

## Sachbereich: Forstliche Standortskunde (Site of forest ecosystems)

### Fortzuführende Vorhaben



**Projekt:** „Entwicklung eines transnationalen Instrumentariums der räumlichen Planung zur Verminderung von Hochwasserschäden durch vorsorgende Landnutzung in mesoskalierten Einzugsgebieten“  
(Development of transnational instruments for spatial planning to decrease flood disasters by precautionary land-use” – **WaReLa** (Water Retention by Land-use) – (gefördert durch die EU im Programm INTERREG III B NWE )

In dem Projekt WaReLa soll ein Instrumentarium zur Entscheidungsunterstützung entwickelt werden, um ingenieurtechnische Maßnahmen zum Hochwasserschutz mit dezentralen Maßnahmen des vorbeugenden Wasserrückhaltes durch die Flächenbewirtschaftung, also Maßnahmen der Forstwirtschaft, der Landwirtschaft und Maßnahmen im Siedlungs- und Verkehrsbereich zu ergänzen und zu koordinieren.

Landnutzungsmaßnahmen zum Wasserrückhalt in Einzugsgebieten haben erkennbar positive Wirkungen im unmittelbaren örtlichen Zusammenhang. In WaReLa werden Übertragungsfunktionen entwickelt, um von örtlichen Wirkungen auf die mesoskalige Effektivität und damit ihre ökonomisch-ökologische Effizienz zu schließen. Daher werden in diesem Projekt die Effektivität von wasserrückhaltenden und abflussverzögernden Maßnahmen bei der Bewirtschaftung von Waldflächen, landwirtschaftlichen Nutzflächen, Gewässern und Auen sowie im Siedlungs- und Verkehrsbereich in kleinen Raumeinheiten gemessen und auf große Raumeinheiten übertragen. Außerdem wird deren (Öko-) Effizienz bewertet. Effiziente Maßnahmen werden in ein Expertensystem für die

Raumplanung eingebunden, das sowohl die sehr unterschiedlichen Landnutzungsmöglichkeiten, die Landschaftsstruktur, die standortstypischen Eigenschaften und auch mögliche meteorologische Situationen berücksichtigt. Die Wirkung von hochwasservorsorgenden Landnutzungsmaßnahmen und ihre Ökoeffizienz werden nach einer Analyse von möglichen Raumplanungsinstrumenten in transnationale Umsetzungsempfehlungen zur Hochwasservorsorge durch flächenbezogene Maßnahmen eingearbeitet. Die Raumplanung ist ein wichtiges Instrument, um zwischen den verschiedenen Interessen in einem Einzugsgebiet zu vermitteln. Neue Instrumentarien, die mit diesem Projekt erarbeitet und eingeführt werden sollen, wie GIS-basierte Systeme und offene programmgesteuerte Systeme zur Bewertung der ökonomischen Folgen und der Ökoeffizienz von hochwasservorsorgenden Maßnahmen der Flächennutzung, besitzen eine große Bedeutung für ein besseres Informationsmanagement, für die öffentliche Beratung, für die Entscheidungsfindung und für die Akzeptanz von hochwasservorsorgenden Maßnahmen.

Die Projektleitung von WaReLa und das Finanz-

management wird von der FAWF wahrgenommen. Außerdem koordiniert die FAWF notwendige Kartierungsarbeiten und Inventuren im Wald und plant und überwacht forstliche Maßnahmen der Hochwasservorsorge in den Projekt-Testgebieten. Die Website [www.warela.de](http://www.warela.de) informiert über das Projekt und dessen Verlauf.

In 2005 wurde die Standortkartierung in den 4 forstlichen Testgebieten (Frankelbach im FA Otterberg, Holzbach im FA Saarburg, Schwarzbach im FA Johanniskreuz und Schleidweiler/Zemmer im FA Trier) nahezu vervollständigt. Auf der Basis der Standortkartierung wurde ein Expertensystem zur Herleitung von flächigen Abflusssensitivitäten entwickelt und in ein geographisches Informationssystem eingebunden. Dieses erlaubt die Ausgabe von digitalen Karten der Abflusssensitivität als Planungsgrundlage für forstliche Umweltvorsorgemaßnahmen, die in erster Linie dem Wasserrückhalt und der Abflussverzögerung dienen (Abb. A1). Zur Planung von gezielten Vorsorgemaßnahmen zum Wasserrückhalt und zur Abflussverzögerung wurden die flächenmäßig im GIS erfassten Abflusssensitivitäten in weiteren Schritten mit den Inventurdaten der Kartierung

von abflussverschärfenden Linien, ergänzt. Dies sind Drainagegräben (Abb. A2), Waldwege mit häufig wegbegleitenden Entwässerungsgräben und Wegedurchlässen, das für die flächige Waldbewirtschaftung notwendige Feinerschließungsnetz mit Maschinen- und Rückewegen, Rückegassen und Seiltrassen, außerdem Abflusslinien und Erosionsspuren im Gelände. Auch hierfür wurde ein Entscheidungsbaum entwickelt, der automatisiert das Waldwegenetz im Hinblick auf den Wasserrückhalt und die Abflussverzögerung klassifiziert (Abb. A3). Mit Hilfe eines GIS wird eine digitale Planungskarte ausgegeben mit Waldwegen, die eine hohe oder geminderte Abflussbereitschaft aufweisen, bzw. mit Waldwegen, deren Abfluss sich nicht von dem der Umgebung unterscheidet, um so Schwerpunkte für die Wegebauplanung und für die Planung der Wegeunterhaltung aufzuzeigen.

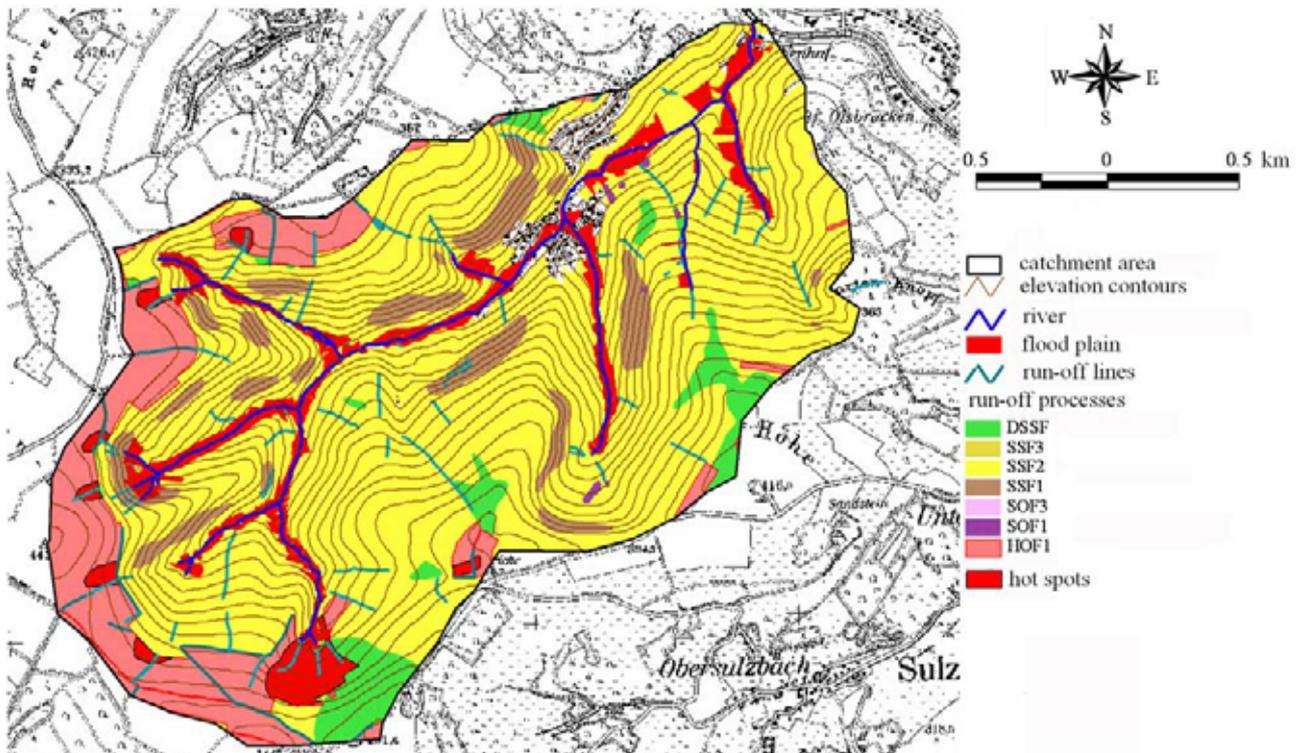


Abb. A2: Beispiel einer digitalen Karte mit Abflusssensitivitäten (DSSF = tiefer Zwischenabfluss, SSF = Zwischenabfluss, SOF = Sättigungsoberflächenabfluss, HOF = Hortonscher Oberflächenabfluss) im Einzugsgebiet des Frankelbaches als Ergebnis einer Auswertung der forstlichen Standortskartierung

Fig. A2: This map displays runoff sensitivities in a test site in the south west of Germany (Frankelbach catchment). It is the result of linking the spatially explicit information of the forest site survey with a decision tree to derive runoff sensitivities.

