

Paris Lodron-Universität Salzburg

Institut für Geographie und Angewandte Geoinformatik

Universitätslehrgang Geographical Information Science & Systems (UNIGIS MSc)

Untersuchung der Erfassung von *viscum album ssp. album* (Laubholzmistel) aus Luftbildern und räumliche Analyse der Schwermetallbelastung ihrer Standorte

Master Thesis vorgelegt von Heike Steckel (UNIGIS MSc u737)

Braunschweig, den 15.08.2004

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Braunschweig, den 15.08.2004

Unterschrift der Verfasserin

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen beteiligten Personen bedanken, die mich bei der Realisierung der Master Thesis unterstützt haben.

Der erste Dank gilt den Mitgliedern des Salzburger Teams, die mir so lange ihre Unterstützung und unendliche Geduld geschenkt haben, im Besonderen Erika Peterwagner, Michael Fally und Prof. Strobl, durch die meine Arbeit überhaupt noch zu Stande kommen konnte.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Prof. Schnug (FAL), der die Arbeit ermöglicht hat, und Dr. Lilienthal für seine fachlichen Hilfestellungen.

Ulrich Jung danke ich für seine ausdauernde, hilfreiche und liebevolle Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis	III
1. Einleitung	1
2. Einführung in Grundlagen.....	3
2.1 Die Mistel.....	3
2.2 Der Harz	8
2.3 Bergbau im Harz	9
2.4 Das Untersuchungsgebiet.....	10
2.5 Fernerkundung	12
3. Material und Methoden	16
3.1 Basiskartierung und Datenhaltung	16
3.1.1 Terrestrische Kartierung des Mistelbefalls	16
3.1.2 Erstellung eines GIS-Projekts	18
3.2 Fernerkundungsmethoden für die Mistelerfassung	21
3.2.1 Panchromatische Luftbilder	21
3.2.2 CIR-Bilder.....	24
3.2.3 Schrägaufnahmen	26
3.2.4 Aufnahmen des MicroAirLab	27
3.3 Geostatistische Analyse der Bodendaten	29
4. Ergebnis und Diskussion	34
4.1 Kartierung.....	34
4.2 Panchromatische Bilder.....	37
4.3 Infrarotbilder	39
4.4 Schrägaufnahmen	40

4.5 Bilder des MicroAirLab	41
4.6 Geostatistische Bodenanalyse	42
5. Abschlussbewertung und Konzepterstellung.....	45
6. Zusammenfassung.....	49
7. Literatur.....	56
8. Anhang	58

Abbildungsverzeichnis

Abb.2-1: Mistelzweig mit typischer Gabelung (Aufnahme: Steckel 2004).....	5
Abb.2-2: Senkerwurzeln von <i>Viscum album</i> ssp. <i>album</i> an <i>Populus nigra</i> x <i>hybrida</i> (Aufnahme FAL 2003).....	6
Abb.2-3: Übersicht des Untersuchungsgebietes (2004).....	10
Abb.2-4: Zusammenhang zwischen Reflexion, Absorption und Transmission bei..... Pflanzen (KNIPLING 1970).....	13
Abb.2-5: Spektrale Signaturen von Mistelblättern (frisch und getrocknet) und Rapsblättern (frisch) (Spektrometer-Messung, Steckel 2004)	14
Abb.3-1: Befallsklassen der Laubholzmistel an Bäumen in der Region Goslar	17
Abb.3-2: Verteilung der Wirtsbäume der Laubholzmistel in der Region Goslar	20
Abb.3-3: Ausschnitt aus Untersuchungsgebiet, südlich Gut Riechenberg, mit	
starkem Mistelbefall an den Waldrändern (Aufnahme: September 1997).....	22
Abb.3-4: Bildflughanordnung (aus KUEHN ET AL 2000).....	22
Abb.3-5: CIR-Bild, Ausschnitt aus Untersuchungsgebiet, südlich Gut Riechenberg..... (Aufnahme: Forstliche Versuchsanstalt Göttingen, September 2000).....	24
Abb.3-6: Farbige Schrägaufnahme, südlich Gut Riechenberg (Steckel, März 2004)....	26
Abb.3-7: MicroAirLab der DLR Braunschweig und technischen Daten.....	27

Abb.3-8: Farbfilm-Aufnahme, MAL März 2004	28
Abb.3-9: IR-Aufnahme, MAL März 2004	28
Abb.3-10: Belastungsverteilung von Blei in der Region Goslar	
aus ERDAS Imagine	29
Abb.3-11: Prinzipbild eines Variogramms (nach SCHULZ 1986).....	31
Abb.3-12: Variogramm und Variogrammoberfläche aus ArcGis	32
Abb.3-13: Fenster Suchradius aus ArcGis	33
Abb.4-1: Die Häufigkeit der Wirtsbäume der Laubholzmistel in der Region Goslar....	34
Abb.4-2: Vorkommen der Laubholzmistel in der Region Goslar	35
Abb.4-3: Standorte misteltragender Bäume über dem Oberflächenmodell	
der Blei-Bodengehalte in der Region Goslar (ArcGis)	43
Abb.4-4: Standorte misteltragender Bäume über dem Oberflächenmodell	
der Cadmium-Bodengehalte in der Region Goslar (ArcGis).....	43
Abb.4-5: Standorte misteltragender Bäume über dem Oberflächenmodell	
der Zink-Bodenbelastung in der Region Goslar (ArcGis)	43

Tabellenverzeichnis

Tab.2-1: Vogelarten, die sich von Misteln ernähren	
(aus: BIOLOGIE DER MISTEL, 1997)	6
Tab.2-2: Schwermetallgehalte der belasteten und höher belasteten Flächen.....	
(aus: INFORMATION ZUM BODENSCHUTZ 1999, LANDKREIS GOSLAR).....	11
Tab.2-3: Spektralbereiche und ihre Wellenlängen.....	12
Tab.3-1: Technische Daten zu den vorliegenden Luftbildern.....	23
Tab.3-2: Schätzfehler nach Kreuzvalidierung (ArcGis 8.3)	42

1. Einleitung

Die Mistel (*viscum album ssp. album*) ist eine seit alters her bekannte Pflanze, jedoch beschränkt sich die wissenschaftliche Literatur über sie auf wenige Aspekte. Biologie und Lebensweise des Baumparasiten sind weitgehend beschrieben (Bsp. TUBEUF 1923), aber Untersuchungen zur Schadwirkung der Mistel auf die Wirtsbäume finden sich nur für die zwei Unterarten Kiefern- und Tannenmistel. Größeres Interesse in neuerer Zeit genießt der Aspekt der medizinischen Verwendung ihrer Inhaltsstoffe (HAHN 2000). Systematische Untersuchungen zur Verbreitung liegen hingegen nicht vor.

