkreislauf für diese optimale Temperaturdämpfung sorgt. Dies wird in den über jeweils einen Monat gemittelten Tagesgängen deutlich, welche in Diagrammen für die einzelnen Urwaldstandorte dargestellt sind. Die Diagramme zeigen den fast perfekten räumlichen Temperaturausgleich zwischen den Kanälen 1, 2 und 3 sehr deutlich, während Kanal 4 (10cm im Boden) kaum mehr eine Temperaturvarianz im Boden ausweist.

Bei offenen Flächen, wie dem Sondenstandort S03 auf der Freifläche, scheint die Verdunstungsfähigkeit des Standorts durch Rodung und Nutzungsänderung bereits dahingehend beeinflusst, dass bereits doppelt so hohe Differenzen zwischen maximaler und minimaler Temperatur auftreten. Außerdem sind die gemessenen Temperaturen, in den einzelnen Kanälen, wesentlich stärker differenziert. Der Temperaturausgleich ist schlechter. Die Über- bzw. Unterschreitung des Taupunkts erfolgt bei geringeren Wasserdampfsättigungen selten, der Wasserkreislauf ist weiter geöffnet. Das Kühlsystem (Temperaturausgleichssystem) ist, in diesem Fall, bereits deutlich ineffizienter als an den beiden Urwaldstandorten.

5.2 Bedeutung der Temperatur für den Stoffhaushalt der Landschaft (Thesen)

- Durch höhere Temperaturschwankungen, aufgrund geringeren Wassergehalts, wird die Stoffumsetzung im Boden gesteigert. Eine Temperatursteigerung um 10 °C bewirkt eine etwa 2-fache Beschleunigung der Stoffwechselprozesse (van't Hoffsches Gesetz). Temperaturschwankungen im Zusammenhang mit Feuchteschwankungen (Luftzutritt zu Bodenzonen) beschleunigen in nichtlinearer Weise die Mineralisierungsprozesse.

- Ist die höhere Stoffumsetzung nicht durch positive Rückkopplung mit einer höheren Produktion der Vegetation verbunden, werden in wechselfeuchten Böden durch erhöhte Mineralisierung Stoffverluste vorbereitet, welche bei ansteigendem Bodenwasserspiegel und bei auftretendem höherem Abfluss aus dem Gebiet wegtransportiert werden.

- Flächen, welche einen größeren Anteil der Sonnenenergie in fühlbare Wärme umsetzen (im Satellitenbild die relativ wärmeren Flächen) beeinträchtigen die noch feuchteren Flächen ihrer Umgebung, indem diese aufgrund des verstärkten Luftaustausches mehr verdunsten und auf diese Weise zusätzlich Energie 'verteilen' (dissipieren) müssen.

- Eine eingeschränkte Wasserversorgung über lange Zeiträume verringert wiederum die Stoffwechselprozesse, da unter diesen Bedingungen nicht genügend Wasser für die beteiligten Mikroorganismen vorhanden ist (ausgetrockneter Oberboden, z.B. Heideflächen im Sommer) bzw. das von der Vegetation benötigte „Transportmittel" Wasser für die mineralisierten Stoffe fehlt.

- Über Temperaturkarten und die Abschätzung des thermischen Wirkungsgrades kann aufgezeigt werden, an welchen Stellen und zu welchen Zeitpunkten der Wasserhaushalt gestört ist bzw. an welchen dieser noch weitgehend intakt ist. Bei gleicher Sonneneinstrahlung gilt, dass auf relativ erwärmten Flächen bzw. Flächen mit niedrigem Wirkungsgrad (geringerer thermischer Pulsdämpfung) in stärkerem Maße durch früher auftretende negative Rückkopplungen gestört sind, als besser Temperatur ausgleichende Flächen mit höherem Wirkungsgrad.

- Die Temperatur geht, in die Wärmestrahlungseigenschaften des Bodens, als wichtiger Faktor ein. Bodennaher Wasserdampf stellt dabei das wichtigste Absorptionsfilter für die vom Boden ausgehende Wärmestrahlung dar. Die Wirksamkeit der so genannten trockenen Treibhausgase wird durch das Vorhandensein des energiedissipativen Kühlmittels Wasser in der Atmosphäre stark relativiert. Wolken tragen „glücklicherweise" zu etwa 62% zur Treibhaussituation der Erde bei.

5.3 Resultate der Auswertung von Satellitenszenen und GIS-Daten

Satellitenszenen bieten eine relativ kostengünstige Methode um die relativen Temperaturen über große Landschaftsausschnitte feststellen zu können (z.B. Landsat TM 5, 120*120 m räumliche Auflösung des Thermalkanals - Kanal 6).

Mit jeder zusätzlichen Satellitenszene kann die Aussage qualitativ verbessert werden, da die Temperaturschwankung an einer bestimmten Stelle immer besser erfasst wird. Bei annähernd gleich bleibender Nutzung wird der Informationsgewinn irgendwann nur noch sehr kleine Gebiete betreffen. Sollten aber mittelfristige Veränderungen der Landnutzung anstehen, was aufgrund der Stoffverlustproblematik anzustreben ist, wird eine Verbesserung des Wasserhaushaltes über die Verarbeitung zusätzlicher Satellitenszenen erkennbar werden.

Vom "Life Projekt Wildnisgebiet Dürrenstein" des Landes Niederösterreich mit dem Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, wurde uns dankenswerter Weise von Dr. Erhard Kraus, NÖ Beauftragter für die Errichtung des LIFE IUCN Kategorie A Schutzgebietes „Wildnisgebiet Dürrenstein" digitale Orthophotos mit höchster Auflösung, ein digitales Höhenmodell und digitale Karten vom Untersuchungsgebiet zur Verfügung gestellt. Mittels

dieser Grundlagen war es möglich die relativ gering aufgelösten thermischen Satelliten-szenen genau zu verorten und die Höhen zu berücksichtigen.

Zur besseren Beurteilung des Geländes wurden die Karten für die Hangneigung, die Ausrichtung, die Abschattung (Hillshade mit dem Sonnenstand vom 17.9.97 um 9:24 entsprechend der Szene in Abbildung 10) und die Geländehöhe berechnet. Diese Karten sind im Anhang als Abbildungen 14-17 dargestellt.

Drei Szenen, und zwar vom 26. Juli 1995 (Abbildung 8), vom 29. Juni 1997 (Abbildung 9) und vom 17. September 1997 (Abbildung 10), wurden für eine erste Bearbeitung ausgewählt. Die Schwarzkörpertemperaturen wurden errechnet und für jede Szene wurden die in der Szene vorkommende gesamte Temperaturspanne in 10 Temperaturklassen aufgeteilt und mit den entsprechenden Farben kodiert. Die “mittlere” Temperatur ist durch die Farbgrenze zwischen hellerem grün und gelb dargestellt. Die Fläche des kleinen Urwalds sowie des großen Urwalds stellen bezüglich der Temperatur dabei äußerst homogene Flächen dar, welche sich jedoch auch außerhalb des kleinen Urwalds in südlicher Richtung fortsetzen. (Vergleiche Abbildung 8).