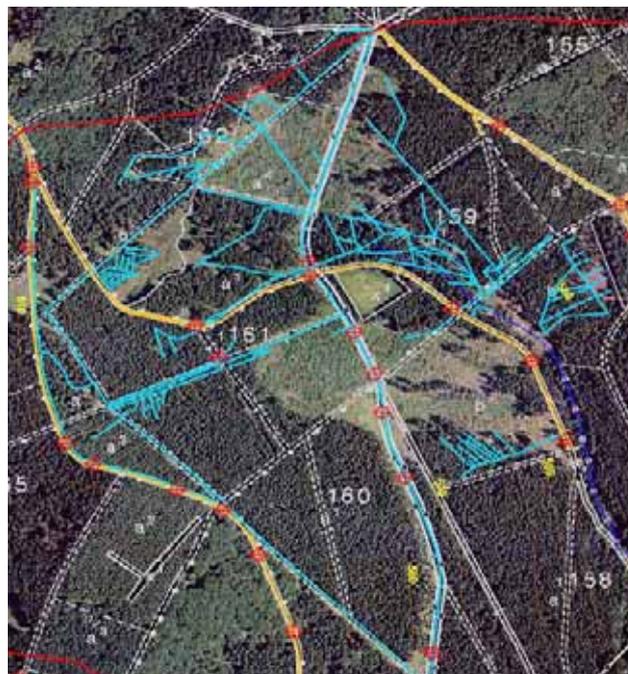
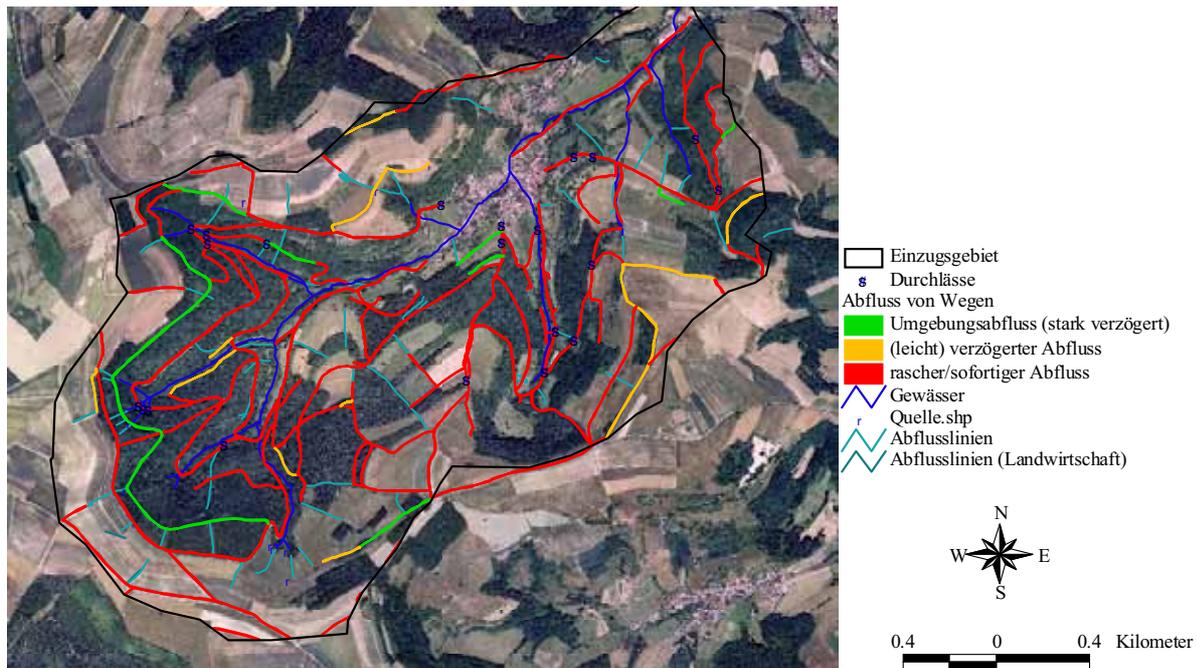


Abb. A3: Beispiel einer digitalen Karte mit Entwässerungsgräben im Einzugsgebiet des Holzbaches

Fig. A3: This map displays a network of drainage ditches in the forests of a test site in the south west of Germany (Holzbach catchment).



**Abb. A4: Beispiel einer digitalen Karte der Abflusssensitivität des Waldwegenetzes im Einzugsgebiet des Frankelbaches**

**Fig. A4: This map displays runoff sensitivities of the forest road network in a test site in the south west of Germany (Frankelbach catchment).**

2005 wurden von allen Testgebieten Luftbilder angefertigt. Für die 3 Testgebiete in den Forstämtern Johanniskreuz, Otterberg und Saarbürg wurden unter dem Gesichtspunkt der Waldfunktion „Wasserrückhalt“ Planungskonzepte erstellt zur waldbaulichen Behandlung, zum Wegebau und zur Wegeunterhaltung, zur Renaturierung von entwässerten Bruchflächen sowie zur Gewässerrenaturierung. Dazu wurde in den Testgebieten die Gewässergüte von allen Waldbächen kartiert, um Informationen über den ökologischen Zustand der Gewässer und der Auen zu erhalten. Zur Dokumentation der Renaturierung der Bruchflächen im Holzbach-Testgebiet wurden dort in einer Catena Grundwasserpegel und Bodenfeuchtemessgeräte eingebaut. Waldbauliche Maßnahmen zum Wasserrückhalt wurden in den drei genannten Testgebieten begonnen. Die Wege in den Testgebieten der Forstämter Johanniskreuz und Otterberg wurden unter dem Gesichtspunkt der Abflussverzögerung umgebaut. Landwirtschaftliche Flächen im

Forstamt Otterberg, die sich als „Hot Spot“ der Abflusentstehung erwiesen haben wurden aufgekauft und nach einer speziellen Planung zur Unterbrechung von Abflusslinien im Umfang von 30 ha aufgeforstet. Dabei wurden verschiedene Varianten mit unterschiedlichen Baumarten und Pflanzschemata zu Untersuchungszwecken angelegt. Um im Testgebiet Frankelbach an den Kreuzungen von Gewässern und Wege(dämme)n naturnahe kleine Rückhaltebecken anzulegen, wurden von den Wegedämmen Standsicherheitsgutachten angefertigt.