Der Rahmen der vorliegenden Arbeit ist ein Projekt der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig, das den Zusammenhang zwischen dem Vorkommen des Baumparasiten Laubholzmistel und der Belastung von Böden durch Schwermetalle untersucht, um dadurch die mögliche Eignung der Mistel als Bioindikator zu ermitteln. Die Erfassung des Mistelbefalls wird unter besonderer Berücksichtigung der Methoden der Fernerkundung durchgeführt, um ein praxistaugliches Verfahren zu entwickeln. Ausgangspunkt der räumlichen Analyse ist der Raum Goslar, der sich sowohl durch starken Mistelbefall als auch durch hohe Kontamination der Böden auszeichnet.

Ziel der Master Thesis ist die konzeptionelle Vorbereitung dieser Untersuchung im Hinblick auf die Themenbereiche Datenerfassung und –auswertung, wobei der Schwerpunkt auf den folgenden zwei Fragestellungen liegt:

In wie weit lässt sich die visuelle Interpretation von Luftbildern zur Erfassung des Mistelbefalls nutzen und welche Aufnahmetechniken und Bildarten sind hierfür geeignet?

Als Basis wird eine terrestrische Kartierung des Mistelvorkommens und der Befallsstärke im Untersuchungsgebiet erstellt, die die Referenz für die Luftbildinterpretation liefert. Die Datenhaltung erfolgt in einem Geographischen Informationssystem.

Bisher gibt es keine Erfahrungen mit der fernerkundlichen Erfassung von Misteln. Da die Mistel auf Grund ihrer relativ geringen Größe und ihrer Lebensweise in Baumkronen nicht leicht zu erkennen ist, werden verschiedene Techniken zur Erstellung von Luftbildern vorgestellt und hinsichtlich ihrer Eignung zur Mistelerkennung untersucht. Der Bewertungsmaßstab beim Vergleich der verschiedenen Aufnahmetechniken, Bildgrößen und Filmarten ist hierbei die Erkennbarkeit von (mistel-) spezifischen Texturen.

Lässt sich aus den vorhandenen Daten eine erste Tendenz erkennen, die darauf hinweist, dass die Mistel ein Bioindikator für Schwermetalle ist?

Zur Untersuchung dieses möglichen Zusammenhangs werden Daten zur Bodenkontamination mit den Kartierungsdaten zum Mistelbefall in einem Geographischen Informationssystem zusammengeführt, um eine geostatistische Auswertung zu ermöglichen.

Nach einer variographischen Analyse der Bodenbeprobungsdaten wird eine Oberflächenmodellierung der Schwermetallbelastung mittels Kriging vorgenommen. Die dadurch gewonnenen Daten dienen dann einer Korrelationsanalyse zur Bioindikatorfunktion der Mistel.

Das Ergebnis dieser Fragestellungen wird in einer abschließenden Diskussion zusammengefasst, um konkrete Vorgaben zur Methodenauswahl zu entwickeln, die eine weiter gehende Untersuchung im Rahmen des Projekts der FAL erlauben.

2. Einführung in Grundlagen

2.1. Die Mistel

Seit jeher ist die Mistel für den Menschen eine besondere Pflanze. Aufgrund ihrer speziellen Lebensform, „...vom Balkonknäuf, weißbeerig sie, lauscht die Mistel nieder...“ (F. Freiligrath), ohne direkten Kontakt zur Erde, ist sie Ausgangspunkt vieler Deutungen. In der griechischen und nordischen Mythologie, in verschiedenen alten Sagen und in modernen Comics findet man die Mistel, sie bringt Glück, wehrt Dämonen ab, schützt vor Gefahren, hilft den Liebenden. Selbst in der heutigen, technisch aufgeklärten Zeit, in der Mystik und Aberglaube kaum eine Rolle spielen, schmückt die Mistel dennoch zur Weihnachtszeit viele Häuser und Wohnungen.

Als Heilkraut wird sie bereits bei Hippokrates und Plinius erwähnt und bleibt durchgehend ein Anwendungsmittel der Heilkunde bis in die heutige Zeit.

2003 wurde die Laubholzmistel zur „Heilpflanze des Jahres“ ernannt. Mistelextrakte sind Inhaltsstoffe vieler Medikamente, u. a. gegen Kreislaufbeschwerden, Bluthochdruck, Arterienverkalkung, Rheuma, Epilepsie, Geschwüre und zur Stärkung des Immunsystems, und finden Einsatz als Krebstherapeutikum (HAHN 2000).

Viscum album ssp. *album* enthält zwei spezifische (giftige) Substanzen: Viscotoxine und Lektine, die für den medizinischen Einsatz bedeutsam sind. „Viscotoxine wirken zytolytisch, d.h. lösen die Membran von Krebszellen auf“ und „Lektine wirken zytostatisch, d.h. sie hemmen das Wachstum von Krebszellen“ (OVERSTOLZ 2000).

Eingliederung in taxonomische Ordnung:

Die Misteln gehören zu der Ordnung der Santalales (Sandelholzgewächse) mit den Familien Viscaceae (Mistelgewächse) und Loranthaceae (Riemenblumengewächse). Beide Familien zusammen untergliedern sich in ca. 1300 Arten weltweit (ELLENBERG 1986).

Im Vergleich zu den Tropen, in denen die meisten der Arten beheimatet sind, gibt es in Europa nur wenige Arten:

- *Viscum album* (Laubholzmistel) mit drei Unterarten,
- *Loranthus europaeus* (gelbbeerige Riemenblume),
- *Viscum cruciatum* (rotbeerige Mistel) und
- *Arceuthobium oxycedri* (Wacholder-Zwergmistel).

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Laubholzmistel und deren auch tatsächlich Laubholz bewohnende Subspezies *viscum album ssp. album*. Die beiden anderen Arten der Laubholzmistel sind wirtsspezialisiert auf Kiefer, selten auch Fichte (*viscum album ssp. austriacum*) und Weißtanne (*viscum album ssp. abietis*) (STOPP 1961).

Lebensweise und Physiologie:

Die Laubholzmistel *viscum album ssp. album* wächst epiphytisch auf Laubgehölzen. Sie besiedelt häufig Bäume entlang von Gewässerläufen und ist in Parkanlagen sowie an Allee- und Obstbäumen verbreitet. Ihre wichtigsten Laubholzwirte sind Pappel (*Populus*), Linde (*Tilia*), Apfel (*Malus*), Ahorn (*Acer*), Weide (*Salix*) Robinie (*Robinia*) u.v.m. (SCHREI UND WIMMER 1998).