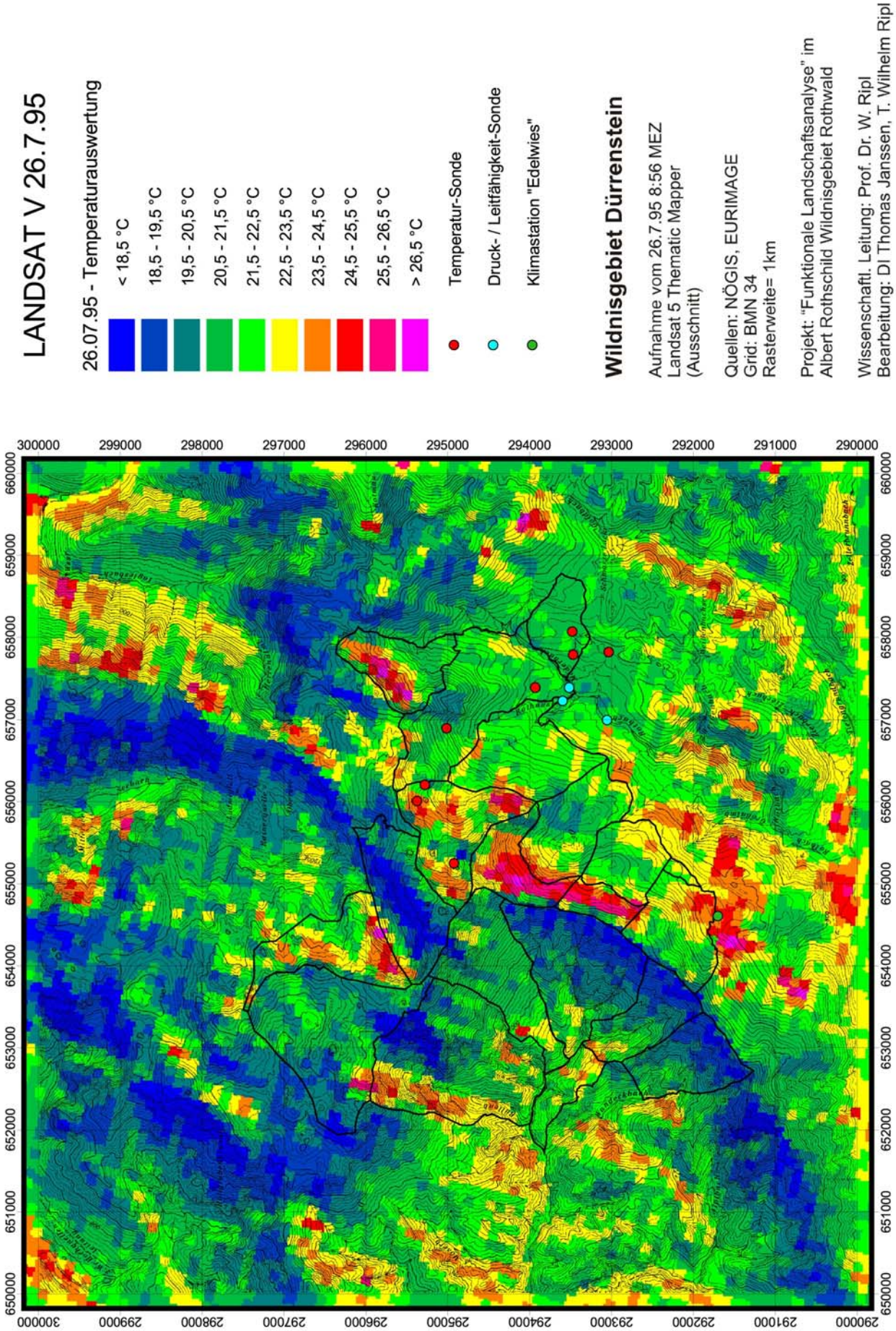


Abbildung 8: Temperaturverteilung am 26.7.95

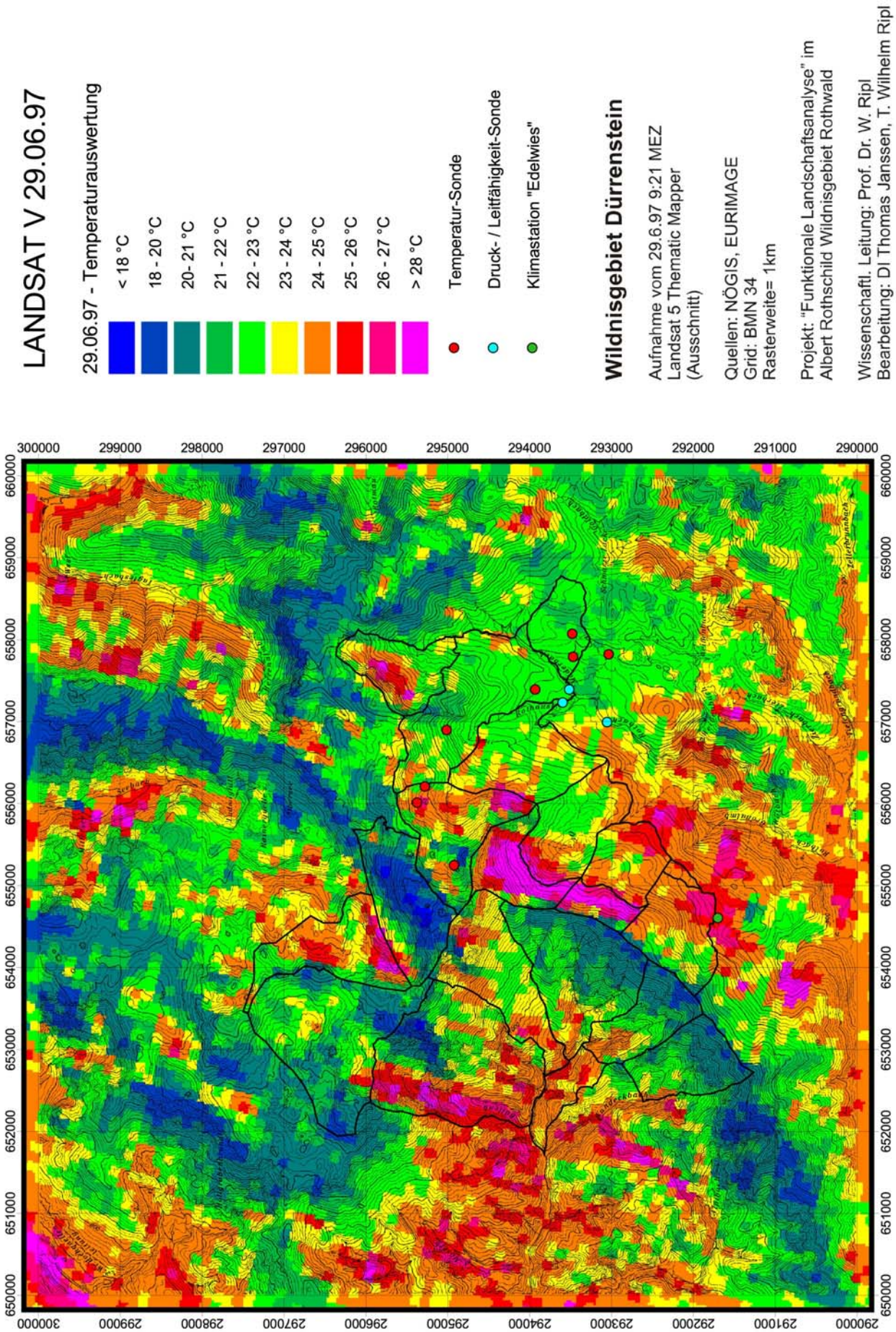


Abbildung 9: Temperaturverteilung am 29.6.97

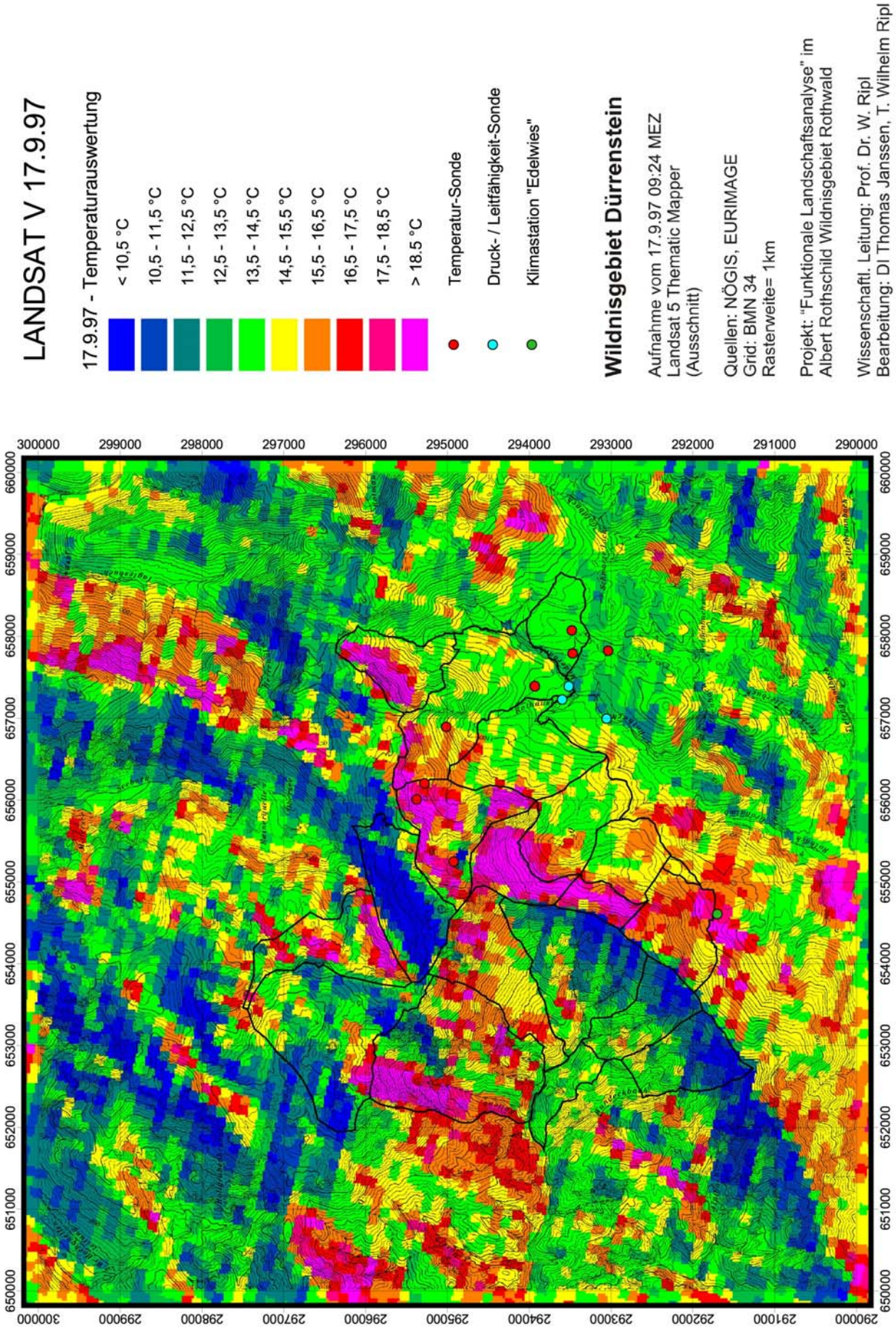


Abbildung 10: Temperaturverteilung am 17.9.97

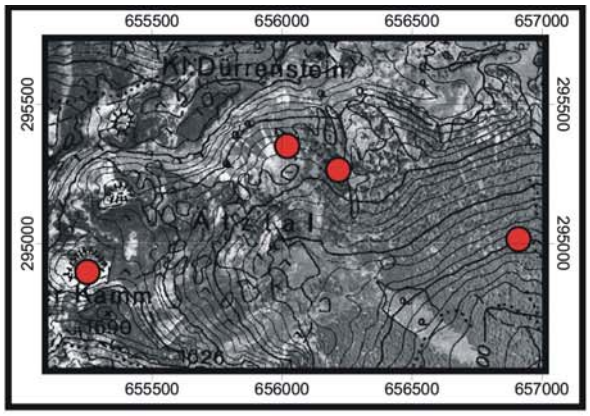
In der Herbstszene von 1997 (Abbildung 10) wird deutlich, dass der große Urwald in den höheren Lagen bezüglich einiger Pixel eine vom Mittel bis zu zwei Klassen abweichende höhere Temperatur aufweist. Zu diesem Zeitpunkt war jedoch die „mittlere Temperatur" bereits von der Juni- über die Juliszene von 23 °C und 22,5°C auf 14,5 °C abgesunken. Von Interesse ist das, durch den Windwurf am 3. November 1996, kahl gelegte Gebiet zwischen Kl. und Gr. Urwald, welches in jeder Szene leicht überhöhte Temperaturen aufweist. Ähnlich verhält sich das durch Geröllhalden fingerförmig von den höheren Lagen mit dem großen Urwald verzahnte Grenzgebiet. Stark nach oben abweichend von den thermischen Signaturen des Rothwaldgebiets mit einer Fläche von 277 ha weicht das Rothwald II Gebiet mit 299 ha und der südliche Teil des Rothwald III Gebiets. Während der nördliche Teil Rothwald III durch geringere Sonneneinstrahlung (Osthanglage) um bis zu 4 Klassen kühlere Signaturen aufweist.

Das Gebiet der Hundsau ist teilweise von verkarsteten Strukturen geprägt. Es zeigt in den südlichen Bereichen kühlere, in den westlichen Bereichen bis um 3 Klassen wärmere Bereiche. Auch der nordöstliche Bereich der Hundsau zeigt stark differenzierte Signaturen bzw. wärmere Signaturen an Südhängen.

In der Abbildung 11 wird im Vergleich, die direkte Abhängigkeit zwischen Temperaturdämpfung und Vegetation sichtbar. Der Versatz des Satellitenbildes mit der NÖGIS-Grundlage ist auf die Geländehöhenunterschiede zurückzuführen. Im vorliegenden Bericht wurden die Bilder mithilfe von Passpunkten auf die Gesamtszene korrigiert (vgl.: Kapitel 4.4.3). Bei dieser Methode können Unebenheiten im Gelände einen Versatz von maximal ein Zehntel der Geländeunterschiede ausmachen.

Neben der visuellen Auswertung in Form von Temperaturverteilungskarten lassen sich mit den klassifizierten Bildpixeln statistische Berechnungen durchführen. Auch hier bestätigen sich die besonderen Temperaturdämpfungseigenschaften des Urwaldgebietes. In der Abbildung 12 wurde einerseits die Verteilung der Temperaturklassen für die Gesamtszene, andererseits unter Verwendung der Gebietsgrenzen die Temperaturverteilung für das Wildnisgebiet und das Urwaldgebiet berechnet und in Form von Diagrammen für alle drei Satellitenszenen getrennt dargestellt.

Die Landsat TM Szenen sind mit ihrer räumlichen Auflösung für das Rothwaldgebiet sicher noch nicht optimal. Die Vervierfachung der räumlichen Auflösung im neuen Landsat Programm lässt jedoch auf noch detailliertere Information über die räumliche Verteilung der Temperaturen schließen. Die zeitlich hoch auflösenden Sonden liefern für die differenzierte Auswertung wertvolle Information. Die Niederschlags - und Strahlungsdaten aus dem Programm der Universität für Bodenkultur sind für die Bewertung der Überfliegungsereignisse äußerst wichtig. Auch für ein allmählich zu verbesserndes Modell für eine Niederschlags – Abflussbeziehung sind diese Daten von großer Wichtigkeit.