Zur Vorbereitung der Renaturierung eines Gewässerabschnittes der Lauter im Bereich des Forstamtes Otterberg wurde eine Vorstudie erstellt. Die Lauter weist in diesem Streckenabschnitt einen ausgebauten gestreckten Verlauf auf. Jedoch ist in historischen Karten in diesem Bereich eine mäandrierende Linienführung belegt. Die Gewässerufer werden nur auf kurzen Abschnitten von Gehölzen begleitet. Die steil geneigten Ufer brechen aktiv

nach ohne erkennbare Tendenzen zur Laufkrümmung. Das Bett ist streckenweise übertieft. Der naturferne Ausbauzustand drückt sich auch in den vorherrschenden Strukturgüte-klassen 5 und 6 aus (stark bis sehr stark verändert). Aufgrund des geringen Gefälles ist die Lauter im betroffenen Talraum ausgesprochen entwicklungsträge. Obwohl die Ufer unbefestigt sind, blieb der Ausbauzustand über die Jahrzehnte erhalten. Es sind keine Ansätze zu einer eigenständigen Renaturierung zu einer mäandrierenden Linienführung zu erkennen. Die in Landesrecht umgesetzte EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert, bis zum Jahr 2015 einen „guten ökologischen Zustand“ zu erreichen. Die Lauter ist eines der Gewässer in Rheinland-Pfalz, bei dem in dieser Hinsicht dringender Handlungsbedarf besteht. Mit Maßnahmen zur künftigen Gewässerrenaturierung sollen die natürliche Laufentwicklung und Bettformen wieder hergestellt werden. Die Planungen sehen vor, dass innerhalb der vorhandenen Gewässertrasse ein

struktureicher Gewässerkorridor durch kurze, lokale Laufverschwengungen, durch Uferabflachungen und mit der Vorschüttung von Bermen entwickelt werden soll. Auf die Herstellung der ursprünglichen Laufentwicklung wird zugunsten eines geringeren Eingriffs in die heute vorhandenen Röhrichtflächen verzichtet. Allerdings sollen auf der halben Streckenlänge zwei große Mäanderbögen neu angelegt werden. Das neue Bett soll baggerrauh belassen werden. Auf der Basis dieser Vorstudie hat der Kreistag des Landkreises Kaiserslautern der FAWF den Auftrag zur Renaturierung dieses Gewässerabschnittes erteilt.

Um die **Ökoeffizienz der Maßnahmen** herleiten zu können, wurden die Erfahrungen aus den Testgebieten eingebracht und ausgewertet. Methoden zur Ökoeffizienzanalyse wurden an die Erfordernisse zur Bewertung von wasserrückhaltenden Landnutzungsmaßnahmen angepaßt und weiterentwickelt.

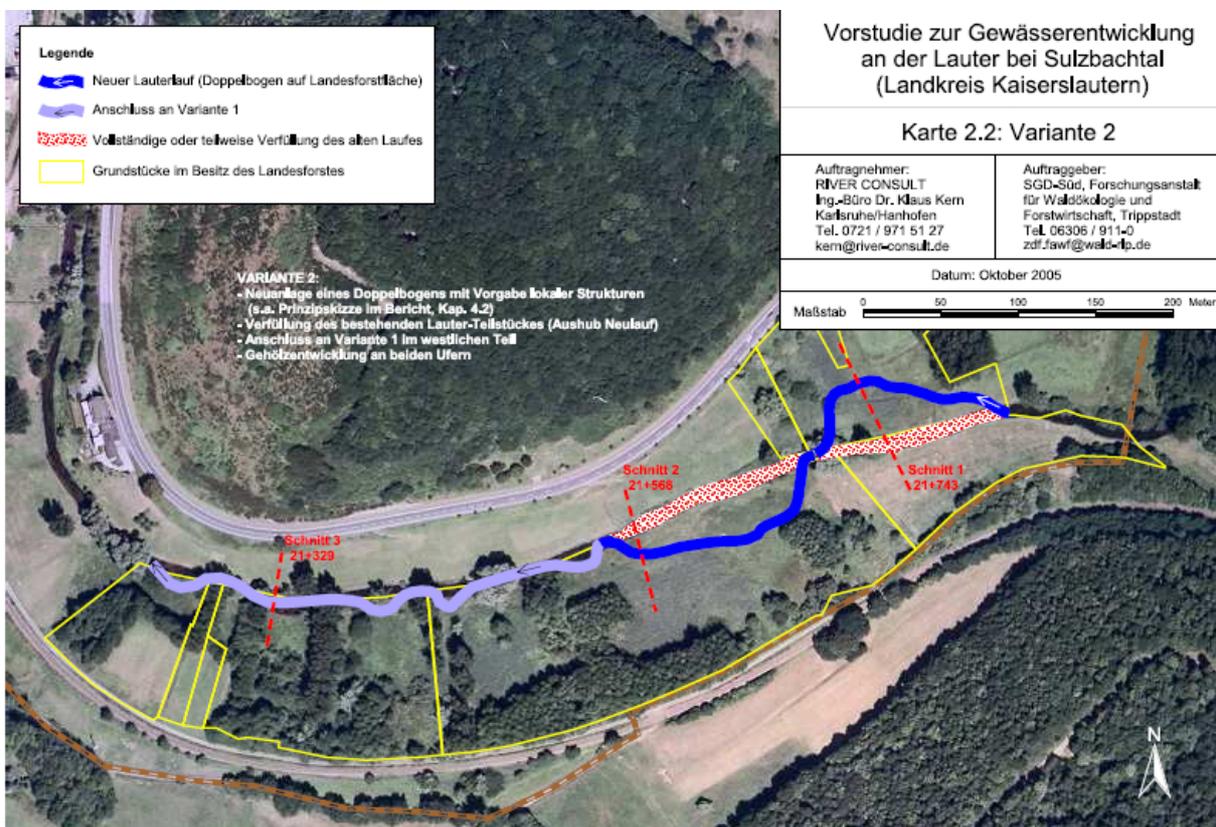


Abb. A5: Planung der Renaturierung eines Streckenabschnittes der Lauter

Fig. A5: This map displays the renaturation plan for the river Lauter

Zur Herleitung von **transnationalen Steuerungselementen**, mit denen auf politischem Wege hochwasservorsorgende Landnutzungsmaßnahmen gefördert und umgesetzt werden sollen, wurde die rechtliche Situation in Deutschland analysiert, speziell auch im Hinblick auf die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL 2000/60/EG). Diese soll einen Ordnungsrahmen übergreifend über politische Grenzen hinaus für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik schaffen. Leitbild der EU-WRRL ist der natürliche Zustand der Gewässer mit Blick auf die drei Komponenten Biologie, Gewässerstruktur und Wasserqualität. Die Waldbewirtschaftung soll bei entsprechender Vorsorge und Rücksichtnahme dazu beitragen, die Vorgaben der EU-WRRL umzusetzen. Die EU-WRRL gilt für die Einzugsgebiete ganzer Flussgebietseinheiten. Damit sind alle Waldflächen betroffen. Besonderes Augenmerk wird auf direkt von Oberflächen- oder Grundwasser abhängige Waldökosysteme gelegt, wie Auen, Bruchwälder verschiedenster Ausprägung und Moore sowie Wälder auf (Pseudo-)Gleyböden, außerdem auf Wasserschutz-

gebiete, unmittelbar vom Wasser abhängige Lebensräume, nährstoffsensible Gebiete und Gebiete für den Schutz von Lebensräumen und Arten, einschl. der NATURA-2000-Flächen (FFH- und Vogelschutzgebiete) und auf den Uferbereich von Oberflächengewässern, der die Gewässermorphologie (Uferverbau, Mäandrierungen oder Gewässerlaufbegradigungen, gewässerbegleitende Wege) beeinflussen kann. Für jede Flussgebietseinheit oder für den in das Hoheitsgebiet des Bundes fallenden Teil einer internationalen Flussgebietseinheit sind nach der EU-WRRL Maßnahmenprogramme und einzugsgebietsweise Bewirtschaftungspläne aufzustellen.

Maßnahmen, die den Zielsetzungen der EU-WRRL in besonderem Maße dienen, gehen oft über die Zielsetzungen einer ordnungsgemäßen Forstwirtschaft und über die Sozialbindung des Eigentums hinaus: Für diese Fälle müssen die Mitgliedstaaten der EU bis 2010 die Voraussetzungen schaffen, dass die Wassernutzer einen angemessenen Beitrag zur Deckung der Kosten dieser „Wasserdienstleistungen“ leisten.