Sie nutzt die Bäume nicht nur zum „Aufsitzen“, sondern zapft mit ihren Haustorien (Senker) die Leitungsbahnen ihrer Wirtspflanzen an, um sich mit Wasser, Mineralien und organischen Verbindungen zu versorgen. Als „eine der allergrünsten Pflanzen“ (TUBEUF 1923) mit Chlorophyll in Blättern, Stängeln, Rindensträngen und Samen betreibt sie selbständig Photosynthese und gehört daher zu den Halbparasiten.

Der Wasserbedarf der Mistel ist hoch, ihre Transpirationsrate meist deutlich höher als die des Wirtes. Selbst wenn der Wirt unter Trockenstress leidet kann die Mistel ihre Ansprüche durchsetzen (JANSSEN 1999).

Da die Subspezies Laubholzmistel kaum wirtschaftliche Schäden anrichtet, wird sie selten bekämpft. Die Ausnahme liegt im Obstbau, im Produktionsanbau werden keine Misteln geduldet (LOHRER 1997). Forstpathologisch wird ihr kaum Beachtung geschenkt.

Über die anderen Subspezies Tannen- und Kiefernmistel liegen bereits zahlreiche Untersuchungen vor (JANSSEN 1999), da diese als forstwirtschaftliche Schädlinge eine größere Rolle spielen.

Morphologie:

Das Wachstum der Mistel ist im Gegensatz zu anderen Pflanzen weder von Geotropismus (Wurzel Richtung Erdmittelpunkt) noch von Heliotropismus (oberirdische Organe Richtung Licht) geprägt. In ihrer Optik wirkt sie wie ein kleiner kugeliger Strauch. Diese Wuchsform kommt dadurch zustande, dass die Triebe sich nicht nach dem Licht ausrichten, sondern in alle Richtungen wachsen.

Charakteristisch für die Mistel ist ihre gabelartige Verzweigung (Scheinbare Dichotomie Abb.2-1).



Abb.2-1: Mistelzweig mit typischer Gabelung (Aufnahme: Steckel 2004)

Die Mistel besitzt längliche, eiförmige, ganzrandige, lederartige Blätter, deren Aufbau eine Besonderheit darstellt. Sie zeigen keine typische Differenzierung in eine Oberseite mit Palisadenparenchym für die Assimilation und eine Unterseite mit Spaltöffnungen für den Gasaustausch (GÖBEL 1970).

Die Pflanze erscheint immergrün, da sich die Blattgenerationen überschneiden. Die letztjährigen Blätter werden ohne vorherige Verfärbung im Spätsommer abgeworfen, wenn die frischen Blätter bereits entwickelt sind.

Die Mistel ist streng diözisch, d.h. es gibt nur weibliche oder nur männliche Blüten pro Individuum. Die unscheinbaren gelblichen Blüten sitzen an den Sprossenden und blühen ab Februar, die Bestäubung erfolgt über Insekten.

Die Beeren, oder botanisch korrekt Scheinbeeren, reifen erst im Spätherbst und haben dann eine auffällig weiße Farbe und können bis zu vier Keime enthalten. Die stark klebrige Konsistenz des Beerenschleims gab der Mistel angeblich ihren Namen: *viscum album*, weißer Leim.

Laut der Informationszentrale gegen Vergiftungen der Universität Bonn sind alle Organe der Mistel mit Ausnahme der Beeren gering giftig.


Verbreitung:

Die Verbreitung der Mistel erfolgt über Vögel. Entweder werden die Beeren als Ganzes gefressen und der Same wieder ausgeschieden, oder die Vögel fressen nur das Fruchtfleisch und streifen den Samen an Ästen o.ä. ab (Tab.2-1).

Aufgrund der stark klebrigen Konsistenz wird die Mistel von einigen Vogelarten gemieden, andere wiederum zerstören den Samen während des Fressvorganges.

Die Mistelbeeren reifen zu Zeiten mit geringem Nahrungsangebot für Vögel. Das macht sie für Standvögel, Teilzieher oder Invasionsvögel im Winter sowie für die ersten Rückkehrer im Frühjahr attraktiv.

Tab.2-1: Vogelarten, die sich von Misteln ernähren (aus: BIOLOGIE DER MISTEL, 1997)

Vögel, die Mistelsamen verbreiten: 	Vögel, die Mistelsamen vernichten:
Abb. 02: Seidenschwanz (German Birdnet, 2004) Misteldrossel (<i>Turdus viscivorus</i> (L.))	Tannenmeise (<i>Parus ater</i> L.)
Mönchsgrasmücke (<i>Sylvia atricapilla</i> (L.))	Blaumeise (<i>Parus caeruleus</i> L.)
Wacholderdrossel (<i>Turdus pilaris</i> (L.))	Sumpfmeise (<i>Parus palustris</i> L.)
Seidenschwanz (<i>Bombycilla garrulus</i> (L.))	Kleiber (<i>Sitta europaea</i> L.)

Ein in der Literatur häufig zu findendes Zitat „*Turdus ipse sibi malum cacat*“ (die Drossel trägt selbst zu ihrem Unglück bei), das auf die Verbreitung durch Vögel und die Nutzung der Mistel als Vogelleim hinweist, wird von Stopp (1961) dementiert. Zum Vogelfang wurden die weichen, gelben Früchte der Riemenblume verwendet, nicht die der Laubholzmistel.

Entwicklung:

Nach Ausscheidung oder Abstreifen des Mistelsamens an eine für die Mistel geeignete Oberfläche (Wirtsbaum) beginnt die Keimung. Hierfür besteht die unbedingte Notwendigkeit von Licht, eine weitere biologische Besonderheit der Mistel. In schattigen Baumbereichen gelingt die Keimung nur schwer, bzw. gar nicht.

Im Frühjahr kommt aus dem Samen das Hypokotyl (Keimstängel) hervor und neigt sich Richtung Wirtsrinde. Die variable Spitze entwickelt sich zu einer Art Haftscheibe, die den Keimling auf dem Wirt fixiert. Aus deren Zentrum bildet sich eine primäre Senkerwurzel (Abb.2-2), die in die Wirtsrinde einwächst. Hat der Senker das Wirtskambium erreicht (2.



Abb.2-2: Senkerwurzeln von *Viscum album* ssp. *album* an *Populus nigra* x *hybrida* (Aufnahme FAL 2003)

Jahr), entsteht eine Verbindung zwischen den Leitsystemen der Mistel und des Wirtes.