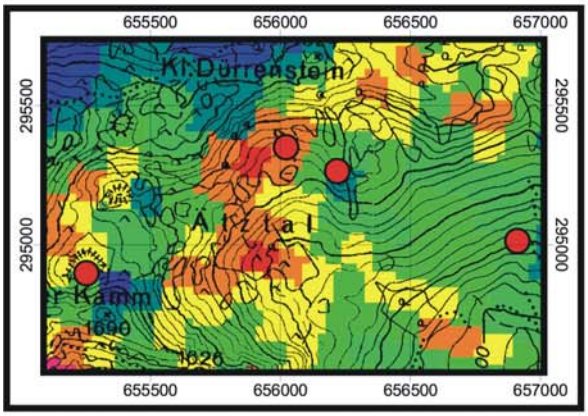


Orthofoto

Bilder:
6630-101, 6630-103

Aufnahme: 3.7.94
Quelle: NÖGIS
Grid: BMN 34
Rasterweite= 500 m

Von links (Gilt für folgende Abbildungen):
S09 (Schneegrube), S08 (Lawinenhang),
S07 (Picetum), S06 (Buchengürtel)

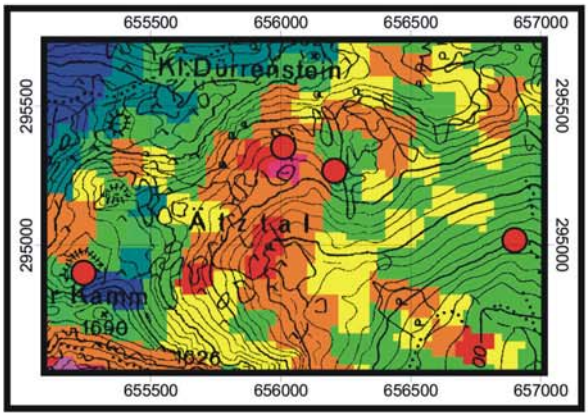


26.7.95

- < 18,5 °C
- 18,5 - 19,5 °C
- 19,5 - 20,5 °C
- 20,5 - 21,5 °C
- 21,5 - 22,5 °C
- 22,5 - 23,5 °C
- 23,5 - 24,5 °C
- 24,5 - 25,5 °C
- 25,5 - 26,5 °C
- > 26,5 °C

Schwarzkörpertemperatur
an der Oberfläche in °C

Aufnahme: 26.7.95 8:56 MEZ
Quelle: EURIMAGE
Grid: BMN 34
Rasterweite= 500 m

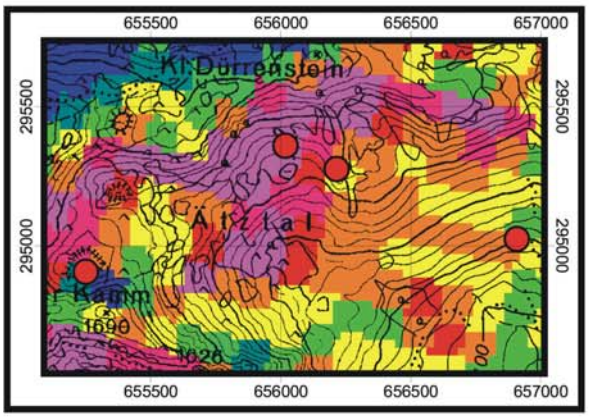


29.6.97

- < 18 °C
- 18 - 20 °C
- 20- 21 °C
- 21 - 22 °C
- 22 - 23 °C
- 23 - 24 °C
- 24 - 25 °C
- 25 - 26 °C
- 26 - 27 °C
- > 28 °C

Schwarzkörpertemperatur
an der Oberfläche in °C

Aufnahme: 29.6.97 9:21 MEZ
Quelle: EURIMAGE
Grid: BMN 34
Rasterweite= 500 m



17.9.97

- < 10,5 °C
- 10,5 - 11,5 °C
- 11,5 - 12,5 °C
- 12,5 - 13,5 °C
- 13,5 - 14,5 °C
- 14,5 - 15,5 °C
- 15,5 - 16,5 °C
- 16,5 - 17,5 °C
- 17,5 - 18,5 °C
- > 18.5 °C

Schwarzkörpertemperatur
an der Oberfläche in °C

Aufnahme: 17.9.97 9:24 MEZ
Quelle: EURIMAGE
Grid: BMN 34
Rasterweite= 500 m

Abbildung 11: Oberflächentemperatur an den Standorten S09, S08, S07 und S06.

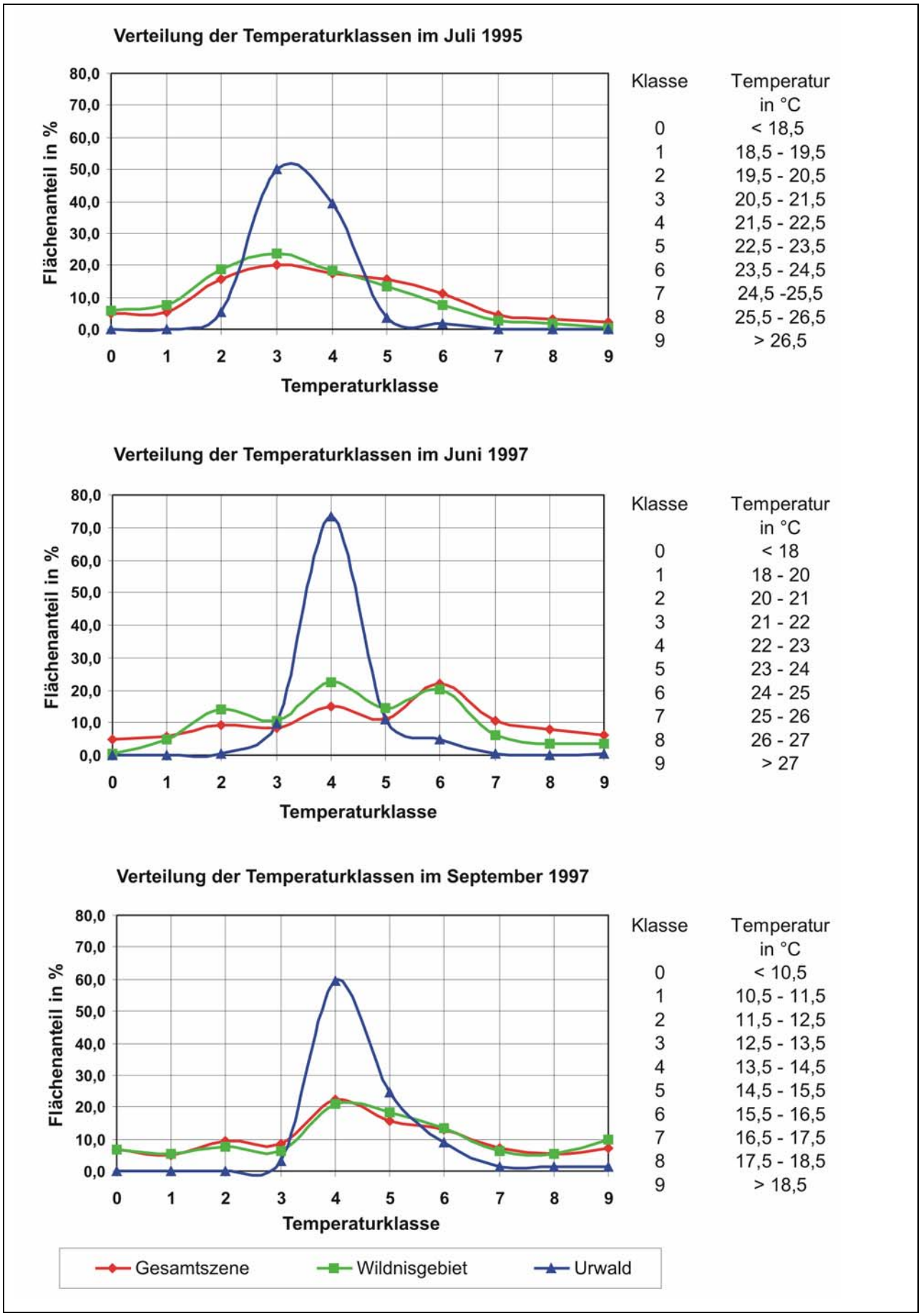


Abbildung 12: Verteilung der Temperaturklassen

5.4 Wasserchemische Ergebnisse der Stichprobenuntersuchungen im Rothwald

Gewässerchemische Stichproben wurden von Forstdirektor Splechtna bereits 1993 in 2 Serien an 25 bzw. 28 Stellen gezogen und am Fachgebiet Limnologie der TU-Berlin analysiert. Die Resultate waren damals der Gebietsgeologie entsprechend (Kalk und Dolomitgestein) geprägt durch hohe Anteile an Ca- und Mg- Bikarbonat, wobei der Kohlensäure-Partialdruck der Luft die Löslichkeit der Basenkationen begrenzte. Regenfälle und Schmelzwässer führten zu Verdünnungen. Bemerkenswert war dabei, dass kaum Nährstoffe noch andere über die Atmosphäre eingetragene Anionen (wie Chlorid, Nitrat und Sulfat) auftraten. Im hier vorgestellten Projekt wurde die Anzahl auf 7 Probestellen eingeschränkt und bezüglich physikalischer und chemischer Parameter untersucht. Zu den untersuchten Probestellen zählen:

1. Hohle Fichte; mit einem kleinen Einzugsgebiet von etwa 20 ha Urwald

2. Moderbach; Einzugsgebiet ca. 220 ha, davon 1/3 Urwald, 2/3 Wirtschaftswald 1. und 2. Generation nach Urwald weitgehend identisch mit der Probestelle Gindelsteinbrücke. Ein Einfluss von unterirdischem Karstwasser von der Ostseite des Waldgebiets „Grubwiesenalm" ist hier denkbar

3. Quelle A, Rothausbach Ursprung; Einzugsgebiet ca. 100 ha Urwald.

4. Quelle B, Westquelle des Rothausbachs; Einzugsgebiet von etwa 20 ha Urwald

5. Rothausbach Austritt Urwald; Einzugsgebiet ca. 200 ha Urwald dabei denkbarer unterirdischer Anteil der Abflussmenge von der Nordseite des Dürrensteinmassivs durch Quelle A ist identisch mit Rothausbach Kolk; ca. 300 m vor Rothausbach Austritt Urwald. Lage der Leitfähigkeitssonde (Moderbach)

6. Ois vor der Klause; Einzugsgebiet ca. 700 ha Wald, 1. Generation nach Urwald zum Großteil Mischwald auf Dolomit. Nahbereich im Tal bis 1982 beweidet

7. Gindelsteinbrücke; Nach Zusammenfluss von Moderbach und Rothausbach bei Leitfähigkeitssonde (Gindelsteinbrücke)

Die zugehörigen Analysenergebnisse sind im Anhang dargestellt. (Tabelle 8)

Sämtliche Wasserproben mit Ausnahme von Stelle 6 (Ois vor der Klause) zeigen nur leicht variierende Leitfähigkeiten. Leichte Einbrüche bei der Leitfähigkeit sind in diesen Proben vorrangig auf den Einfluss von Schmelzwasser zurückzuführen. Am 24. 5. wurden in der Quelle A, am Rothausbach Ursprung (Stelle 3) stark nach unten abweichende Leitfähigkeiten gemessen, welche sich auch in den verringerten Ionen Summen und in

einem etwas geringeren pH äußern und damit auf einen starken Verdünnungseffekt durch Schmelzwasser hindeuten.

Die Wasserproben der Stelle 6 Ois vor der Klause weisen auf den stärkeren Dolomit Einfluss hin. Die Leitfähigkeit und die Alkalinität (Bikarbonatgehalt) liegen im Durchschnitt etwa 15% höher als die übrigen Wasserproben. Schwankt der prozentuelle Ca-Anteil an der Kationensumme, bei den übrigen Proben zwischen 72 und 82%, so liegt dieser bei den Wasserproben der Stelle 7 bei 54%. Während sich der Dolomiteinfluss durch die hohen Magnesiumanteile von etwa 45% bemerkbar macht.