**Projekt:** *„Ökologische Begleituntersuchungen bei Sukzessionen und Walderneuerung mit Hilfe von Vorwäldern auf Sturmschadensflächen in Rheinland-Pfalz“ (gemeinsames Projekt mit der Universität Freiburg, Waldbauinstitut, Prof. Dr. Huss)*  
*(Complementary ecological investigations on succession and reforestation on storm damaged areas in Rheinland-Pfalz)*

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden in den Forstämtern Simmern und Soonwald - und auf weiteren Versuchsflächen in Baden-Württemberg - die ökologischen Auswirkungen von Sukzessionen und nach Baum- und Strauchararten und nach Pflanzendichten variierenden Vorwäldern und mit den Zielbaumarten angelegten Kulturen untersucht. Es wird insbesondere den Fragen der Schutzwirkungen, z.B. Spätfrostschutz, und der Beeinflussung des Wasser- und Nährstoff-

haushaltes nach Sukzessionen bzw. gezielt eingebrachten Vorwaldbaumarten nachgegangen. 2005 wurden in Fortführung der 1993 begonnenen Messungen auf ausgewählten Versuchspartellen mit Fichtenstangenholz, Alteichenbestand, Eichenverjüngung, bzw. Eichenverjüngung unter dem Schirm von Vorwaldbaumarten Sickerwasserproben für chemische Analysen gewonnen. Zur Ermittlung der Bodenfeuchte werden parallel zur Sickerwasserbeprobung TDR-Sondenmessungen

durchgeführt. Klimamessstationen geben einen Überblick über forstmeteorologische Ereignisse in den Versuchsanlagen und liefern Meßdaten zur Modellierung des Wasserhaushaltes und zur Stoffbilanzierung.

Die Wasserhaushaltsuntersuchungen haben zum Ziel, die veränderten Standortbedingungen nach

den Sturmwürfen und die laufende Veränderungen durch die Sukzession, bzw. das Aufwachsen der gepflanzten Folgebestände zu dokumentieren. Später soll insbesondere die Frage beantwortet werden können, ob es aus standörtlichen Gründen notwendig ist, die gewünschte Zielbestockung unter dem Schutz eines Vorwaldes heranzuziehen.



**Projekt:** *„Ökologische Begleituntersuchungen zum Fichte/Erle-Mischungsversuch auf Pseudogleystandorten im Forstamt Neupfalz“*  
(*Complementary ecological investigations on mixed spruce/alder stand trial on simi-gley sites in the forest district Neupfalz*)

Wenn die Fichte auf stauwasserbeeinflussten Böden in Zukunft überhaupt noch eine Bedeutung als Wirtschaftsbaumart behalten soll, müssen von Fichten dominierte Bestände frühzeitig stabilisiert werden. Eine Möglichkeit dazu scheint die Mischung mit Baumarten zu sein, welche in der Lage sind, Böden tief und intensiv zu durchwurzeln. Für die Roterle liegen Hinweise vor, daß sie auch die Stauhohizonte durchwurzelt. Neben einer stabilisierenden Wirkung durch den Wasserverbrauch und einer günstigen ökochemischen Beeinflussung durch ihre milde Streu, soll langfristig durch die Durchwurzelungsdynamik die Bodenstruktur verbessert werden. Gleichzeitig geht aus der Literatur aber auch hervor, daß die Roterle in den Stickstoffhaushalt eingreift und die pH-Werte in der Bodenlösung absenkt, daß die Basensättigung abnimmt und die Aluminiummobilität wächst bei gleichzeitig abnehmender Phosphorverfügbarkeit. Daher wird das waldbauliche Konzept der Fichten/Erlen-Mischung auf seine ökochemischen und ökologischen Auswirkungen hin überprüft.

Die Bodenfeuchtemessungen mit dem TDR-System wurden weitergeführt. Außerdem wurden laufend Wasserproben aus verschiedenen Bodentiefen gewonnen und chemisch analysiert.

2005 wurde die Entwicklung der Bodenvegetation im Vergleich der Varianten „reine Fichte“ und „Fichten-Erlen-Mischung“ und „Erle“ erhoben. Die Auswertung ergab, dass von 41 aufgenommenen krautigen Pflanzen, 7 in allen 3 Varianten verbreitet sind: *Agrostis canina*, *Deschampsia caespitosa*, *Deschampsia flexuosa*, *Epilobium angustifolium*, *Galium harcynicum*, *Holcus mollis* und *Rubus idaeus*. Daneben findet man Stickstoffzeiger, die nur auf den Fichten-Erlen-Mischbestandsflächen bzw. nur unter Erle vorkommen wie *Urtica dioica*, *Galeopsis tetrahit*, *Glechoma hederaceae*, *Solanum dulcamara*, *Scrophularia nodosa* und *Moehringia trinervia*. Diese Pflanzen haben deutlich höhere Stickstoffzeigerwerte als die Pflanzen unter reiner Fichte. Außerdem findet man unter Erle signifikant höhere Deckungsgrade in der Kraut- und Strauchschicht sowie signifikant niedrigere Deckungsgrade in der Moosschicht. Die Deckungsgrade in den Erlen-Fichten-Mischbestandsflächen lagen unter denen der Fichtenkontrollflächen, was auf bessere Lichtverhältnisse der Fichtenkontrollflächen zurückgeführt wird.



**Projekt:** „Lokalisierung sturmgefährdeter Gebiete über topographisch gegliedertem Gelände“, vorm.: „Konstruktive Approximation des Windfeldes (zusammen mit der Universität Kaiserslautern, AG Geomathematik, Prof. Dr. Freeden und der universität Trier, Abt. Fernerkundung, Prof. Dr. Vohland)“  
(Mapping storm- endangered areas in a topographically structured landscape )

In den letzten beiden Dekaden führten häufige und z.T. außergewöhnlich starke Orkane (Wiebke, Vivian, Lothar) zu schweren Sturmschäden in rheinland-pfälzischen Wäldern. Bisher wurden potenziell gefährdete Waldstandorten entweder gar nicht oder auf der Grundlage der Faktorenkomplexe von Sturm, Standort, Bodenzustand und Relief kartiert. Die Regionalisierung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung in einem Windfeld zeigt deutliche Fortschritte zur Erfassung des Faktorenkomplexes Sturm, welcher ja die primäre Voraussetzung für Sturmschäden im Wald ist. Häufungen typischer Windfelder aus regionalisierten Messdaten geben Hinweise auf sturmexponierte Lagen, welche ansonsten nur durch aufwendige Einzelmessungen hergeleitet werden können. Dabei haben sich vor allem ältere Fichtenbestände auf flachgründigen und staunassen Standorten als extrem sturmwurfgefährdet erwiesen. Die Windwurfgefährdung wird außerdem durch in der Hauptwindrichtung vorgelagerte Bestandeslücken erhöht. Da nach jüngsten Klimastudien zu erwarten ist, dass die Wahrscheinlichkeit für Starkwindereignisse zunimmt, ist es das Ziel dieses Projektes, Windfelddaten, Standorts-, Boden- und Baumarteninformationen sowie Inventurdaten von Windwurfflächen und Bestandeslücken in einem Geographischen Informationssystem (GIS) miteinander zu verschneiden, um auf diese Weise eine digitale Sturmgefährdungskarte als Planungsgrundlage der Forsteinrichtung zu erzeugen. Mit Hilfe dieser Gefährdungsanalyse können präventive, forstliche Maßnahmen eingeleitet werden, um mögliche Schäden im Wald und deren Konsequenzen auf die Holzwirtschaft zu minimieren.

### **Entwicklung einer digitalen Windfeldkarte unter Berücksichtigung des topographisch gegliederten Geländes**

Um aus diskret vorliegende Meßwerten zur Windrichtung und Windgeschwindigkeit ein regionalisiertes Windfeld zu erzeugen, war es notwendig aus großen Datenmengen mit modernen mathematischen Verfahren die für den Nutzer interessantesten, hochauflösenden regionalen Details zu extrahieren. Zunächst wurden in einem sehr aufwendigen Prozess Meßdaten von 143 Klimastationen aus 5 verschiedenen Messnetzen (Daten der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz – FAWF -, dem Landesamt für Umweltschutz, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht - ZIMEN -, dem Dienstleistungszentrum ländlicher Raum - LPP -, dem Deutschen Wetterdienst – DWD - und der Meteomedia AG - Jörg Kachelmann -) aufbereitet. Um die Messwerte aus teilweise unterschiedlicher Höhe (3 m, 10 m, 20 m) zu harmonisieren, wurde unter Annahme einer labilen Schichtung mittels der Wind-Shear-Formel die Windgeschwindigkeit auf WMO-konforme (World-Meteorological-Organization) 10 m Höhe berechnet. Dabei gehen vor allem die Messhöhe des Sensors sowie die Rauheitslänge der Stationsumgebung ein. Wegen des hohen Grades an Komplexität der zu Grunde liegenden strömungsbeschreibenden Gleichungen ist die Windfeldmodellierung realer, meteorologischer Strömungen bis heute eine große Herausforderung. Unter der Berücksichtigung von Kompromissen beim Umgang mit den Realdaten, die flächeninterpoliert und in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden, wurden vektorielle, sphärische Splines, vek-