Hier zeigt sich eine weitere Besonderheit der Mistel. Es gelingt ihr, mit ihren Haustorien in den Wirt einzudringen, ohne ihn zu verletzen oder eine nachträgliche Abwehrreaktion hervorzurufen – eine perfekte Propfung (WEIHENSTEPHAN 2003).

Neben dem Primärsenker bilden sich Rindenstränge in der Wirtsrinde, die ihrerseits weitere Senker bilden (3. Jahr). Sie passen sich dem Dickenwachstum des Wirtes an, wachsen also mit.

Die Mistel ist auch zu einer vegetativen Vermehrung über so genannte Adventivknospen entlang der Rindenstränge in der Lage. Proventivknospen („schlafende Augen“) führen zu erneutem Austreiben der Triebe nach Schädigung.

Das Wachstum der Mistel ist sehr langsam, von der Keimung bis zur ersten Verzweigung benötigt die Mistel ca. 4-5 Jahre. Danach kommt pro Lebensjahr eine Verzweigung hinzu. Auf diese Weise lässt sich das Alter einfach bestimmen.

Zum maximalen Alter der Mistel gibt es sehr unterschiedliche Aussagen in der Literatur. Die Spanne reicht von wenigen Jahren bis zu mehreren Jahrzehnten. Die Mistel als obligatorischer Sprossparasit ist von der Vitalität ihres Wirtes abhängig; wird dieser alt, so hat auch sie Chancen auf ein langes Leben.

2.2. Der Harz

Das gewählte Untersuchungsgebiet liegt am nordwestlichen Harzrand und wird im folgenden mit der Region Goslar umschrieben (Kerngebiet ist die Stadt Goslar). Das Gebiet ist stark von der geologischen Situation und von der Geschichte der Montantätigkeit des Harzes beeinflusst.

Entstehung

Mit der Auffaltung des Variscischen Gebirges im Erdaltertum (Paläozoikum) entstand auch das nördlichste Mittelgebirge Deutschlands, der Harz. Seine Entstehung wurde begleitet von kräftigem Vulkanismus, von Intrusionen saurer und basischer Magmatite (Brocken-, Oker-, Ramberggranit, Harzburger Gabbromassiv) (GEODIENST 2004). In diesem Zusammenhang entstanden auch die wichtigen Erzlagerstätten des Rammelsberges bei Goslar sowie weitere Erzvorkommen z.B. im Oberharz (KNOLLE 2004).

Im Oberkarbon unterlag das mächtige Faltengebirge starken Verwitterungs- und Abtragungsprozessen und in der Zeit des Unteren Zechstein sank der Harz wieder unter den Meeresspiegel. An der Wende Jura/Kreide hob sich der Harz durch die saxonische Gebirgsbildung wieder aus dem Meer. Der Gebirgskörper unterlag im Folgenden keinen Faltungen, sondern brach, verschob und hob sich in Schollen. Tektonische Bewegungen in Kreide/Tertiär bewirkten weitere Hebungen und Vermischungen verschieden alter Schichtungen und Ablagerungen durch Schrägstellen und Überkippen der Schichten. Es entstanden Bruch- und Spaltensysteme, die von heißen mineralhaltigen Lösungen durchströmt wurden. Aus ihnen bildeten sich die vielfältigen gangförmigen Mineral- und Erzvorkommen des Harzes (KNOLLE 1997).

Das paläozoische Grundgebirge wurde im Tertiär durch Abtragungsprozesse wieder freigelegt. Im weiteren Verlauf wechselten sich Phasen der Hebung und unregelmäßiger (gesteinsabhängiger) Abtragung ab, so dass sich das heutige Mittelgebirge entwickelte, dessen Oberfläche allerdings noch viele Jahrtausende „modelliert“ wurde.

Durch wechselvolle tektonische Entwicklung des Harzes zeigt sich an der Nordseite um Goslar die von Goethe 1784 benannte klassische Quadratmeile der Geologie. Unterschiedlichste Erdalter und Gesteinsschichten sind auf kleinstem Terrain zu finden, „von den Schiefen des Silur bis zu den überkippten Kalksteinen des Muschelkalks, spektakuläre Plutone [...] und verschiedenste Lagerstättentypen“ (REGIONEN VON DEUTSCHLAND: DER HARZ 2004).

2.3. Bergbau im Harz

Über die Anfänge des Harzer Bergbaus wird nur gemutmaßt, die nebenstehende Sage datiert den Beginn des Erzabbaus auf etwa 1000 n. Chr.. Historiker gehen heute von deutlich früheren Aktivitäten aus und schätzen die ersten Erzgewinnungen bronzezeitlich (vor etwa 3000 Jahren) ein. Zur Zeit der Sage allerdings beginnt der Erzabbau als organisierter Wirtschaftszweig. Aus der kleinen Siedlung an der Gose (Goslar) wird rasch ein wirtschaftliches Zentrum, eine bedeutende Hansestadt und Freie Reichsstadt (1253).

„Auf einem Jagdausflug bindet der Ritter Ramm, ein Gefolgsmann Ottos des Großen, sein Pferd an einen Baum, um dem Wild im unwegsamen Gelände zu Fuß nachzustellen. Das Ross scharrt in ungeduldiger Erwartung seines Herrn mit den Hufen und legt so eine Erzader frei, die den Weg zu einer reichen Lagerstätte weist. Zu Ehren des Ritters wird der Berg Rammelsberg genannt, die Stadt zu seinen Füßen Goslar – nach des Ritters Gemahlin, die den Namen Gosa trägt.“

(aus: STADTGESCHICHTE, WWW.GOSLAR.DE)

Durch den Einfluss verschiedener Zisterzienserklöster breitet sich das Montanwesen auch im Oberharz aus. Die Zeit der Montanwirtschaft ist von zwei Bergbauphasen geprägt, unterbrochen durch die Pest, politische Streitereien und Erbfolgeprobleme sowie nicht unerhebliche ungelöste technische Schwierigkeiten, wie z.B. die Wasserhaltung in den Stollen.

Im 16. Jh. beginnt die zweite Phase. Der erfolgversprechende Oberharzer Bergbau mit seiner „Bergfreiheit“ lockt die Menschen in die Region, und technische Fortschritt führt zu einem erneuten Aufblühen der wirtschaftlichen Erzgewinnung im Oberharz.

Das 20. Jahrhundert bedeutet für die Harzer Gruben das Aus, die Lagerstätten sind erschöpft oder ihre Wirtschaftlichkeit ist ungenügend.