Die Gewässerproben sind bezüglich der Anionen vom Ca-Mg Kohlensäuregleichgewicht bestimmt. Die Kohlensäure der Atmosphäre löst bis zu diesem Gleichgewicht Kalk und Dolomit auf. Das Wasser ist daher, einerseits gut gepuffert durch den hohen Bikarbonatgehalt, andererseits wird die Leitfähigkeit, die Alkalinität und der pH in den Gewässern von dieser Gleichgewichtsreaktion gesteuert. Während in den meisten Gewässern aus der Landschaft mit dem abfließenden Wasser Respirationskohlensäure ausgetragen wird, die zu einer fast das gesamte Jahr hindurch vorherrschenden Ca-Übersättigung der Gewässer führt, ist dies in den Gewässern aus dem Dürrensteingebiet kaum der Fall. Dies deutet darauf hin, dass in den naturnahen Wäldern der Region mit hohem Totholz und Streuanteil kaum ein Abfluss direkt aus der Landschaft in die Gewässer eingetragen wird, sondern dass das Gleichgewicht erst im Gewässerbett, wo das Wasser über nacktes Gestein fließt, erfolgt. Regen und Schneefälle, die in diesem Gebiet bis zu über 2000 mm im Jahr betragen, machen sich durch Oberflächenabflüsse mit verringerten Leitfähigkeiten in den Flüssen bemerkbar. Dieses in bewirtschafteten Landschaften kaum vorkommende Verhalten muss für dieses Gebiet als charakteristisch angesehen werden und deutet auf einen äußerst kurzgeschlossenen Wasserhaushalt mit unkritischen Stoffverlusten aus der Landschaft hin.

Weitere Indikatoren für diesen selten zu beobachtenden kurzgeschlossenen Wasserkreislauf sind die ungewöhnlich geringen Konzentrationen von Nährstoffen sowie anderen Stoffen, welche in der Regel über Immissionen eingetragen werden. Sind Nitrate und Nitrite noch mit 0,5 - 0,8 mg N/l, Ammonium mit Werten unter 0,1 mg enthalten, so stellen auch Sulfat und Chlorid mit meist unter 4 mg SO_4/l und rund 1 mg/l Cl minimale Konzentrationen für fließende Gewässer dar. Diese Werte liegen weit unter den in anderen Gebieten in Regenwässern gemessenen Konzentrationen. Die Gesamtphosphorgehalte in den Gewässern liegen meist weit unter 0,02 mg und zeugen von äußerst geringen Austrägen aus dieser Landschaft. Selbst die Kieselsäure in den Gewässern stellt mit Konzentrationen von meist unter 1 mg/l SiO_2 fast limitierende Konzentrationen für die Ausbildung der in Gewässern sonst so häufigen Kieselorganismen.

Im Urwald, sowie außerhalb von „Langböden", östlich des Reservates bis zu dem Bereich des 6 km entfernten Mösermoors, wurden wiederholt Schneeproben entnommen und einer Analyse unterzogen. Die Schneeprobe enthielten insgesamt 0,1 meq/l Kationen bzw. Anionen und eine Leitfähigkeit von 0,78 mS/m bei 20 °C. Der pH betrug 6.09, Sulfat lag mit 2 mg/l, Chlorid mit 1,4 mg/l und Nitratstickstoff NO_3-N mit 0,18 mg/l vor. Schnee von außerhalb des Urwaldes war bereits etwas konzentrierter und enthielt mehr als das dreifache an Ionen im Vergleich zu den Urwald-Schneeproben. Allerdings war auch diese Schneeprobe bezüglich ihrer Zusammensetzung noch arm an Ionen. Diese Schmelzwässer wiesen im Gegensatz zu herkömmlichen Schmelzwässern äußerst geringe Ionen Konzentrationen und nur einen leicht sauren Charakter (pH zwischen 5,9 und 7) auf (Vergleiche Anhang Tabelle 7).

Niederschlagsproben aus landwirtschaftlich genutzten Gebieten Nordeuropas, bzw. aus Berlin, weisen etwa das 5 – 6 fache an Stoffen auf und zeigen pH-Werte von etwa 4,5. Diese Befunde stärken die Vermutung, dass im Rothwaldgebiet ein singulärer, äußerst kurzgeschlossener Wasserkreislauf vorherrscht und dass dadurch die über weite Strecken mit den Niederschlägen eingetragenen Stoffe (Immissionsbelastungen) nur in sehr geringem Ausmaß wirksam werden. Schnee- und Niederschlagsproben sollten deshalb weiter im Rothwaldgebiet gesammelt werden, um dieses in unseren Landschaften höchst seltene Phänomen eines kurzgeschlossenen Wasserkreislaufs noch besser zu dokumentieren und verstehen zu lernen. Die Ergebnisse deuten auf eine lokale Verringerung der Immissionen und ihrer Folgen, durch eine gesteigerte Frequenz der Verdunstungs – Kondensationszyklen in den Urwaldbereichen, durch welche eine Verdünnung der nieder-frequenteren großraumwirksamen mehr belasteten Niederschlagszyklen stattfindet, hin. Aus der Verringerung der Niederschlagsinhaltsstoffe kann, gegenüber den etwa 5-8 mal höheren Durchschnittskonzentrationen im Niederschlagswasser, abgeleitet werden, dass die mittlere Frequenz eines solchen Zyklus etwa das 5-8 fache der zyklischen Frequenz des Wasserhaushalts von etwa 9 Tagen (mittlere Aufenthaltszeit des Wassers in der Atmosphäre) beträgt. Damit wird der Wassergehalt der lokalen Atmosphäre fast einmal täglich umgesetzt. Bezüglich des Temperaturausgleichs, des Wasserhaushalts und der Stoffkreisläufe, bilden sich in selbstorganisierenden Systemen zellulare Strukturen mit stark differenzierter Eigenzeitlichkeit und hoher Nachhaltigkeit durch Internalisierung sämtlicher Subsistenzprozesse in diesen raum- zeitlich teilgeschlossenen Systemen.

5.5 Resultate der Abfluss- und Leitfähigkeitssonden

In Tabelle 9 (Siehe Anhang) sind die mittleren Leitfähigkeiten sowie die Wasserstände, die Tagesmaxima und die Tagesminima von den Probestellen im Rothausbach/Moderbach und Rothbach berechnet.

Die einzelnen mit den Sonden gemessenen Leitfähigkeitswerte wurden mittels einer Korrekturformel für eine Referenztemperatur von 20°C umgerechnet. Die verwendete Korrekturformel wurde im Laboratorium durch Präzisionsmessungen von in Zeitserien im Rothbach gesammelten Wasser bei 20 °C im Thermostaten mit unmittelbar davor kalibrierten Elektroden empirisch ermittelt Dieser Aufwand war nötig um die theoretische Beziehung für die Sonden gemessen an KCl-Lösungen für die aktuelle Zusammensetzung des Rothbachwassers zu korrigieren und die geringen diurnalen Schwankungen in der Leitfähigkeit auch im Sommer abzusichern.

$$Lf_{korr=} = Lf_{gem} * \left(\frac{1}{1 + \left(0{,}0095 + 0{,}0001 * \left(Tgem - 20\right)\right) * \left(Tgem - 20\right)} \right)$$

In den Abbildung 26 sind die Ergebnisse der einzelnen Monate für die Leitfähigkeits und Drucksonden an den Probestellen LF04 (Rothausbach bei Gindelsteinbrücke 1.6.99-25.8.00 bzw. Moderbach 27.8.00-30.6.02) und LF05 (Rothbach 1.6.99-30.6.02) dargestellt

Die Darstellungen für Mai repräsentieren meist die letzten Phasen der Schneeschmelze. Diese Phasen sind durch geringe Leitfähigkeiten und relativ hohe Wasserstände charakterisiert. Auffällig sind distinkte Tagesvariationen sowohl in der Leitfähigkeit wie auch im Wasserstand. Im Winter und während der Schneeschmelze werden solche Tagesgänge einerseits durch periodische Ausfrierprozesse und Schmelzphasen verursacht, wobei diese Prozesse meist ausserhalb oder im Anschluss an die Gewässer stattfinden und je nach Lage verschiedene Laufzeiten aufweisen. Diese können sich in ihren Phasen überlagern oder auch dämpfen. Beide Prozesse treten in den Darstellungen auf. Bei auftretenden Regenfällen nehmen im Allgemeinen die diurnalen Schwankungen ab, um nach Abklingen der Regenfälle wieder diese Musterprägung aufzuweisen.

In den Diagrammen sind, soweit gemessen, die Regenfälle ausgewiesen, wobei zu beachten ist, dass die Wetterstation in einem größeren Abstand zu den Sonden liegt. Da Ausfälle der Regenregistrierungen nicht in den Protokollen vermerkt sind und ferner die Regenereignisse teilweise nur lokaler Natur sind, konnten sie nicht bezüglich ihrer Intensität systematisch ausgewertet werden.

Besonders im Juli 2000 wird deutlich, dass Lücken in den Niederschlagsdaten auftraten und die von Wasserstand und Leitfähigkeit indizierten Regenfälle deshalb nicht bestätigt wurden.

Wasserstand und Leitfähigkeit treten meist autokorreliert auf. Ein langsames Absinken des Wasserstandes ist von ebenso langsamen Anstiegen der Leitfähigkeit begleitet. Spontane Anstiege der Wasserstände werden durch Regenereignisse ausgelöst und sind meist gefolgt von unmittelbar abfallenden Leitfähigkeiten und einem daraufhin relativ gleichmäßigem

langsamen Ansteigen der Leitfähigkeit Während sich der Hydrograph (= Abflussganglinie) repräsentiert durch den Wasserstand daraufhin in fast idealer (negativ exponentieller) Weise absenkt, treten auch im Sommer zunehmend stärkere Leitfähigkeitsschwankungen auf Tages- Nachtbasis auf.

Leitfähigkeitsmaxima wurden meist nachts und frühmorgens registriert während die Minima etwa zwischen 13 und 14 Uhr registriert wurden. Die Leitfähigkeitsschwankungen waren mit den als Druckschwankungen gemessenen Wasserständen negativ korreliert. Als auslösende Mechanismen im Sommer sind Verdunstung am Tag und Nebel und Taubildung in der Nacht anzunehmen.

Einige atypische spontane Anstiege in der Leitfähigkeit auf etwa 30 mS/m die nicht von Wasserstandsänderungen begleitet waren, wurden Ende 1999 im Rothausbach registriert, diese klangen jedoch Ende Januar 2000 wieder ab. Während der Zeit vom 24.9.1999 und dem 7.12.1999 wurden im Abschnitt des Moderbaches vor der Gindelsteinbrücke Holzfällung betrieben und Schlepperbringung durchgeführt. Diese automatisch registrierten nicht mit dem Wasserstand korrelierten Leitfähigkeitsanstiege zeigen, dass mechanische Störungen durch z.B. Transport von Holz zu erhöhten Austrägen von Stoffen in die Gewässer führen können.

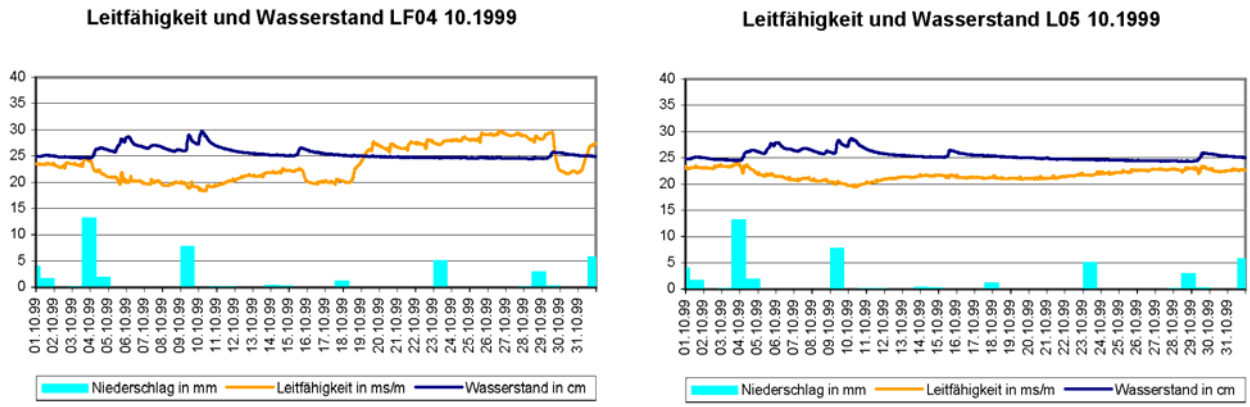


Abbildung 13: LF04 (Rothausbach unterhalb vom Moderbach) während der Holzbringung im Vergleich zu LF05 (Rothbach von der Holzbringung unbeeinflusst)

Tau und Nebelbildung, sowie die lokale Energiedissipation durch gewässernahe Verdunstung und Kondensation, indiziert einerseits einen optimierten Wasserhaushalt, einen hohen Grad von Stoffgeschlossenheit in naturnahen Wäldern und die hohe Qualität der Gewässer in solchen Einzugsgebieten. Aus diesen Ergebnissen und Erfahrungen können auch Bewirtschaftungsmodelle für eine wesentlich nachhaltigere Land- und Forstwirtschaft abgeleitet werden, die durch geeignete ortseingebundene Maßnahmen die landschaftsbedrohenden irreversiblen Stoffflüsse eindämmen und damit die Nachhaltigkeit der Nutzungen in den einzelnen Regionen erheblich steigern.