torielle Spline-Techniken auf topographischen gegliedertem Gelände sowie das topographische, vektorielle Kriging entwickelt und hinsichtlich den Erfordernissen optimiert. Der Kerngedanke dieser Interpolationsverfahren ist die Verarbeitung von Informationen aus einem Lokargebiet, die sehr robust gegenüber Schätz- und Messfehlern sind. Eine sehr gute Modellierung ergibt sich mit dem Guess-Field, bei dem ein polynomialer Trend für die Windstärke in Abhängigkeit der Topographie, des Hindernisanteils und der Hangneigung hergeleitet wird. Dieser Trend wird durch multiple, nicht-lineare Regressionen aus den Daten geschätzt. In Kombination mit dem sphärischen Kriging wird somit in situ eines quasi-residualen sphärischen Krigings die Interpolation zu den Messdaten erzwungen. Diese erlauben, unter Be-

rücksichtigung zu Grunde liegender partieller Differentialgleichungen den stark regionalen Charakter des Windfelds über Rheinland-Pfalz korrekt abzubilden.

Für eine integrierte Datenverarbeitung der Messwerte und der mathematischen Algorithmen wurde das benutzerfreundliche Programm **WARP** (Windfeldanalyse Rheinland-Pfalz) entwickelt (Abb. A5). WARP erlaubt, durch eine hinterlegte Datenbank die Windgeschwindigkeit und Windrichtung bis auf Stundenbasis über einen frei gewählten Zeitraum zu berechnen. Bisher wurden Meßdaten der Jahre 1997 bis 2005 in die hinterlegte Datenbank aufgenommen. Jedoch kann die Stationsdatenbank jederzeit durch das Hinzufügen von neuen Messwerten oder von neuen Messstationen gepflegt und erweitert werden.

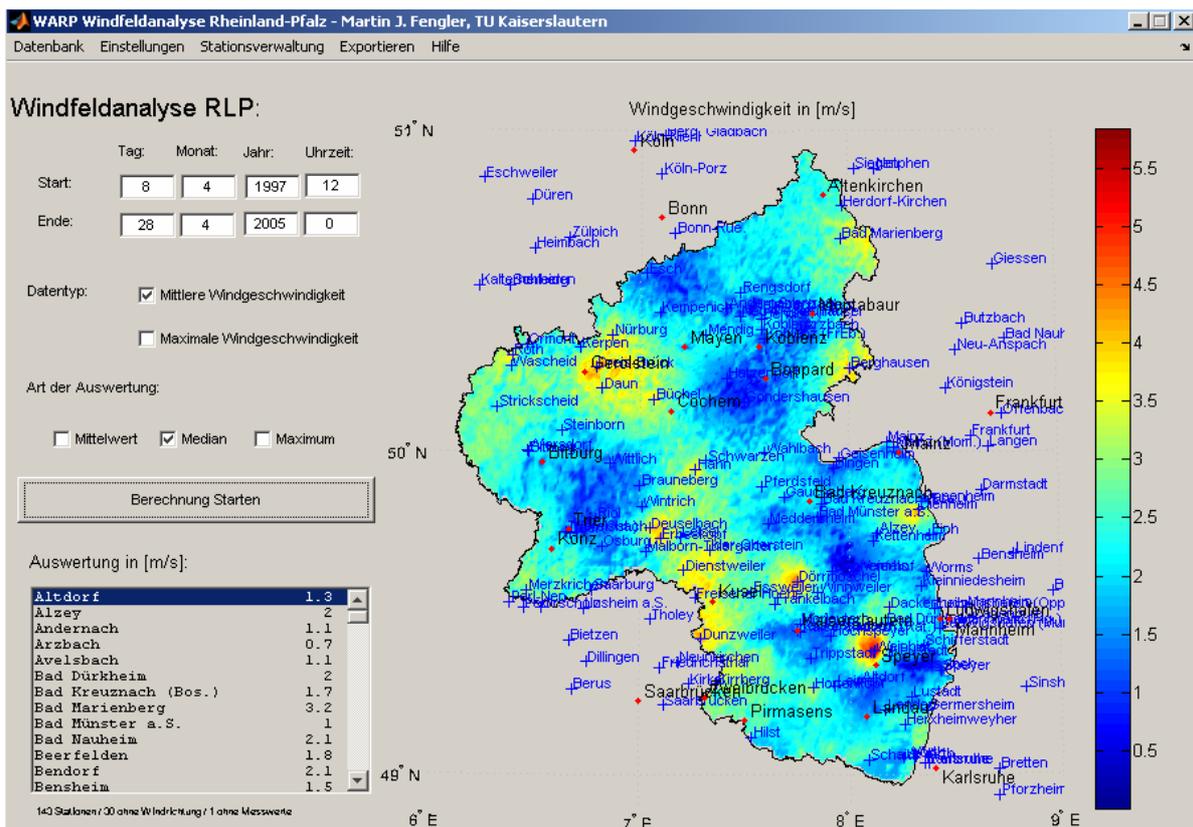


Abb. A6: Das Programm WARP ermittelt aus allen vorliegenden Windfeldmessungen (in diesem Beispiel für den Zeitraum 1997-2005) das Windfeld für Rheinland-Pfalz unter Berücksichtigung der Topographie, des Hindernisanteils sowie der Hangneigung.

Fig. A6: The programme WARP derives the regionalized wind field of Rheinland-Pfalz (in this case for the period 1997 – 2005) dependent on the topographic surface, any kind of barriers and the slopes

Um ein Windfeld für einen bestimmten Zeitraum abzuschätzen, wird zunächst intern ein polynomialer Trend ermittelt, bei der die Windstärke mit der Höhe zunimmt. Daher sind in Rheinland-Pfalz die Eifel und der Höhenzug des Hunsrücks besonders ausgeprägt. Die topographischen Details für Rheinland-Pfalz werden aus dem digitalen Geländemodell ETOPO30 hergeleitet. In einem nächsten Schritt wird der Hindernisanteil, der sich aus den im ATKIS verfügbaren Informationen über Bebauung und Bewuchs im Umkreis von 500 m um die Auswertepunkte errechnet, abgezogen. Dazu wurde eine ArcView-Extension entwickelt, die es erlaubt durch raumbezogene automatisierte Verfahren Hindernisanteile und Hangneigungen aus der Verschneidung der Punktkoordinaten, der ATKIS-Objektarten (z.B.: Ortslage, Wohnbau-, Industrie- und Gewerbefläche, Grünanlagen, Campingplätze, Acker-, Grün- und Gartenland, Moor, Sumpf, Wald, Gehölz, Sonderkulturen, fluss, Kanala; Seen usw.) und des digitalen Geländemodell in den Grenzen von Rheinland-Pfalz zu berechnen. Zusätzlich wird die Hangneigung erfasst, so dass schließlich die Messdaten im Rooted-Mean-Square-Error (RMSE) auf 0.31 m/s erklärt werden können. Das Residuum mit Erwartungswert Null bezogen auf den polynomialen Trend kann nun abschließend mit dem sphärischen Kriging interpoliert werden. Dieser Ansatz erlaubt die Approximation von Windfeldern auf Stundenbasis. Messfehler oder vorliegende Messlücken, z.B. durch den Ausfall von Messsensoren werden mit der Methode ebenfalls geschlossen. Das für 10 m Höhe berechnete Windfeld wird gespeichert und anschließend in einem Geographischen Informationssystem (GIS) mit Standorts-, Boden- und Bestandesdaten verknüpft.