Der Bergwerksbetrieb am Rammelsberg dauert bis zum Ende der 80er Jahre. „Eines der größten Kupfer-, Blei- und Zinkerzlager der Welt (mit 27 mio t)“ (STADTGESCHICHTE 2004) war erschöpft und wurde stillgelegt. 1992 wurden der Rammelsberg und die Altstadt Goslar in die Liste der UNESCO als Weltkulturerbe eingetragen.

2.4. Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt am nordwestlichen Harzrand (Abb. 2-3). Kernbereich ist die Stadt Goslar mit den Stadtteilen Oker, Sudmerberg und Ohlhof. Die nördlichen und westlichen Stadtteile sind ausgenommen, die Untersuchung beschränkt sich auf die Fläche der diesjährigen Mistelkartierung.



Stadt Goslar:
 (Landkreis Goslar, Land Niedersachsen)
 Lage: 10°25' E, 51°54' N
 Höhe: 260-360m ü.NN



Abb.2-3: Übersicht des Untersuchungsgebietes (2004)

Naturräumlich lässt sich das Gebiet auf der Grenze zwischen dem Berg- und Hügelland, der so genannten Mittelgebirgsschwelle, und dem echten Mittelgebirge Harz einordnen. Der Bereich im Harzvorland wird hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt, mit dem Anstieg zum Gebirge nach Süden weicht diese Nutzungsform den ausgedehnten Waldgebieten des Harzes.

Aus der Geologie lassen sich natürliche Schwermetallbelastungen ableiten. Die Harzer Erzgänge lagen auf Erosionsniveau und schufen daher eine natürliche höhere Belastung als in anderen Regionen. Im Vergleich zu den Kontaminationen, die durch die Eingriffe des Bergbaus ausgelöst wurden, sind sie jedoch zu vernachlässigen.

Die reichen Erzlagerstätten des Harzes waren bekannt für die Gehalte an Blei, Zink, Kupfer und Silber sowie an Arsen und Cadmium (REGIONEN VON DEUTSCHLAND: DER HARZ 2004). Die zum Teil sehr hohen Bodenbelastungen der Region Goslar haben ihre Ursache im Metallabbau und der Verhüttung. So lässt sich die Kontamination des Oberbodens vor allem auf die Emissionen der Verhüttung (Rauchgase) zurückführen; Die Gewässer und

Auensedimente sind durch Abwaschungen von Pochsand und Haldenmaterial belastet (fluviatile Verfrachtungen). Die Flüsse Oker und Innerste gelten heute als die höchst belasteten Gewässer Deutschlands (GEOCHEMISCHER ATLAS 2000).

Goslar befindet sich im Haupteinflussgebiet der Bergbautätigkeiten und die Stadt und seine Region muss sich heute mit den weitreichenden Umweltbelastungen auseinandersetzen (LANDKREIS GOSLAR 1999).

Unbewachsene Halden und Schlackenhänge, mühsam mit Kiefern bepflanzt, die über 40 Jahre alt und nur von kniehochem Wuchs sind, das Vorkommen seltener Schwermetallvegetation und stark belastete Teiche sind nur einige der Zeugen aus der Bergbauzeit.

Aufgrund der bestehenden Belastungssituation hat der Landkreis Goslar auf der Grundlage des Niedersächsischen Bodenschutzgesetzes ein so genanntes Bodenplanungsgebiet erstellt. Diese Planung gewährleistet einen vorsorgenden Bodenschutz auf wenig belasteten Flächen und geregelte Maßnahmen auf belasteten Flächen. Eine öffentlich zugängliche Karte bildet das Gebiet und seine Unterteilung in unterschiedliche Belastungszonen ab und informiert so die Bevölkerung in Bezug auf den Umgang mit Boden, liefert beispielsweise Anleitungen für die Gartennutzung (LK GOSLAR, AMT FÜR WASSER- UND BODENSCHUTZ 2004).

Das Untersuchungsgebiet liegt vor allem in Bereichen, die als belastet und höher belastet eingestuft wurden. Die folgende Tabelle liefert Angaben zu den jeweiligen Schwermetallbelastungen.

Tab.2-2: Schwermetallgehalte der belasteten und höher belasteten Flächen

(aus: INFORMATION ZUM BODENSCHUTZ 1999, LANDKREIS GOSLAR)

	Durchschnittswert [mg/kg Boden]	
	Belastet	Höher belastet
Arsen	20	25
Blei	500	2000
Cadmium	4	8
Kupfer	90	180
Zink	800	1600

2.5. Fernerkundung

Definition

Unter dem Begriff Fernerkundung werden alle Verfahren zusammengefasst, die Informationen über die Erdoberfläche aus der Messung elektromagnetischer Energie gewinnen, ohne dabei mit dem Objekt in Berührung zu kommen (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., DIN 18716, 1997)

Verfahren

In der Fernerkundung wird zwischen passiven und aktiven Verfahren unterschieden.

Die passiven Verfahren messen die von einem Objekt reflektierte Sonnenenergie, wohingegen die aktiven Verfahren das Objekt mit elektromagnetischer Energie bestrahlen. Die rückgestreute Energiemenge erlaubt Aussagen über die Eigenschaften des Objektes.

Neben den passiven und Aktiven Verfahren wird weiterhin zwischen Punktmessungen (z.B. Spektrometrie) und bildgebenden (z.B. Luft-, oder Satellitenbilder) Verfahren unterschieden.

Physikalische Grundlagen: Elektromagnetische Strahlung

Die elektromagnetische Strahlung ist Energie, die sich wellenförmig mit Lichtgeschwindigkeit (c) ausbreitet. Sie wird in Frequenzen (ν) oder in Wellenlängen (λ) angegeben. Das Verhältnis dieser Parameter beschreibt folgende Formel.

$$\lambda = c / \nu$$

Die nachstehende Tabelle definiert die Wellenlängenbereiche des elektromagnetischen Spektrums nach DIN 5031-7 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2003).

Tab.2-3: Spektralbereiche und ihre Wellenlängen

Bezeichnung	Wellenlänge
Ultraviolett (UV)	0,01 μm – 0,38 μm
Sichtbares Licht	0,38 μm – 0,78 μm
Nahes Infrarot (NIR) IR-A	0,78 μm – 1,4 μm
IR-B	1,4 μm – 3 μm
Mittleres Infrarot (MIR)	3 μm – 5 μm
Fernes Infrarot	5 μm – 1 mm
Mikrowelle	1 mm – 1 m

Trotz bestehender Norm findet diese in der Praxis nicht immer Anwendung, die Wellenlängenangaben variieren je nach Anwendungsbereich.