Obwohl es nicht gelungen ist, unter den gegebenen Bedingungen, Schlüsselkurven für die Wasserstands– und Abflussbeziehung zu erstellen, sind eingeschränkte Aussagen zu den Stofftransporten und zum stofflichen Wirkungsgrad möglich.

Die geringen Wasserstandsschwankungen in den Bächen, die den Urwald entwässern, lassen trotz flacher aber durch ihre steinige Struktur stark energiedissipativer, Bachbetten kaum häufigere erosive Hochwassersituationen vermuten. Die chemischen Qualitätsmessungen in diesen Gewässern zeigen äußerst geringe Stoffkonzentrationen bezüglich der Nährstoffe und urwaldbürtiger organischer Substanzen (Humus). Einzig gelöstes Kalzium- und Magnesiumbikarbonat, mit Konzentrationen die maximal den Lösungsgleichgewichten entsprechen und aus dem Bachbett sowie aus Quellen stammen, prägen das Bild. Die irreversiblen Stoffflüsse aus dem Urwaldgebiet erweisen sich deshalb als unerheblich. Die lokalen Stoffkreisläufe scheinen fast geschlossen und runden das Bild eines maximal verdunstenden Systems mit weitgehend kurzgeschlossenen Kreisläufen ab. Der Urwald im Albert Rothschild Wildnisgebiet erweist sich somit als ein extrem wertvolles Objekt, das uns die hohe Funktionalität selbst optimierter Systeme unter Beweis stellt. Allein daraus wäre abzuleiten diesen heuristischen Monitoringprozess im Urwald weiterzuführen um sich verbessernde Bewirtschaftungsansätze für die übrigen Landschaften zu finden.

Der zurzeit allzu hohen Alterung der Landschaft, insbesondere intensiv genutzte Gebiete, könnte durch eine an den Effizienzgrößen rückgekoppelte Bewirtschaftung, maßgeblich entgegengewirkt werden.

5.6 Diskussion des chemischen Wirkungsgrades im Rothwald

Intensiv bewirtschaftete Landschaften weisen erheblich gesteigerte Stoffflüsse mit den Abflüssen in den Gewässern auf (Ripl et. al. 1995). Die gesteigerten irreversiblen Stoffflüsse mit dem Abfluss (ausgedrückt in Ladungs- bzw. Protonenäquivalenten) ermöglichen, über die Nernst-Peters Beziehung, die Abschätzung des Energieanteils, welcher zu irreversiblen Lösungsprozessen bzw. zur Alterung der Standorte beiträgt. Ein weiterer Energieanteil im betrachteten Ökosystem führt über die Produktions- und Respirationsprozesse der vergesellschafteten Organismen zu ortsfesten Stoffkreisläufen. Der energetische Anteil, der über die Photosynthese und die Respiration der Lebensgemeinschaften ortsgebunden stattfindet, kann über eine Kohlenstoffbilanz oder den Protonenfluss bestimmt werden. Der Quotient aus den irreversibel aus den einzelnen Standorten, mit dem abfließenden Wasser ausgetragenen Ladungen (ausgetragener Kohlenstoff wird mit 2 Ladungen verrechnet) und dem im System für die Kreisprozesse benötigten und umgesetzten Protonenstrom, ermöglicht einen Ansatz die Qualität des Systems über seinen thermodynamischen Wirkungsgrad abzuschätzen. Der Vergleich der irreversiblen Stoffflüsse, aus land- und

forstwirtschaftlich genutzten Gebieten mit Abflüssen aus Mooren und intakten Feuchtgebieten, zeigt für die anthropogen beeinflussten Ökosysteme eine Beschleunigung der Stoffflüsse auf über das 50-fache bis zum 100-fachen und beschreibt damit die beschleunigte Alterung der Landschaft (Ripl et al.1995, Hildmann 1999).

Für den Urwald im Rothwaldgebiet können zum chemischen Wirkungsgrad folgende Überlegungen angestellt werden. Die hydrologischen Messungen ergaben, während des gesamten Jahres, relativ geringe und weitgehend ausgeglichene Abflüsse. Regenereignisse mit ansteigendem Abfluss führen zu unmittelbaren und relativ starken Einbrüchen in den Stoffkonzentrationen, sodass Regenwässer die Basenabflüsse verdünnen. Die Gerinne im Urwald sind dabei, über längere Perioden, trocken und erst Regenfälle von über 35 l /m^2 führen zu Abflüssen in den Urwaldgerinnen (Splechtna mündliche Mitteilung). Die Basenabflüsse im Moderbach und im Rothausbach scheinen demnach hauptsächlich aus den beweideten Gebieten oberhalb der Baumgrenze zu stammen, wo eine ständige Kondensation erfolgt und in den Sammelstrecken Geröll und Geschiebe zur Anreicherung von Kalzium- und Manesiumbikarbonat in den Wässern beiträgt. Deshalb kommt es auch im Moderbach, mit dem größeren sowie über das eigentliche Urwaldgebiet und über die Baumgrenze hinausgehenden Einzugsgebiet, zu etwas höheren Abflüssen sowie zu stärkeren diurnalen Wasserstands und Leitfähigkeitsschwankungen.

Der Rothausbach dagegen weist einen größeren Urwaldanteil in seinem Einzugsgebiet auf. Eine Analyse der Wasserstands – Leitfähigkeitsbeziehungen deutet daraufhin, dass das meist langsame Abschmelzen des Schnees bis Ende Mai kaum zu stark gesteigerten Abflussspitzen führt und die gesamten irreversible Stofftransporte charakterisiert durch die Ladungsabflüsse (diese bestimmen in diesem Gebiet hauptsächlich den Wirkungsgrad) sind im Verhältnis zu landwirtschaftlich genutzten Gebieten sehr gering. Interessant sind auch die äußerst geringfügigen Austräge von organischem Kohlenstoff und Nährstoffen die durch die perfektionierten dynamischen Stoffrückhaltemechanismen im Urwald charakterisiert sind. Das bedeutet aber, dass das Urwaldgebiet ein einzigartiges und höchst schützenswertes System darstellt.

6 Die Moorbohrkerne im Rothwaldgebiet

6.1 Pollenanalytische Untersuchungen in den Mooren Rotmösel, Bärwies, Grubwiesalm

Bearbeiter: Dr. Arthur Brande, Institut für Ökologie und Biologie TU Berlin

Bearbeiter Rotmöselproben 65 – 315 cm: Dr. Klaus Erd, Quartärpalynologie, [Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg], Berlin.

Es handelt sich um eine Neubearbeitung des von Kral und Mayer 1965 erhobenen und1968 publizierten Pollendiagramms. Jene Bohrung umfasste die oberen 160 cm, während nunmehr das bis auf den mineralischen Untergrund erbohrte Profil (Endteufe bei 315 cm, Bohrung vom 20. 8. 1999) untersucht wird. Die Probenabstände betragen von 315 – 100 cm zehn, bis 25 cm fünf und bis zur Oberfläche drei Zentimeter.

6.1.1 Zur Moorentwicklung

Der Beginn der Moorbildung bei 315 cm fällt in die Zeit der Rotbuchen-Ausbreitung und damit in den mittleren Teil des Atlantikums, etwa 4000 v. Chr. (nach ^{14}C-Daten, unkalibriert, im Pollendiagramm Göstling, Kral 1979). Damit ergibt sich ein durchschnittliches Torfwachstum von 5 cm/Jahrhundert. Doch ist die Zuwachsrate sicher nicht gleichbleibend. So errechnen sich allein schon für die oberen 55 cm im Profil von Kral & Mayer 3 cm/ Jahrhundert, im vorliegenden aber weniger als 1,5 cm/Jahrhundert. Unterschiedlicher Zersetzungsgrad je nach torfbildender Pflanzengesellschaft, wechselnde Wasserversorgung über die Jahrtausende und die Eigendynamik des Hochmoorwachstums sowie verschiedene Teilbereiche des im Laufe der Zeit transgredierten Moores sind die Ursache für örtlich und zeitlich von dem Mittelwert abweichenden Torfmächtigkeitszunahmen.

6.1.2 Zur Waldgeschichte

Nach der Rotbuchenausbreitung in den von Fichte dominierten hochmontanen Wäldern des Atlantikums herrschen im Subboreal und älteren Subatlantikum (ca. 4000 v. Chr. bis 1200 n. Chr.) im Pollenniederschlag der näheren und weiteren Umgebung des Rotmösel Fichten-Tannen-Buchenwälder mit zeitweilig stärkerer Fichtenbeteiligung vor. Die Tanne steht mit 15 bis 30 % an dritter Stelle. Die menschlichen Eingriffe in diese Bestände seit dem Hoch- und Spätmittelalter sind im vorliegenden Profil nach der Datierung von Kral & Mayer (1968) in weniger als 25 cm der obersten Torfe erfasst (vgl. aber den Nachtrag vom 29.8.2000). Dieser Profilteil ist derzeit in Bearbeitung. Die bisher vorliegenden sedimentchemischen Analysen (W. Ripl) lassen in ihrer Vertikalverteilung noch nicht erkennen, in welchem Niveau die durch Rodungsvorgänge der letzten 3 bis 4 Jahrhunderte bewirkten Stoffeinträge lokalisiert werden können.

6.1.3 Zum Pollendiagramm Rotmösel:

Im Rahmen der Studie wurde ein Bohrkern von Brande, Erd und Erlenkeuser im Rothmöselmoor bearbeitet. Die Arbeit wurde 2002 veröffentlicht. Das Pollendiagramm ist im Anhang als Abbildung 27 abgebildet.

6.1.4 Zum Pollendiagramm Bärwies

Dieses hochinteressante 92 cm mächtige Profil setzt mit lehmigen Ablagerungen in limnischem Milieu (Pediastrum, Potamogeton) während der von Buche dominierten Tannen-Fichten-Buchenzeit des Subboreals bzw. älteren Subatlantikums ein. Damit wird klar, dass der Beginn der Entwicklung und der überwiegende Teil der Torfbildung bis ca. 35 – 40 cm Tiefe ohne jeglichen anthropo-zoogenen Einfluß stattfand. Demnach sind diese Phasen den Auswirkungen der europäischen Klimaverschlechterung (höhere Niederschläge bzw. geringere Evapotransporation) und nicht etwa einer Vernässung des Talbodens durch Almwirtschaft auf den Hanglagen zuzuschreiben. Erst ab 32 cm zeichnet sich ein kräftiger Nutzungseinfluss in der Umgebung ab. Hier werden die Analysen derzeit mit viel versprechendem Ergebnis fortgesetzt. Dem soll sich direkt die Analyse der beiden Profile Grubwiesalm 1 und 2 (1400 und 1300 m) anschließen. In allen drei Fällen werden ^{14}C-Datierungen die chronologische Zuordnung der waldgeschichtlichen natürlichen und anthropogenen Entwicklung näher fixieren.