#### **Herleitung von Windwurfflächen und Bestandeslücken in rheinland-pfälzischen Wäldern mit multispektralen Fernerkundungsdaten**

Als potenzielle Angriffspunkte zukünftiger Sturmereignisse werden Windwurfflächen und Bestandeslücken und deren Lage zur Hauptwindrichtung

identifiziert. Die Methode zur Herleitung von Windwurfflächen auf der Basis von Satellitenbildern über den Vegetationsindex und die lineare spektrale Mischungsanalyse kann neben der Erzeugung von Sturmwurfgefährdungskarten auch zur Lokalisierung von Schadensflächen dienen, um im Falle eines aktuellen Sturmschadensereignisses das Schadensausmaß zu ermitteln und um entsprechende Aufarbeitungsmaßnahmen gezielt zu steuern. Die multitemporale Auswertung von Satellitenbilddaten, in der Objektsignaturen direkt und quantitativ miteinander verglichen werden, verlangt eine adäquate radiometrische Vorverarbeitung der Daten. Dabei ist die jeweilige Überlagerung der Satellitenmessungen durch die zum Aufnahmezeitpunkt bestehenden Beleuchtungsverhältnisse, topographische und atmosphärische Bedingungen sowie die Aufnahmegeometrie in entsprechenden Korrekturverfahren zu eliminieren. Nach dieser Standardisierung ist es möglich, auch zeitlich variable Eigenschaften der beobachteten Objekte quantitativ zu beschreiben und für die verschiedenen Aufnahmezeitpunkte in Beziehung zu setzen. Aus den optischen Daten des Landsat-5 TM werden Windwurfflächen über eine multitemporale Analyse identifiziert, in der der Zustand vor und nach dem Schadereignis quantitativ verglichen wird. Dazu werden zunächst aus den optischen Daten des Landsat TM der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, nach ROUSE et al. 1974) aus den Kanälen TM4 und TM3 für die Szenen vor und nach dem Sturm pixelweise berechnet und ein Differenzbild erstellt. Für die lineare Spektrale Mischungsanalyse (SMA) wird das "multiple" 3-Endmember Modell eingesetzt. Dabei erhält man die modellierten Vegetationsabundanz, aus denen – analog der Vorgehensweise beim NDVI – entsprechende Differenzbilder berechnet werden. Sowohl die Methode der Spektralen Mischungsanalyse als auch der rein empirische Ansatz der Vegetationsindizes sind gut zur Inventarisierung von Windwurfflächen im Rahmen einer multitemporalen Analyse geeignet und weisen in der visuellen Interpretation eine

hohe Ähnlichkeit auf. Bestandeslücken und Vegetationsflächen wurde durch den visuellen Vergleich von Luftbildern mit multispektralen SPOT-Szenen abgegrenzt (Abb. A5).

Dies wurde auf die über die Waldmaske definierte gesamte rheinland-pfälzische Waldfläche ange-

wendet. Somit steht eine Informationsebene „Bestandeslücken im Wald“ zur Verfügung, die über eine entsprechende GIS-Analyse zur landesweiten Bewertung des Windwurf-Risikopotentials eingesetzt werden kann.

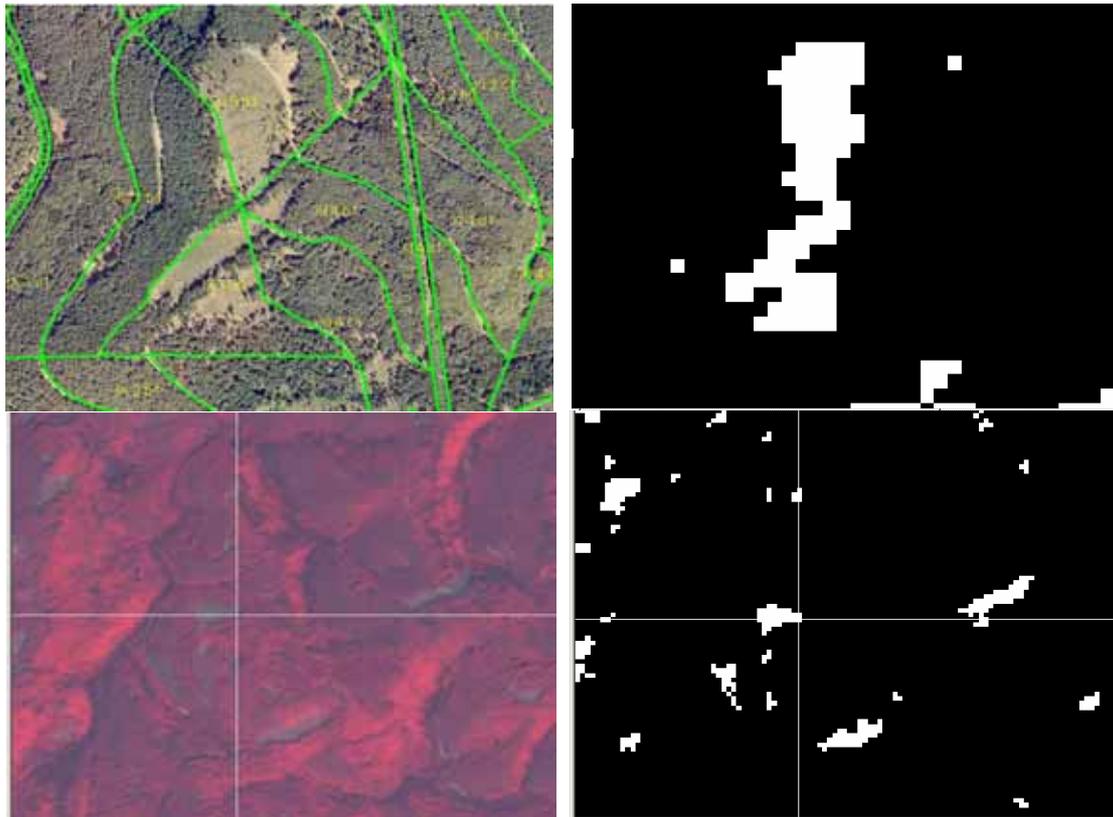


Abb. A7: Bestandeslücken, links: Luftbild bzw. SPOT-Szene (17.08.2003), rechts: über die Berechnung des NDVI ermittelte Bestandeslücken

Fig. A7: Empty spaces in a stand, on the left side: arial picture respectively SPOT-scene from 17<sup>th</sup> August 2003, on the right side: Derivation of the empty spaces by NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

**Entwicklung eines Geographischen Informationssystems (GIS) zur Erzeugung einer digitalen Sturmgefährdungskarte auf der Basis von ArcView/ArcGis**

Das Geoinformationssystem verschneidet die in WARP (Windfeldanalyse-Programm für Rheinland-Pfalz) generierten Windfeldpunkte bestehend aus Windgeschwindigkeit und Windrichtung mit den Geo-Informationen Bodenart/Staunässe, Laub- Nadel- und Mischwald, Baumart sowie den

aus den Satellitendaten ermittelten Bestandeslücken und mit dem digitalen Geländemodell. Es leitet mittels eines Expertensystems einen räumlich definierten Gefährdungsgrad ab mit den Kategorien „stabil“, „gefährdet“, „stärker gefährdet“ und „extrem gefährdet“. Grundlage des Expertensystems ist ein Entscheidungsbaum mit „ja/nein“-Entscheidungen. Mit Hilfe dieses Entscheidungsbaumes werden Flächen, die keine Schnittmengen mit stau- oder grundnassen Standorten bilden, als

„stabil“ ausgewiesen. Auch Flächen mit tiefer sitzender Staunässe (Stufe s3/g3) ohne flachwurzeln- de Baumarten fallen noch in diese Kategorie. Sind diese Standorte jedoch mit flachwurzeln- den Baumarten bestockt (z.B. Fichte) und kommt aus WARP die Information, dass hier mindestens ein- mal im Jahr mit Windgeschwindigkeiten über Beaufort 6 oder einmal in 5 Jahren mit Windge- schwindigkeiten über Beaufort 9 zu rechnen ist, werden diese Standorte der Kategorie „gefährdet“ zugewiesen. Liegen zudem in der Hauptwindrich- tung vorgelagerte ältere Windwurfflächen, so führt der Entscheidungsbaum zur Gefährdungskat- egorie „stärker gefährdet“.