Innerhalb des elektromagnetischen Spektrums schwankt die atmosphärische Durchlässigkeit. Es gibt daher so genannte Atmosphärische Fenster, die den Anwendungsbereich für die Fernerkundung kennzeichnen. Sie liegen im Wellenlängenbereich des Ultraviolett, des sichtbaren Lichts und des Infrarot (0,3 μm – 14 μm) und dem Mikrowellenbereich (0,8mm – 30 cm).

Optische Eigenschaften von Objekten

Die einfallende Sonnenenergie trifft auf der Erdoberfläche auf Objekte (oder Boden). Sie wird reflektiert, absorbiert oder transmittiert. Die Stärke der Reflexion erlaubt Aussagen über die Objekte am Erdboden und ihre Eigenschaften.

Es bestehen unter allen drei Interaktionen Abhängigkeiten, die Abb. 2-4 veranschaulicht.

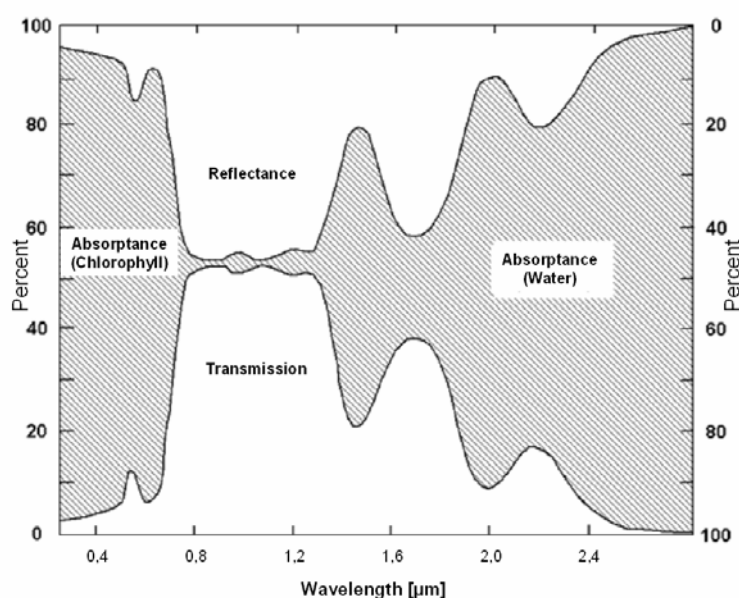


Abb.2-4: Zusammenhang zwischen Reflexion, Absorption und Transmission bei Pflanzen (KNIPLING 1970)

- 0,4-0,7 μm (Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes): Ist gekennzeichnet durch hohe Absorptionswerte aufgrund der Pflanzenpigmente. So absorbiert beispielsweise Chlorophyll blaues und rotes Licht stärker als grünes, daher erscheinen dem menschlichen Auge chlorophyllhaltige Pflanzenbestandteile grün.
- 0,7-1,4 μm (Wellenlängenbereich des Nahen Infrarot A): Wird durch starke Reflexion und Transmission charakterisiert; verantwortlich hierfür sind die Blattzellstrukturen. In diesem Bereich ist die Absorption nur gering.

- 1,4-2,5 μm (Wellenlängenbereich des Nahen Infrarot B): zeigt wieder hohe Absorption durch den Wassergehalt in den Blattorganen und Pigmenten. Die Wellenlängen 1200, 1450, 1940 zeigen die starken Absorptionsbanden für Wasser.

*Reflexionsverhalten grüner Pflanzen am Beispiel der Mistel (*Viscum album ssp. album*)*

Die Reflexion chlorophyllhaltiger Pflanzen (genauer ihrer Blätter oder Nadeln) lässt sich über Spektrometer-Messungen ermitteln. Die Reflexionswerte werden in Form einer Kurve dargestellt, die für grüne Pflanzen einen typischen Verlauf zeigt (Abb.2-4 Knipling). Diese sogenannte spektrale Signatur variiert je nach Objekt und Aufnahmebedingungen.

Innerhalb einer Vegetationsperiode ändern sich die spektralen Eigenschaften derselben Pflanze aufgrund von Wachstum sowie der Veränderungen von Pigmenten oder der Chlorophyllaktivität.

Weiterhin lassen sich Krankheiten und Mängel aus dem Reflexionsverhalten von Pflanzen ableiten (HILDEBRANDT 1996). Die starke Infrarotreflexion gesunder grüner Pflanzen macht sich zum Beispiel die Forstwirtschaft zu nutze, um über die Art der Reflexion Rückschlüsse auf die Vitalität von Bäumen zu ziehen.

Die nachstehende Abbildung zeigt die Reflexionskurve für Mistelblätter im Vergleich zu Rapsblättern.

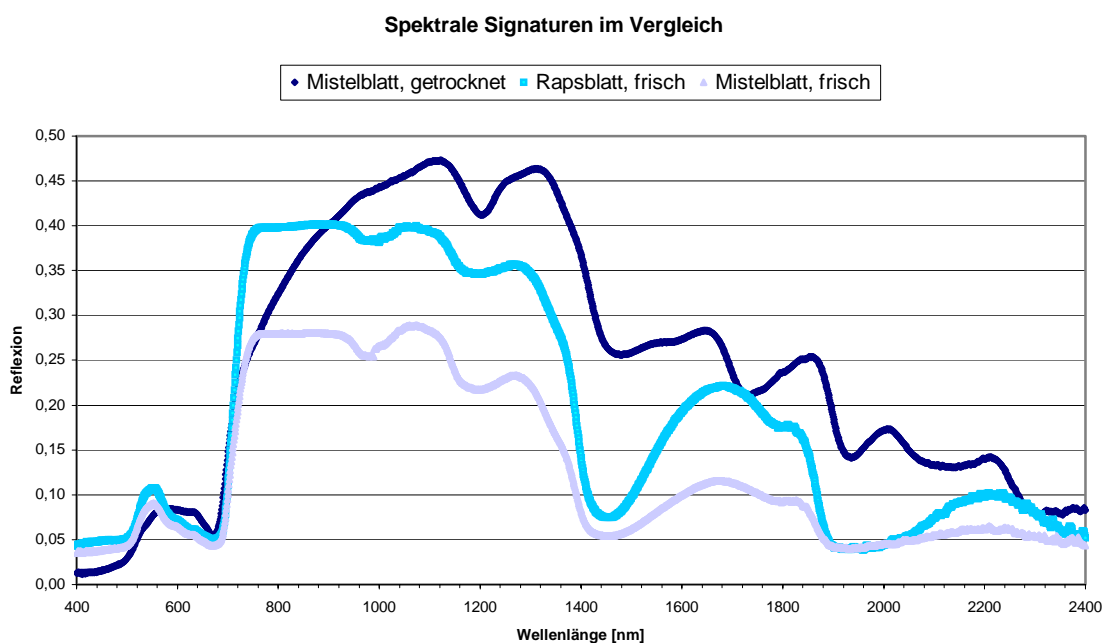


Abb.2-5: Spektrale Signaturen von Mistelblättern (frisch und getrocknet) und Rapsblättern (frisch) (Spektrometer-Messung, Steckel 2004)

Die Spektralkurven in der Abbildung 2-5 vergleichen das Reflexionsverhalten von Mistelblättern mit Rapsblättern sowie von Mistelblättern unterschiedlichen Trocknungsgrades. Für die Erstellung der drei Kurven wurden identische Aufnahmebedingungen zugrunde gelegt (Entfernung vom Sensor, Lichtverhältnisse).