Nach Komplettierung des Pollendiagramms werden in den wald- und moorgeschichtlich markanten Profiltiefen ^{14}C-Proben zur Altersbestimmung entnommen und im Leibniz-Labor der Universität Kiel analysiert werden. Dabei ist zu erwarten, das auch die sediment-chemischen Daten zur Moorentwicklung, insbesondere zur Oligotrophierung innerhalb der vom Menschen ungestörten Waldentwicklung im Umkreis des nach Kusel-Fetzmann (1981) durch die aktuelle Vegetation bemerkenswerten Rotmösel, weitere Anhaltspunkte geben werden. Die Torfprofile aus den Dolinen Bärwies und Grubwiesalm 1 und 2 werden anschließend nach denselben Methoden bearbeitet werden. Die zwei letztgenannten Untersuchungsobjekte sind nicht Teil des LIFE-Projektes, sollen aber als wichtige Ergänzung des Rotmösel-Profils besonders unter der Fragestellung der örtlichen Wald- und Nutzungsgeschichte im Rothwaldgebiet untersucht werden.

6.2 Die Moorbohrkerne chemische Analysenresultate

Die Moorbohrkerne wurden auch hinsichtlich ihrer chemischen Hauptkomponenten untersucht (siehe Anhang Abbildung 28- Abbildung 31).

6.2.1 Der Bohrkern Rotmösel

Der von Brande erbohrte Bohrkern wurde bezüglich der wichtigsten Komponenten in 32 Tiefenschichten von je 5 cm in Abständen von jeweils 10 cm analysiert (vgl.: Anhang Abbildung 28). Neben dem Prozentanteil der Trockensubstanz (TS%) wurde der Glühverlust bei 550° C ein Maß für die flüchtigen Komponenten wie Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel sowie flüchtige Karbonate gemessen. Der organische Kohlenstoffgehalt (ausgedrückt in mg/g Trockenstoff) zeigt bereits eine gewisse Autokorrelation zu den Nährstoffkomponenten Stickstoff und Phosphor sowie zum Trockenstoffgehalt der Proben.

Während die Trockensubstanz in der untersten Probe mit etwa 13% vertreten ist nimmt sie im Intervall von 320 cm auf 260 cm bis auf unter 6% ab um erst wieder ab einer Tiefe von 110 cm auf Werte zwischen 8% und etwa 13% anzusteigen. Deutlich wird dabei, dass diese Komponenten stärker in der Entstehungsphase des Moors vertreten sind und das diese in den obersten 50 cm wieder zunehmen. Die molaren Verhältnisse zwischen den einzelnen Nährstoffen (N, P, S) aber auch Kalium zeigen eine starke Oligotrophierungsphase in den untersten 50-60 cm des Bohrkerns.

Eine starke Effizienzsteigerung bezüglich der Nährstoffrezirkulation sowie die Effizienz steigernde Organismengesellschaften mit fast perfektem Stoffrückhalt und maximaler Kreislaufführung müssen im damaligen Ökosystem zwangsläufig angenommen werden wenn das Moorwachstum nach dieser Phase noch eine ähnliche Größe wie zuvor aufweisen soll.

Die Nährstoffanreicherungen in den obersten 50 cm überschreiten insbesondere in Bezug auf Phosphor, Schwefel und Kalium die erhöhten Werte der Moorbildungsphase, da auch der Säureunlösliche Rest (SUR in % der TS) bestehend aus feinen Stäuben aus Kieselsäure wie auch die Metalle Zink, Mn und Eisen in den obersten Schichten Anreicherungen zeigen, dürften diese auf anthropogene emissionsbedingte äolische Einträge zurückzuführen sein. Ein durch solche Einträge nicht gesteigertes netto Moorwachstum kann durch einen Eintrag von Stickstoff in Nitratform und Schwefel in Sulfatform erklärt werden, beide Komponenten wirken bei Eintrag in Moore als Elektronenakzeptoren und fördern den Abbau des Moorkörpers. Dieser Abbau ermöglicht jedoch eine Beschleunigung des Stoffwechsels und ein gesteigertes Moorwachstum, das die erhöhte Moorzersetzung wieder kompensieren kann.

Eine Sukzession der moorbildenden Arten zu einer Zunahme der eutraphenteren Arten ist jedoch in solchen Fällen zu erwarten.

6.2.2 Die Bohrkerne Bärwies und Grubwiesalm Kern 1 und 2

Die Bohrkerne in den Dolinen Bärwies (1066 m ü NN) und Grubwiesalm (1420 m ü NN) sind wesentlich kürzer und repräsentieren Moore die noch in ihrer Entwicklung vom Niedermoor zu Übergangsmooren stehen. Insgesamt wurden für den Bohrkern Bärwies 9 Schichten, für den Bohrkern 1Grubwiesalm 7 Schichten und für den Bohrkern 2 Grubwiesalm 6 Schichten analysiert. (Siehe Anhang Abbildung 29 - Abbildung 31). Die Nährstoffe sind in diesen Bohrkernen noch in wesentlich höheren Konzentrationen vorhanden, die Oligotrophierungsphase ein Kennzeichen von Übergangsmooren hat an diesen Standorten noch nicht stattgefunden. Stärkere P und N Limitierungen fehlen. Auch der Basenanteil ist in diesen Bohrkernen noch erheblich höher als im Rotmöselmoor.

6.3 Thesen für die Selbstorganisation der Organismen im Rothwald

Die Entwicklung der Vegetationsdecken nach der Eiszeit war in der Etablierungsphase durch eine deutliche sukzessive Minderung der Stoffflüsse aus der Landschaft gekennzeichnet. Die Etablierungsphase in nordischen Landschaften vollzog sich in einem Zeitraum von 2000-4000 Jahren und führte zu einer deutlichen Verringerung von Basen- und Nährstoffflüssen in die Gewässer. Die Stoffflüsse reduzierten sich teilweise bis zu 1-3 Zehntel der ursprünglich aus der vegetationsfreien Landschaft abfließenden Stofffrachten. Die Gewässer entwickelten dabei im Gegensatz zur Landschaft immer oligotrophere und stärker vergesellschaftete Organismenstrukturen mit immer kürzer geschlossener Kreislaufführung.

Eine ursprünglich erhöhte Nettoproduktivität näherte sich durch immer perfektere Kreislaufführung der Stoffe dem Wert 0 an obwohl dabei die Bruttoproduktivität des Systems auf ein Maximum erreichte. Dieses scheinbar widersprüchliche Verhalten fußt auf der Systemeigenschaft, dass die Selektion neuer in das System eingedrungener Organismen an das oben angeführte Effizienzkriterium rückgekoppelt ist. Eine bessere Kreislaufführung bedeutet deshalb eine „höhere" Stabilität des Standorts und führt bei vorgegebener Dynamik aufbauend auf einer Solarkonstanten zur Expansion des „besseren Systems" während die verlustreicheren Strukturen (mit höherer Alterung) allmählich ersetzt werden. An Bohrkernen von Seesedimenten in kleineren Einzugsgebieten ließ sich sowohl die Vegetationsentwicklung in der Landschaft anhand von Pollenanalysen sowie die Entwicklung der irreversiblen Stoffflüsse über die raum-zeitliche Verteilung des abgelagerten Materials nachvollziehen (Digerfeldt 1972)

Die zeitliche Entwicklung der Vegetation und der Landschaftsfunktionen wird im Untersuchungsgebiet an drei Bohrkernen festgestellt. Bisher wurde der drei Meter mächtige Bohrkern des Moors Rotmösel sowohl chemisch wie auch pollenanalytisch untersucht. Die Resultate liegen nun vor, sie sollten jedoch noch mit den noch ausstehenden Pollenanalysen und Datierung der zwei übrigen Bohrkerne verglichen und abgestimmt werden. Der Bohrkern aus dem Rotmöselmoor zeigt die Entwicklung des Moors in den letzten 6000 Jahren.

Ein von Brande vorläufig festgestelltes durchschnittliches Moorwachstum von etwa 0,5 Metern pro 1000 Jahren wurde von Brande et. Al. 2002 mit ^{14}C Analysen belegt. Interessant scheint jedoch im Gegensatz zu den früheren Untersuchungen, dass der anthropogene Einfluss in den obersten Ablagerungen kaum zu einem erhöhten Nettowachstum geführt hat. Die obersten 19 cm des Bohrkernes sind nach den pollenanalytischen Resultaten in den letzten 360 Jahren gebildet worden. Abweichungen in den obersten Lagern gegenüber den darunter liegenden Lagerfolgen bezüglich des C/N bzw. des C/S Verhältnisses könnten jedoch auf eine etwas gesteigerte Immissionslage bezüglich des Stickstoffs bzw. des Schwefels hindeuten die zu höheren Umsatzraten im Moor geführt haben könnten. Um

diese aus der Ökosystemtheorie deduktiv abgeleiteten Thesen zu bestätigen wurde die Beprobung verschiedener Wasserkörper im Urwaldgebiet, (die Beprobung von Quellen, von Schnee, aber auch von Abflüssen aus dem weitgehend von menschlicher Beeinflussung verschonten Gebiets) vorgenommen. Sie gibt Aufschluss über die natürlichen Landschaftsprozesse und ihre Verteilung in Zeit und Raum (siehe Kapitel 5.4).

Der Urwald weist wichtige Rückkopplungen als Regulatoren für die Prozesse auf. Der hohe Streu- und Totholzanteil, etwa 20 – 60% des gesamten Kohlenstofflagers auf der Fläche spielt bei der Regelung von Verdunstung, Abfluss und bei der Steuerung der Mineralisierung über Sauerstoff und Redoxpotential eine maßgebliche Rolle. Ein nicht bewirtschafteter Wald maximiert seine Bruttoproduktivität bei einer gleichzeitigen Nettoproduktivität von 0. Dies bedeutet, dass Produktivität und Abbau stark gekoppelt ablaufen (P/R Quotient ~ 1) und das Urwaldsystem einen hohen Grad an Stoffkonstanz bei maximierter Kreislaufführung aufweist. Diese Regelung ermöglicht dem System bei maximalem Stofferhalt einen optimierten kurzgeschlossenen Kühlkreislauf mittels des energiedissipativen Mediums Wasser. Der Temperaturdämpfungsfaktor wird dabei erhöht und die daraus resultierenden Stoffflüsse ermöglichen eine optimale Raumausstattung mit über die Energetik und die Prozesse gekoppelten energiedissipativen Strukturen von zunehmender Beständigkeit. Die Streu wie auch das Totholz und der daraus entstehende Moder bilden einen Wasserrückhaltespeicher, der einen integralen Bestandteil der Regelkreise bildet. Der Wasserhaushalt wird demnach von der Fähigkeit des Urwalds geprägt während des gesamten Jahres Wasser zu verdunsten und damit die Stoffe ortsfest zu erhalten, während die Versickerung, Bodenwasserabflüsse und Grundwasserneubildung minimiert werden.

Eine weitere Besonderheit des Urwalds sind die stark wasserrückhaltenden und streuakkumulierenden Vertiefungen, die beim Fallen der Bäume durch die Wurzelteller in den Boden gerissen werden. Diese sind überall im Urwald vorzufinden und tragen zu erheblichem Wasser- und Stoffrückhalt bei. Insbesondere Nährstoffe wie Phosphor, Stickstoff, Schwefel und Kalium werden an den stark zellulosehaltigen Substraten durch die Destruenten, vorrangig Pilze und Bakterien, festgehalten. Beste Keimbedingungen für Baumsamen finden sich in oben an den gefallenen Baumkadavern ausbildenden feuchten Moderrinnen. Diese bieten nebst einer längeren Vegetationsperiode durch früheres Abschmelzen von Schnee auch gute Wachstumsbedingungen durch dort abgelagerte akkumulierte Nährstoffe für eine effiziente Kadaververjüngung der Urwälder.