Standorte der Stau/Grundnässestufe 4 werden bei standortgerechter Bestockung als „stabil“ ausge- wiesen. Eine Bestockung dieser Standorte mit flachwurzeln- den Baumarten führt zur Kategorie „gefährdet“ oder bei Windgeschwindigkeiten min- destens einmal im Jahr über Beaufort 6 bzw. ein- mal in 5 Jahren über Beaufort 9 zur Stufe „stärker

gefährdet“. In der Hauptwindrichtung vorgelagerte ältere Windwurfflächen erhöhen die Gefährdungs- klasse auf „extrem gefährdet“. „Gefährdet“ sind auch ausgeprägt stau-/grundnasse Standorte (s5/ g5, bzw. s6/g6) mit einem mehr als 7 Monate an- dauerndem Stau-/Grundwasserstand bis GOF, auch wenn diese Standorte nicht mit flachwurzeln- den Baumarten, wie der Fichte, bestockt sind. Nur bei standortgerechten Baumarten (Moorbirke oder Schwarzerle) werden diese Standorte als „stabil“ ausgewiesen. Diese Flächen sind bei flachwur- zeln- den Baumarten „stärker gefährdet“ und bei Windgeschwindigkeiten mindestens einmal im Jahr über Beaufort 6 bzw. einmal in 5 Jahren Windgeschwindigkeiten über Beaufort 9 „extrem gefährdet“.

Ergebnis der Verschneidung der Geodaten ist eine Sturmgefährdungskarte für Waldgebiete in Rhein- land-Pfalz als Planungsgrundlage der langfristigen Forstplanung (Abb. A7).

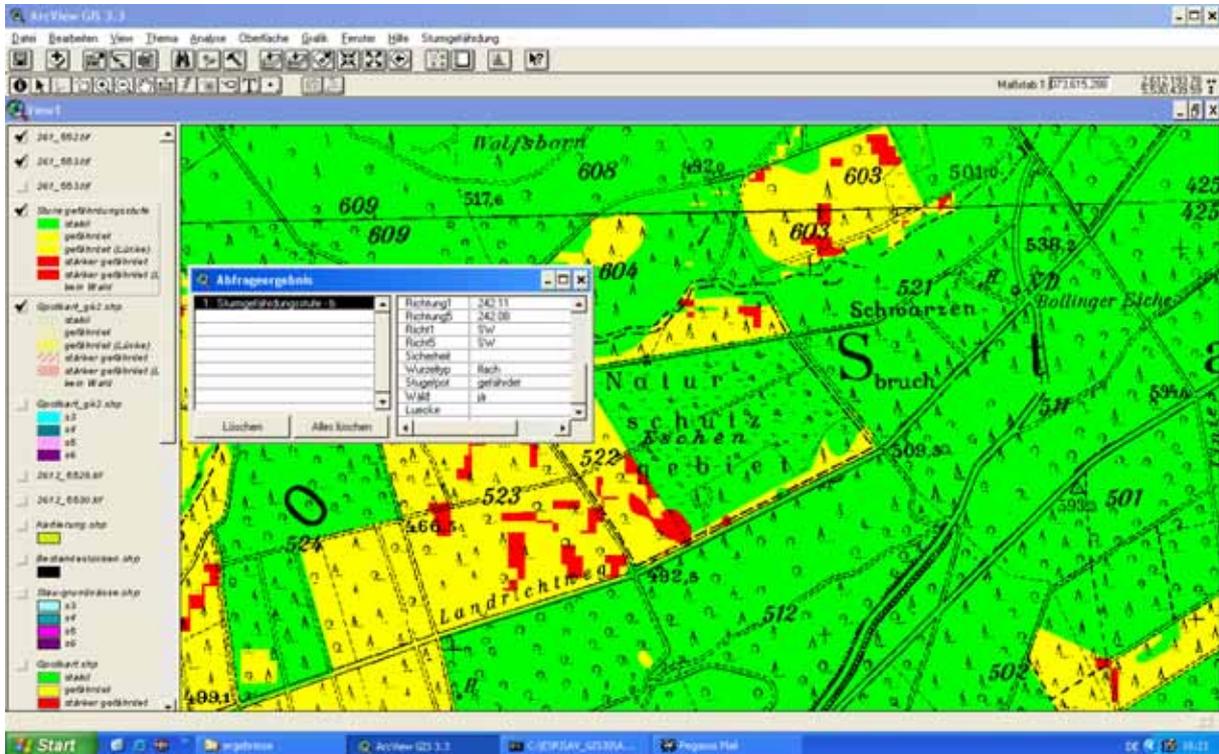


Abb. A8: Herleitung einer Sturmgefährdungskarte im GIS

Fig. A8: Derivation of a map with storm risk zones with the help of a GIS



**Projekt:** „Aufbau von Wetterdaten-Zeitreihen“  
(Edition of weather data time series)

**Tab A5: Übersicht über das forstmeteorologische Messnetz des Jahres 2004**

**Tab. A5: Chart with the meteorological stations in 2004**

<u>Stationsname</u>	<u>Stationsnr.</u>	<u>Typ</u>	<u>FAWF-Abt.</u>	<u>Versuchsbezeichnung</u>
Kempenich	101-A-702	eB	A	Kompensationsversuch Adenau
Kempenich	101-A-703	eF	A C	Kompensationsversuch Adenau, LEVEL II
Pferdsfeld	111-A-701	eF	A	Fichten-Erlen-Versuch Neupfalz
Gauchsberg	111-A-702	eF	A	Sukzessionsversuch Entenpfuhl
Gauchsberg	111-A-703	eB	A	Sukzessionsversuch Entenpfuhl
Gauchsberg	111-A-704	eB	A	Sukzessionsversuch Entenpfuhl
Leisel	115-A-702	eB	C	Umweltkontrollstation
Kirschweiler	115-A-703	eB	A	Kompensationsversuch Idar-Oberstein
Schwarzen	120-A-702	eF	A C	Sukzessionsversuch Kirchberg Depositionsmeßstelle
Schwarzen	120-A-703	eB	A	Sukzessionsversuch Kirchberg
Schwarzen	120-A-704	eB	A	Sukzessionsversuch Kirchberg
Arzbach Malborn-	127-A-701	eF	C	Depositionsmeßstelle
Thiergarten	207-A-701	eF	C	LEVEL II
Kerpen	209-A-701	eF	A	Bodenrestaurationsversuch Hillesheim
Wintrich	214-A-701	eF	C	Depositionsmeßstelle
Osburg	216-A-701	eF	A	
Altdorf	309-A-701	eF	B	Naturwaldparzellen
Haßloch	315-A-701	eF	A	
Hochspeyer	318-A-702	eB	A	Kompensationsversuch Hochspeyer
Hochspeyer	318-A-703	eF	A	Kompensationsversuch Hochspeyer
Trippstadt	319-A-702	eF	A	Teststation
Schaidt	322-A-701	eF	C	LEVEL II
Dannenfels	323-A-705	eF	C	LEVEL II
Leimen	329-A-702	eB	C	Umweltkontrollstation
Leimen	329-A-703	eF	A	Bodenrestaurationsversuch Pirmasens
Frankelbach	Interreg-1		A	Interreg IIB Hochwasserrückhalt
Holzbach	Interreg-2		A	Interreg IIIB Hochwasserrückhalt
Holzbach	Pegelmessstelle 1-4		A	Interreg IIIB Hochwasserrückhalt

Die Nachfrage nach verlässlichen Wetterdaten der FAWF auf den forstlichen Standorten des Landes Rheinland-Pfalz ist im Jahr 2005 verstärkt in das Blickfeld anderer wissenschaftlicher Einrichtungen (Projekte, Diplomarbeiten, Dissertationen) gerückt. Insbesondere Niederschlags- und Temperaturdaten wurden aufgrund der Hochwasserkatastrophen und Starkniederschläge in den vergangenen Jahren differenziert in ihrer Auflösung abgefragt.

Eine Kernaufgabe des Jahres 2005 war es daher die Messreihen der Wetterstationen (Tabelle 1) zu überprüfen, auszuwerten, als Tageswerte sowie Datenplots aufzubereiten und bereitzustellen. Die gemessenen Rohdaten der einzelnen Klimastationen wurden kontinuierlich in die MEVIS-Datenbank (modulares Messwerterfassungs- Verarbeitungs- und Informationssystem für Umweltmessdaten) an der FAWF übernommen. Eingelesene Messwerte wurden jeweils beim Einlesen in die Datenbank auf Qualität geprüft und somit Fehlmessungen oder Fehler in der Messreihe frühzeitig erkannt.