Die Werte der frischen Mistel- und Rapsblätter verlaufen sehr ähnlich, der Raps zeigt insgesamt höhere Reflexionswerte. Eine mögliche Erklärung liefert die besondere Morphologie der Mistelblätter. Das Laubblatt zweikeimblättriger Pflanzen zeichnet sich durch eine morphologische Ober- und Unterseite aus. Das Blatt richtet sich nach dem Licht, d.h. die Oberseite übernimmt mit dem Palisadengewebe die Assimilation, während die lichtabgewandte Unterseite den Gas- und Wasserhaushalt reguliert (Spaltöffnungen zum Schwammparenchym). Das Mistelblatt weist keine Gewebedifferenzierung auf, besitzt keine morphologische Ober- und Unterseite, Spaltöffnungen liegen auf beiden Blattseiten vor (GÖBEL 1970). Damit ähnelt der Blattaufbau der Mistel in seiner Undifferenziertheit dem Aufbau einiger Nadelblätter (Pinus, Picea, Lichtblätter von Abies). Allgemein liegt die Spektralkurve von Nadeln deutlich niedriger als die der Laubblätter, die im nahen Infrarot mehr einfallende Strahlung reflektieren (STECH 2004).

Der Vergleich der trockenen Mistelblätter mit den frischen zeigt, dass mit der Austrocknung des Blattes die Reflexion ansteigt. Besonders deutlich wirkt sich die Veränderung im Bereich der Wasserabsorptionsbanden aus, mit zunehmender Austrocknung bleiben die hohen Schwankungen im Nahen Infrarotbereich B aus, die Reflexion verläuft auf einem relativ hohen Level (MIN 2004).

3. Material und Methoden

3.1. Basiskartierung und Datenhaltung

3.1.1. Terrestrische Kartierung des Mistelbefalls

Die Region Goslar zeichnet sich durch auffällig häufiges und starkes Mistelvorkommen aus. Die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen diesem Vorkommen und der bekannten starken Kontamination der Region erfordert eine genaue Erfassung des Mistelbestandes.

Im März 2004, vor Beginn des Laubausbruchs, wurde daher eine terrestrische Kartierung vorgenommen.

Die Begehung erstreckt sich auf die Innenstadt von Goslar und die Stadtteile Sudmerberg, Oker, Rammelsberg, Steinberg, Steinfeld, Ohlhof, das Gewerbegebiet und das Klostergut Riechenberg.

Aufgrund des relativ kurzen Zeitraumes, der für die diesjährigen Aufnahme zur Verfügung stand, wurden ausschließlich befallene Bäume erfasst.

Der Kartierungsbogen beinhaltet folgende Parameter:

- Befallsposition (kurze Ortsbeschreibung und Eintrag in Karte)
- Bestimmung der Baumart
- Abschätzen der Befallsstärke.

Auf die durch eine Kartierung im Siedlungsbereich auftretenden Hindernisse und Beschränkungen wird im Kapitel 4.1. näher eingegangen.

Für die Angabe der Befallsstärke wurden mehrere Vorgehensweisen erprobt: Die Ermittlung über Zählung, über den visuellen Eindruck vor Ort oder die Interpretation der Stärke aus Photographien der Bäume.

Wie bei vielen „Schätzungen“ in vegetationskundlichen Aufnahmen wurden die Kartierer durch Testaufnahmen geeicht. Eine Kombination aus exakten Zählungen und dem visuellem Eindruck führte zur Unterscheidung von sechs Befallsstufen.

Die nachstehende Abbildung 3-1 veranschaulicht diese Einteilung anhand von Beispielen.







Klassifizierung des Befalls durch Misteln für die Kartierung 2004		
<i>sehr gering:</i>	<i>gering:</i>	<i>mittel:</i>
		
<i>mittel – stark:</i>	<i>stark:</i>	<i>sehr stark:</i>
		

Abb.3-1: Befallsklassen der Laubholzmistel an Bäumen in der Region Goslar (Aufnahmen: Steckel 2004)

Die kleinste Stufe bestätigt überhaupt ein Mistelvorkommen (eine bis maximal zwei Misteln). Zwischen der Abschätzung mittel und stark war der Einfluss des visuellen Eindrucks am stärksten, daher wurde als Kompromiss die Klasse mittel-stark hinzugezogen.

3.1.2 Erstellung eines GIS-Projektes

Die Daten aus der Kartierung wurden im Anschluss in ein Geographisches Informationssystem (GIS) übertragen.

Die Erstellung des GIS-Projektes erfolgte über ArcView 3.2.

„A GIS is a computer system designed to allow users to collect, manage and analyze large volumes of spatially referenced and associated attribute data.”

(nach HEMENWAY 1989)

Diese Definition ist nur ein Beispiel von vielen aus der GIS-Literatur. Ihnen gemeinsam sind die Funktionsbeschreibungen Erfassung/Verwaltung, Auswertung und Präsentation. Eine weitere wesentliche Gemeinsamkeit stellen die Begriffe räumliche Daten und Raumbezug dar. Sie umschreiben die Kernelemente der geographischen Informationsverarbeitung mittels GIS.

Räumliche Daten beinhalten Sachinformationen und eine präzise geographische Position. Hierüber definiert sich der Zugang zu den Daten. Die Sach- oder Attributinformation ermöglichen den Zugriff über thematische Abfragemechanismen und die Kopplung zusätzlicher Informationen über Schlüsselattribute. Die Angabe der geographischen Position erlaubt ebenfalls den Zugriff und erreicht zusätzlich Verbindungen von Daten, unabhängig von ihren jeweiligen Attributen (GOODCHILD 1987).