Der hohe Wasserrückhalt führt in den abfließenden Gewässern zu einer stark gedämpften Abflussganglinie (Hydrograph) und einer Stoffdynamik die in den östlichen Ausläufern der Kalkalpen, bestehend aus Kalk und dolomitisiertem Kalk, maximal nur soviel Kalk löst wie dies dem Lösungsgleichgewicht des Kalkes mit der in der Atmosphäre enthaltenen Kohlensäure entspricht. Die Wasseranalysen zeigen das gesamte Spektrum vom

gesammelten Regenwasser bis hin zu Lösungen, die sich an das Kalk-Kohlensäuregleichgewicht, durch den gegebenen Atmosphärendruck, annähern. Chloride kommen nur in äußerst geringen Mengen vor und auch Sulfat trägt nur zu einem geringen Anteil an den Hauptionenkomponenten bei.

Die Gewässer sind zu 92-95% vom Bikarbonatanteil und je nach Dolomitanteil im Kalk von bis zu 90% Ca bzw. bis zu 40% Mg Ionen geprägt. Die Versickerung und Grundwasserneubildung im Urwaldgebiet ist aufgrund des extrem hohen Totholzanteils äußerst gering, was sich in geringen Ca-Übersättigungen durch überschüssige Kohlensäure aus den Respirationsprozessen in Bodenwasserabflüssen nachweisen lässt. Tuff und Kreideablagerungen im Flussbett sind von untergeordneter Bedeutung.

Der in gestörten Systemen oft stark angereicherte Humusanteil fehlt im abfließenden Wasser. Nährstoffe wie Phosphor werden von dem Ca-Ionen so geregelt, dass alle Gewässer im Urwaldbereich stark phosphorlimitiert auftreten und nur geringe Aufwuchsstrukturen an Steinen auftreten, während Moose im Gerinne häufig vorkommen. Stickstoff liegt nur in geringen Konzentrationen im Wasser als Nitrat vor, während Ammonium nur in geringfügigsten Konzentrationen auftritt. Dies bedeutet, dass die Lösungsprozesse erst im Gewässerbett stattfinden und die Landschaft des Urwalds flächendeckend durch die Humusspeicher so gut abgeschirmt sind, dass Stoffflüsse dort fast nur von den Wurzeln der Bäume kontrolliert werden und äußerst ortskonservativ ablaufen. Stoffausträge aus dem Urwald kommen damit nur in sehr geringem Ausmaß vor.

7 Zusammenfassung

Der Kernbereich des „Wildnisgebiets Albert Rothschild", nämlich der Kleine und der Große Urwald, stellen einzigartige Standorte dar. Sie bilden für die Forschung, aber auch für eine zukünftige nachhaltige Land- und Forstwirtschaft, durch ihren kurzgeschlossenen Wasserhaushalt und die minimierten Stoffflüsse unverzichtbare Referenzgebiete und sind deshalb zu Recht mit der höchsten Schutzstufe versehen worden.

Im vorliegenden Endbericht wurde versucht die Zielsetzung der Untersuchungen im Rothwaldgebiet darzustellen und diese mit der übergreifenden Zielstellung einer funktionalen Landschaftsanalyse auch für stark genutzte Landschaften in Verbindung zu bringen.

Die Methoden der funktionalen Landschaftsanalyse wurden insbesondere an der im Rothwald angewendeten Methodik der Verschneidung zeitlich hochauflösender automatisierter Punktmessungen mittels automatisch registrierender Messsonden mit der räumlich hochauflösenden Satellitenbildauswertung eingesetzt und demonstriert.

Die bisher erzielten Resultate der thermischen Analyse von Einzelstandorten im Urwaldgebiet und einer benachbart liegenden Freifläche wurden vorgestellt. Rückgekoppelt an die Satellitenbilder wurden Sonden an weiteren interessanten und charakteristischen Standorten eingesetzt. Insbesondere die Ergebnisse einer nicht direkt im Urwaldgebiet liegenden anthropogen offen gehaltenen Freifläche zeigen starke Abweichungen im Energiedissipationsmuster von den Standorten im eigentlichen Urwald. Die Mechanismen der Temperaturdämpfung über den dissipativen Wasserhaushalt wurden diskutiert. Aus den thermischen Dämpfungseigenschaften wurde ein Wirkungsgradparameter abgeleitet der als Qualitätsparameter für verschiedene Standorte eine hohe Empfindlichkeit aufweist und für zukünftige Auswertungen zunehmend eingesetzt werden kann.

Die Ergebnisse zeigten, dass die dem ETR-Modell (Ripl 1995) zugrunde liegenden Thesen über die Minimierung von Stoffströmen durch die Steuerung des kurzgeschlossenen Wasserkreislaufs und der nachgeordneten Stoffströme zutreffen. Die Nähr- und Mineralstofftransporte an den Übergängen von der Landschaft zu den Gewässern sind im Urwaldgebiet äußerst gering. Auch die Humusausträge sind kaum messbar. Der unmittelbare Anstieg der Leitfähigkeit ausgelöst durch Holzarbeiten im Bereich der Gindelsteinbrücke Ende 1999 zeigt, dass mechanische- und mittelbare Eingriffe in den Wasserhaushalt gewässernaher Bereiche zu erhöhten Stoffströmen führen und mit entsprechenden Messwerkzeugen erfassbar sind.

Der kurzgeschlossene Wasserkreislauf, bei gleichzeitig ortskonservativen Stoffkreisläufen, konnte durch die Messungen von Stoffbelastungen im Schnee und durch die geringen Stoffflüsse an der Ökotone Landschaft-Wasser bestätigt werden. Durch die erhebliche Evapotranspiration des Naturwaldes wird Wasser dauernd gereinigt und das lokale Klima maßgeblich bestimmt. Stoffliche Emissionen durch überhitzte Landschaften kommen hier nicht vor. Die Luftfeuchte liegt Sommer wie Winter zwischen etwa 80 und 100 % so dass mit einer erheblichen Taubildung bei unterschreiten des Taupunkts bei der täglichen Temperaturabsenkung in der Nacht zu rechnen ist. Diurnale Abfluss- und Wasserqualitätsmuster wurden registriert. Der hohe Totholz- und Streuanteil wirken dabei wie ein Schwamm, der die Amplituden der Abflussganglinie dämpft und die Vegetation in die Lage versetzt über den Wasserhaushalt des Bodens die Mineralisierungsprozesse verlustarm zu regeln.

Die hohe Verdunstungsfähigkeit des Urwalds beträgt, aus der chemisch-analytischen Information der Schneeproben grob geschätzt, etwa das 5-8 fache des sonst üblichen Wasserdampfumsatzes in der Atmosphäre. Der Wasserdampf wird somit etwa ein mal am Tag umgesetzt. Die vom Boden abgestrahlte Wärme wird vom bodennahen Wasserdampf absorbiert. Dadurch relativieren sich die allgemeinen wissenschaftlichen Aussagen zur Rolle von CO2 und anderen Treibhausgasen. Bei einem wassergekühlten Boden und vorhandenem

bodennahen Wasserdampf wird der Transport der Treibhausgase in die Troposphäre gemindert.

Damit stellt der Urwald ein letztes, weitgehend stoffgeschlossenes System mit geringen Alterungseigenschaften dar, das über die Prozesse des Wasser- bzw. des Stoffhaushalts Vorbildfunktion für die intelligentere Bewirtschaftung von Nutzflächen aufweist. Die Strukturen wie auch die Eigenzeitlichkeit des Systems Urwald sind sicherlich nicht übertragbar. Die Priorität von Temperaturausgleich und Kühlung durch die Evapotranspiration eines lokalen Wasserkreislaufs gegenüber der Versickerung und Grundwasserneubildung bei Absenkung des Wasserrückhalts in der Landschaft wird durch diese Untersuchungen bestätigt und sollte in den Planungen von Land-, Forst- und Siedlungswasserwirtschaft raschest umgesetzt werden. Das Schließen von Wasser- und Stoffkreisläufen durch orts- und zeiteingebundene Kreislaufwirtschaft bei optimalem Wasser- und Stoffstrommanagement sollte deshalb für die Bewertung der Flächenbewirtschaftung als Hauptkriterium Eingang finden und dringendst Basis für die leistungsgerechte Bezahlung des Flächenbewirtschafters seitens der Gesellschaft werden.

8 Ausblick und anwenderbezogene Nutzbarmachung des Vorhabens

1. Ein Urwald weist eine, durch energetische, räumliche und stoffliche Limitierung, getriebene selbstoptimierte Prozessverteilung und Organismenstruktur auf, die das Resultat von sich ständig besser kurzschließenden Wasser- und Stoffkreisläufen darstellt.

2. Ein geschlossenerer Wasserkreislauf zeigt sich in einer messbaren diurnalen Musterbildung bezüglich Leitfähigkeit und z.T. der Wasserstände. Dies ist eine Folge der im Sommer tagsüber gesteigerten Verdunstung und besonders nächtens auftretender Nebel- und Taubildung. Bei Verdunstungs- bzw. aktiven Evapotranspirationsprozessen werden keine Stoffe verlagert. Bei einfallendem Nebel bzw. bei Kondensation des am Tage verdunstenden Wasserdampfs ändern sich die Leitfähigkeit des Wassers sowie die Temperaturdämpfung tagesrhythmisch. Insbesondere diese Eigenschaften wurden durch weiteren Einsatz von zusätzlichen Temperaturmesssonden belegt.

Der Prozess eines funktionalen Landschaftsmonitorings wurde im bisherigen Urwaldprojekt initiiert. Für die objektive Beurteilung von genutzten Landschaftsflächen und ihrer volkswirtschaftlich nachhaltigen Bewirtschaftung erweisen sich sowohl die Beobachtung der irreversiblen Stoffflüsse sowie die optimale, thermale Dämpfung der Landschaftsflächen durch die Vegetation als geeignet. Der Bewertungsschwerpunkt sollte sich allerdings nicht

mehr an Zustandsgrößen orientieren, sondern an der durch Energie- und Stoffflüsse geprägten Landschaftsdynamik die vom Bewirtschafter im sowohl positivem wie auch negativem Sinn stark beeinflusst werden können. Aus diesem Grund sollte für die Zukunft überlegt werden, inwieweit dieser Ansatz auch für die Fortschreibung des Ökopunktesystems, das sich in Österreich bislang bewährt hat und zu ersten richtungssicheren Ergebnissen bezüglich Düngegewohnheiten und Wasserhaushalt geführt hat, eingehen sollte. Dazu wäre die fortgeschriebene Überprüfung mittels eines heuristischen Monitoringprozesses sinnvoll.

Der Gedanke eines heuristischen Monitoringprozesses ist nicht neu. Kopezky, R. forderte bereits 1899 in seiner beachtenswerten Arbeit „Wald und Niederschläge" einen fortschreibbaren heuristischen Prozess der meteorologischen Beobachtung als Basis für eine bessere Bewirtschaftung. Ein Vergleich der Stoffflüsse und des Wasserhaushalts vom Urwaldsystem mit stark bewirtschafteten bzw. irreversibel beschädigten Flächen ist angebracht.