Es wurden auch umfangreiche Umstellungen an Betriebssystemen und Datenloggern durchgeführt,

um diese auf einem aktuellen Stand der Meßtechnik zu halten.

Im Laufe des Jahres wurden die gemessenen meteorologischen Parameter auf ihre Plausibilität geprüft. Die aus unterschiedlichen Messverfahren hergeleiteten Niederschlagsdaten (Niederschlagswaage "Pluvio", Hellmann-Trichter, Bulk-Sampler) wurden dafür miteinander abgeglichen. Teilweise wurden auch die Niederschlagsdaten anderer Messnetzbetreiber (DWD, ZIMEN, Agarmessnetz) als Referenz hinzugezogen. Gleichwohl treten immer wieder lückenbehaftete Datenreihen auf. Hierzu wurde das Lückenersatzprogramm METEODATA (Version 2.4.1.) eingesetzt, um Datenlücken zu schließen bzw. fehlerhafte Meßwerte mit mathematisch fundierten Approximationsverfahren zu korrigieren.

Im Interreg III B Testgebiet „Holzbach“ wurden vier vollautomatische Pegeldata logger in Betrieb genommen. Lückenlos erfasst werden jegliche Veränderungen der Grundwasserstände sowie der Wassertemperaturen an diesen Pegelstandorten.



**Projekt:** *„Bodenphysikalische Untersuchungen“*  
(*Investigations in soil physics*)

2005 wurden aus personellen Gründen nur durch die Außenstelle Forsteinrichtung bodenphysikalische Analysen für die forstliche Standortkartierung durchgeführt.



**Projekt:** *„Machbarkeitsstudie zur Entwicklung eines forstlichen Informationssystemes zur nachhaltigen Bewirtschaftung gefährdeter Tropenwaldökosysteme - TWIS“ (in Zusammenarbeit mit dem Forstinventur- und Planungsinstitut für Vietnam, Hanoi und der Nong-Lam-Universität in Ho Chi Minh City, gefördert durch das Internationale Büro (DLR) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung)  
(Feasibility study for the development of a forest information system to support threatened tropical forest ecosystems by sustainable management )*

Die natürlichen tropischen Primärwälder Vietnams sind durch Abholzung in einem hohen Maße zerstört oder stark degradiert (Abb. A8).



**Abb. A9:** Nicht Regenwälder sondern ausgeräumte Landschaften bestimmen in weiten Bereichen das Landschaftsbild in Vietnam

**Fig. A9:** No rainforests but degraded landscapes characterize Vietnam in a big scale

Der Verlust der ausgleichenden Funktionen des Waldes auf den Naturhaushalt äußert sich durch eine erhöhte Sensitivität gegenüber Naturkatastrophen. Verheerende Überschwemmungen, Boden-erosion, Sturmereignisse sowie Wassermangel in der Trockenzeit wirken sich auf das wirtschaftliche Wachstum negativ aus und bedrohen die sozioökonomischen Perspektiven des aufstrebenden Entwicklungslandes Vietnam. Um den Nutzungsdruck auf die Primärwälder zu mindern, müssen Sekundärwälder, Plantagen und Neuaufforstungen nachhaltig bewirtschaftet werden. Als Leitbild werden ökologisch stabile, artenreiche Wälder aus standorttypischen Baumarten angestrebt, um auf diese Weise die Nachhaltigkeit verschiedener Waldfunktionen (Wasserhaushalt, Hochwasser-, Erosions-, Ressourcen- und globaler Klimaschutz) zu gewährleisten. Hierdurch werden die Versorgung der Bevölkerung und Wirtschaft mit dem Rohstoff Holz unterstützt, der Boden als Grundlage nachhaltiger Landnutzung geschützt und Synergieeffekte für den gesamten Naturhaushalt gefördert. Zur Umsetzung von Nachhaltigkeitskriterien in der praktischen Forstwirtschaft soll ein effektives Steuerungssystem als Planungsgrundlage für forstliches Handeln entwickelt werden. Kriterien für dieses forstliche Informationssystem sind die technischen (Hard- und Software) und personellen Ressourcen (Ausbildungsstand, Personalstand). Auf der Basis von Testgebieten mit unterschiedlichen, flächenrepräsentativen Land- und Forstnutzungen soll das Informationssystem in einem Folgeprojekt entwickelt werden.

Zur Vorbereitung der Datenerhebung in Vietnam wurde eine webbasierte Literaturdatenbank mit aktuell 128 wissenschaftlichen Publikationen über Vietnam aufgebaut. Auch wurden bestehende forstliche Informationssysteme in Deutschland im Hinblick auf übertragbare Module gesichtet.

In Vietnam wurden in konstruktiven Diskussionsforen die substanziellen Inhalte des Projektes, zu erhebende Planungsgrundlagen, konkrete waldbauliche Maßnahmen und das weitere Vorgehen

mit den Projektpartnern gemeinsam abgestimmt. Es wurden vor Ort die technische Ausstattung der Projektpartner zur möglichen Implementierung eines Informationssystems beurteilt. Dabei zeigte sich, dass das für Vietnam zuständige Forstplanungsinstitut in Hanoi (Forest Inventory and Planning Institute - FIPI beim Ministry of Agriculture and Rural Development—MARD) teilweise über gut ausgebildete Mitarbeiter verfügt und die technische Ausstattung dem westeuropäischen Standard entspricht. Der Ausbildungsgrad der Mitarbeiter und die technische Ausstattung der oberen Forstbehörde werden als gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche und effiziente Umsetzung von Projekten angesehen, die einer nachhaltigen Land- und Forstnutzung dienen. Schulungen im Umgang mit Informationssystemen werden jedoch als notwendig erachtet. Ein zentral verwaltetes Informationssystem durch die obere Forstbehörde wird als zielführend bewertet, da dies auch der bestehenden Verwaltungsstruktur entgegenkommt. Defizite bestehen bei der kulturell bedingten Akzeptanz und dem wissenschaftlichen Kenntnisstand von Felduntersuchungen. Eine Standortkartierung als (Daten-) Grundlage der forstlichen Planung existiert noch nicht und sollte etabliert werden. Dazu ist eine Schulung der vietnamesischen Mitarbeiter notwendig. Das FIPI verwaltet einen Datenpool aus landesweiten Luftbildern, Satellitenaufnahmen und thematischen Datengrundlagen (Landnutzungsverteilung, Waldtypen). Aktuelle Versionen geographischer Informationssysteme sind bereits etabliert. Damit besteht die Möglichkeit, Flächeninformationen des Datenpools auszuwerten. Eine zielorientierte Bearbeitung umweltrelevanter Themen (nachhaltige Forstwirtschaft, dezentraler Hochwasserschutz, Bodenerosion) ist somit grundsätzlich auch möglich. Der Datenpool des regionalen Forstplanungsinstituts - SUB-FIPI in HCM City ist in seinem quantitativen Bestand eingeschränkt. Ein projektbezogener Datenaustausch zwischen FIPI und SUB-FIPI wurde zugesagt, so dass eine künftige Bearbeitung im Sub-Institut und in Kooperation mit der Nong Lam-

Universität erfolgen kann.

Auch wurden vier mögliche Testgebiete (Can Gio, Dong Nai, Da Lat, Binh Phuoc) zur Entwicklung und Erprobung des Informationssystemes besichtigt. Als Vorbereitung für den nächsten Vietnam-Aufenthalt wurde eine „Check-Liste“ zur Machbarkeit eines Informationssystems erstellt.

Die Datenbestände der Projektpartner werden auf Wunsch des Internationalen Büro des BMBF auch auf ihre zusätzlichen Potenziale (Fernerkundliche Auswerteverfahren, GIS-Analysen, Statistik, Mo-

dellierung und Szenarienbildung) zur Beantwortung weiterer Fragestellungen im Zusammenhang „Funktionennachhaltigkeit versus Naturkatastrophen“ hin geprüft. Als besonders relevant werden die positiven Synergieeffekte einer nachhaltigen Waldnutzung auf die Themenkomplexe „Dezentraler Wasserrückhalt durch die Landnutzung - Hochwasserschutz - Erosionsschutz“ angesehen