Der vorgestellte Ansatz ermöglicht, durch ein laufendes Monitoring mit ständig zunehmendem Erkenntnisgewinn, ein rückgekoppeltes multifunktionales Qualitätsmanagement der Flächen. Wasserhaushalt, Temperaturdämpfung und Stoffflüsse werden orts- und zeiteingebunden abgebildet. Eine fortschreibbare Wissensbasis scheint für das zukünftig geforderte Ressourcenmanagement auf der Fläche unverzichtbar, weil damit alle funktionserhaltenden notwendigen ökologischen Prozesse erfasst werden. In unmittelbarer Rückkopplung werden dadurch auch inkrementelle Strategien möglich und ersetzen planwirtschaftliche Komponenten in der Steuerung des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses. Während die multitemporale Satellitenbeobachtung die Entwicklung von Kühlsystem und überhitzten Landschaften abbildet, werden deren Prozesse mittels eigener an verschiedenen Standorten aufgestellten Temperatursonden genauer untersucht. Die Abflusssonden tragen in Verbindung mit Leitfähigkeitssonden dazu bei, die Entwicklung der irreversiblen Stoffflüsse und des Hydrographen (Abfluss-Ganglinie) in Abhängigkeit von Nutzung und Klima darzustellen.

Der sich laufend verbessernde Erkenntnisprozess kann mit zunehmender Richtungssicherheit „Was wäre wenn?"-Fragen beantworten. Eine leistungsgerechte Gestaltung der Transferzahlungen an die Flächennutzer eines Einzugsgebiets, kann auf dieser Basis erfolgen und die heutigen Subventionszahlungen ersetzen. Dies wäre wahrlich ein großer Schritt in Richtung ökologischen Wirtschaftens auf der Basis ökosozialer Kreislaufwirtschaft und nachhaltiger Nutzung mit dem Ziel intergenerativer Gerechtigkeit.

Nachdem die Gesellschaft über die Steuerung von Geldströmen rückgekoppelt motiviert wird, ist zu erwägen, die heute notwendigen Transferzahlungen in Form von Landwirtschaftssubventionen umzuwandeln und direkt für die Aufrechterhaltung der lokalen

Kreisläufe leistungsbezogen an die Leistungsträger für die Subsistenz der Bevölkerung, die flächenbewirtschaftenden Ressourcenmanager zu zahlen. Unter Subsistenz soll dabei die flächengebundene Produktion von erneuerbarer Energie, von sauberem Wasser, von Lebensmitteln und Rohstoffen sowie von funktionalem Naturschutz wie Klima, Atmosphäre und Kühlung im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt sowie eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit durch Kreislaufwirtschaft verstanden werden. Die Transferzahlungen waren einst durch die immer billiger zu gewinnende nichterneuerbare Energie notwendig geworden. Sie stellen heute eine finanzielle Kompensation für den Flächenbewirtschafter dar. Diese war notwendig geworden durch zu billige (nicht der Kostenwahrheit entsprechende) Transporte für die aufwendige Ver- und Entsorgung dichtbesiedelter Gebiete und Städte. In höchst schädlicher Weise wurden durch Zugang zur Droge nichterneuerbare (fossile- und Atom-) Energie und dadurch billige Transportkosten ursprünglich lokale bzw. regionale Märkte verzerrt und vernichtet. Die regionale Landwirtschaft wurde unterstützungsbedürftig. Durch die räumliche Streuung, und dem Zwang zur enormen Steigerung der Produktion von täglich benötigten Waren durch Spezialisierung, wurde eine funktionierende Kreislaufführung von Stoffen effizient verhindert und damit die Landschaftsfläche als „Hardwarebasis" für eine nachhaltige Nutzung irreversibel beschädigt. In einer Zeit, in der die einzelnen Gesellschaften immer mehr an die Grenzen des „ewigen" Wachstums stoßen und dadurch zunehmend negativen Rückkopplungen ausgesetzt werden, wird ein neues umweltverträglicheres Gesellschaftsmodell dringend erforderlich.

9 Literatur

Bendschneider, K. & Robinson, R.J. (1952): A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. J. Mar. Res. 11(1): 87-96

Brande, A., Erd, K. & Erlenkeuser, H. 2002: On the History of Holocene Climax Vegetation in the Northern Alps (Lower Austria). - Razprave IV. Razreda SAZU 43 (2), 63 - 77, Ljubljana. A 101

Digerfeldt, G. 1972: The post-glacial development of Lake Trummen: Regional vegetation history, water level changes and paleolimnology.- Folia Limnologica Scandinavica 16.- Lund, Sweden

Goßmann, H. 1990:Thermalbilder und Oberflächentemperaturen. In Akad. Natursch. Landschaftspfl. (ANL). Laufener Seminarbeitr. 1/90: 23-39.- Laufen/Salzach

Hildmann, C. 1999: Temperaturen in Zönosen als Indikatoren zur Prozeßanalyse und zur Bestimmung des Wirkungsgrades. – Energiedissipation und beschleunigte Alterung der Landschaft.- Diss. Mensch-und-Buch-Verlag 1999. ISBN 3-89820-028-0

Jowsey, P.C. (1966): An improved peat sampler. New Phytol. 65: 245-248

Koroleff, F. (1976): Determination of phosphorus. In: GRASSHOFF., K. (ed.): Methods of Seawater Analysis. Verlag Chemie, Weinheim, New York: 117-125

Kral, F. & Mayer, H. 1968: Pollenanalytische Überprüfung des Urwaldcharakters in den Naturwaldreservaten Rothwald und Neuwald (Niederösterreichische Kalkalpen). – Forstwiss. Cbl. 87, 150 – 175.

Kral, F. 1979: Spät- und postglaziale Waldgeschichte der Alpen aufgrund der bisherigen Pollenanalysen. – Veröff. Inst. Waldbau Univ. Bodenkultur Wien, 175 S.

Kusel-Fetzmann, E. 1981: „Auf den Mösern" – ein wenig bekanntes Moor in Niederösterreich. – Verh. Zool.-Bot. Ges. Österr. 120, 5 – 28.

Madsen, B.C. & Murphy, R.J. (1981): Flow injection and photometric determination of sulfate in rainwater with methylthymol blue. Anal. Chem. 53: 1924-1926

Mullin, J.D. & Riley , J.P. (1955): The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters.- Anal. Chim. Acta 12: 162-176

Murphy, J. & J.P. Riley (1962): A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 27: 31-36

Regionalprogramm Ökopunkte Niederösterreich 1999: - Informationsheft zur Förderung von besonderen Intensivnutzungsleistungen und ökologischen Leistungen von Landwirtschaftlichen Betrieben.- Herausgeber: NÖ Landschaftsfonds, 3430 Tulln 24 pp.

Riedling, K., Ripl, W., Fallmann, W., Hildmann, C., Luger, B., Svasek, P., Winkler, W. (1997): Autarke Datenakquisitionssysteme für das Monitoring hydrologischer Parameter. In Ahlers, H. (Hg): Multisensorpraxis 239-254.- Berlin Heidelberg, New York

Ripl, W. 1995: Management of Water Cycle and Energy Flow for Ecosystem Control – The Energy – Transport – Reaction (ETR) Model. In Ecological Modelling – 78, 61-76.

Ripl, W., Trillitzsch, F., Backhaus, R., Blume, H.-P., Widmoser, P., Janssen, T., Hildmann, C. und Otto, I. (1996): Entwicklung eines Land-Gewässer Bewirtschaftungskonzeptes zur Senkung von Stoffverlusten an Gewässer (Stör-Projekt I und II). Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein. Förderkennzeichen 0339310A und 0339538. Endbericht. 203 S. + Anhang. -Berlin

Ripl, W., Hildmann, C. & Janssen, T. 1995: Minimierung der Stoffverluste als Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung im Einzugsgebiet der Stör.- Zbl. Geol.Paläont. Teil 1, 1995 (10), 993-1011

Roller, M. 1963: Kleinklimatische Untersuchungen in einem alpinen Urwaldbestand.- Geofisica e Meteorologica Vol. IX (1963) 20 pp.

Singh, S.M. (1988): Brightness Temperature Algorithms for Landsat Thematic Mapper Data. In Remote Sensing of Environment, 24: 509-512. – New York

Wood, E.D., Armstrong, F.A.J. & Richards, F.A. (1967): Determination of nitrate in sea water by cadmiumcopper reduction to nitrite. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 47: 23-31

10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen:

Abbildung 1: Übersichtsplan vom Wildnisgebiet Dürrenstein 3
Abbildung 2: Klimaxgesellschaft versus Kulturzönose 4
Abbildung 3: Prinzipskizze Temperaturdämpfung 10
Abbildung 4: Laufzeiten der Temperatursonden 12
Abbildung 5: Standorte der eingesetzten Sonden 13
Abbildung 6: Temperaturverlauf an S01, S02 und S03 am 5.7.03 21
Abbildung 7: Gemittelte Tagesgänge auf Monatsbasis. Vergleich Kleiner Urwald (S02) mit Freifläche (S03) 23
Abbildung 8: Temperaturverteilung am 26.7.95 29
Abbildung 9: Temperaturverteilung am 29.6.97 30
Abbildung 10: Temperaturverteilung am 17.9.97 31
Abbildung 11: Oberflächentemperatur an den Standorten S09, S08, S07 und S06. 33
Abbildung 12: Verteilung der Temperaturklassen 34
Abbildung 13: LF04 (Rothausbach unterhalb vom Moderbach) während der Holzbringung im Vergleich zu LF05 (Rothbach von der Holzbringung unbeeinflusst) 39
Abbildung 14: Darstellung der Hangneigung im Untersuchungsgebiet 56
Abbildung 15: Darstellung der Ausrichtung im Untersuchungsgebiet 57
Abbildung 16: Darstellung der Beschattung im Untersuchungsgebiet 58
Abbildung 17: Darstellung der Geländehöhen im Untersuchungsgebiet 59
Abbildung 18/1: Mittelwert und Varianzen von S01 auf Monatsbasis 60
Abbildung 19/1: Mittelwert und Varianzen von S02 auf Monatsbasis 63
Abbildung 20 /1: Mittelwert und Varianzen von S03 auf Monatsbasis 68
Abbildung 21 /1: Mittelwert und Varianzen von S06 auf Monatsbasis 74
Abbildung 22 /1: Mittelwert und Varianzen von S07 auf Monatsbasis 77
Abbildung 23 /1: Mittelwert und Varianzen von S08 auf Monatsbasis 81
Abbildung 24 /1: Mittelwert und Varianzen von S09 auf Monatsbasis 84
Abbildung 25 /1: Mittelwert und Varianzen von S99 auf Monatsbasis 87
Abbildung 26 /1: Leitfähigkeit und Wasserstand an L04 und L05 mit Niederschlagsdaten von der Klimastation "Edelwies" 103
Abbildung 27: Pollendiagramm Rotmösel 134
Abbildung 28 /1: Analyse Ergebnisse des Rotmösel Bohkerns 135
Abbildung 29 /1: Analyse Ergebnisse des 1. Kerns Grubwiesalm 140
Abbildung 30 /1: Analyse Ergebnisse des 2. Kerns Grubwiesalm 145
Abbildung 31 /1: Analyse Ergebnisse des Bohrkerns Bärwies 150

Tabellen:

Tabelle 1: Standorte der Leitfähigkeitssonden 7
Tabelle 2: Standorte der Temperatursonden 11
Tabelle 3: Aufnahmebereiche des Landsat 5 TM 14
Tabelle 4: Emissionskoeffizienten einiger ausgewählter Oberflächen in Spektralbereichen zwischen 8 und 14µm. (Ausgewählt aus der Zusammenstellung von Baumgartner et al. 1985, zit. in Goßmann 1990) 16
Tabelle 5: Dämpfungsfaktoren für die jeweiligen Sondenstandorte 23
Tabelle 6: Maximum, Minimum, Dämpfungsfaktor, Mittelwert, Median und Standardabweichung der Temperatursonden 90
Tabelle 7: Wasserchemische Untersuchung der Schneeproben 98
Tabelle 8 /1: Wasserchemische Untersuchung der Gewässerbeprobung 99
Tabelle 9 /1: Tagesmittelwert, -maximum und -minimum der Leitfähigkeit [mS/m] und des Wasserstands [cm] an Lf04 und LF05 113