Der Raumbezug bedeutet die maßstabstreue und messgenaue Abbildung von Daten und wird durch Angaben von Projektion und Bezugssystem bestimmt. Daten mit gleichem Raumbezug können gemeinsam in einem GIS verwaltet und ausgewertet werden.

Die Integration mehrerer thematischer Informationen und auch verschiedener Datentypen führt zu übereinander liegenden Informationsschichten. Der Raumbezug ermöglicht nun Abfragen oder komplexere Analysen über die Ebenen hinweg.

Die Voraussetzung für die Funktionalität von GIS sind daher georeferenzierte Daten.

Für die Eingabe der Kartierungspunkte war es notwendig, eine Digitalisierungsgrundlage zu schaffen, die diesen Anspruch erfüllt. Zum Kartierungszeitpunkt standen noch keine Topographischen Karten des Gebietes zur Verfügung, daher wurden vorliegende Orthophotos der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN) verwendet.

Die Luftbilder lagen als Abzüge vor, wurden gescannt (1200 dpi) und anschließend georeferenziert, d.h. aufgrund einer Referenz geometrisch transformiert.

Die Luftbildtransformation erfolgte mit ERDAS Imagine 8 unter Verwendung so genannter Parametrischer Verfahren. Diese mathematische Modellierung der Aufnahmegeometrie benötigt die innere und äußere Orientierung der Bilder und die Angabe von Höhenwerten (ALBERTZ 2001).

Die Referenzkoordinaten für die Transformation stellten die ATKIS-Daten (Amtlich Topographisch Kartographisches Informationssystem) des Gebietes. Die Höhenwerte wurden der TOP50 Niedersachsen (CD-ROM, LGN) entnommen, wobei der vorliegende Maßstab der Daten eine zusätzliche Ungenauigkeit birgt.

Die interne Orientierung bezieht sich auf die Bildrahmenmarken und weitere bildinterne Information aus den Kalibrierungsdaten des Deutschen Kalibrierungsdienstes (DKD, Anhang). Die Modellierung stützt sich auf gewählte Passpunkte, die in der Referenz und im Bild gut erkennbar sind und die mit den bekannten Positionswerten angegeben werden. Schon während der Passpunkteingabe werden Fehlerermittlungen durchgeführt, die die Orientierung prüfen. Bei Erreichen akzeptabler Fehlerwerte wird das Umwandlungsmodell berechnet und transformiert das Luftbild in seine exakte geometrische und geographische Lage.

Für die Luftbilder in der Region Goslar wurde zusätzlich eine Anpassung der Bilder untereinander vorgenommen, um eine möglichst „sprunglose“ Grundlage zu erreichen.

Auf der Grundlage der angeordneten Luftbilder wurden die Erhebungsdaten über die Mistel in das GIS-Projekt übertragen.

Die von der Mistel betroffenen Bäume liegen als Punkte auf ihrer geographischen Position vor. Die dazugehörige Attributtabelle verwaltet die Einzelbaumparameter aus dem Kartierungsbogen. Diese Einträge erlauben Suchabfragen und Darstellungsvarianten.

Abb.3-2 demonstriert eine Übersicht über das Vorkommen mistelbefallener Bäume und ihrer Verteilung im Untersuchungsgebiet unter zu Hilfenahme einer rasterbezogenen Darstellung.



Abb.3-2: Verteilung der Wirtsbäume der Laubholzmistel in der Region Goslar

3.2 Fernerkundungsmethoden für die Mistelerfassung

Das Mistelvorkommen und seine Befallsstärke im Untersuchungsgebiet wird durch die terrestrische Kartierung sehr genau erfasst und liefert die Basis für weiteren Auswertungen.

Das Ziel der Arbeit besteht jedoch auch darin, sich von dem kleinräumig umgrenzten Untersuchungsgebiet zu lösen und Methoden vorzustellen, die auf andere Regionen übertragbar sind. Bestätigt sich ein Zusammenhang zwischen Mistelbefall und Bodenbelastung und somit eine Indikatorwirkung der Mistel, können potentiell belastete Gebiete erkannt und untersucht werden. Eine terrestrische Kartierung zur Identifizierung solcher Gebiete ist sehr aufwändig und zeit- und kostenintensiv.

Die Erfassung des Mistelbefalls kann durch die visuelle Interpretation von Luftaufnahmen beschleunigt werden.

Ein Luftbild „bezeichnet photographische Bilder eines Teils der Erdoberfläche, die von Luftfahrzeugen [...] aufgenommen werden (ALBERTZ 2001), die „Photointerpretation ist auf die visuelle Deutung des Bildinhaltes ausgerichtet“ (KRAUS 1988)

Dieser Einsatz von Fernerkundung ist allerdings neu auf dem Gebiet der Mistelkartierung.

Daher wurde unterschiedliches Bildmaterial auf seine Tauglichkeit zur Mistelerfassung getestet. In den nachfolgenden Abschnitten werden diese Varianten geprüft, ihre Anwendung beschrieben und ihre Verfügbarkeit und Eignung bewertet.

3.2.1 Panchromatische Luftbilder

Die für das Projekt zu Beginn verfügbaren Luftbilder sind „schwarz/weiß“-Aufnahmen von der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen, Abb.3-3 zeigt ein Beispiel. Die Befliegung der Weser Bildmessflug GmbH fand am 17. September 1997 statt. Die Abzüge liegen im Maßstab 1:12000 vor.



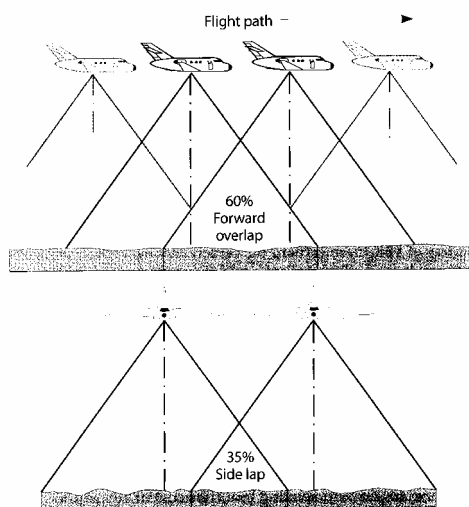
Abb.3-3: Ausschnitt aus Untersuchungsgebiet, südlich Gut Riechenberg, mit starkem Mistelbefall an den Waldrändern (Aufnahme: September 1997)

Diese Bilder werden allgemein schwarz/weiß -Bilder genannt, doch der Ausdruck ist nicht ganz korrekt. Es handelt sich um Bilder panchromatischer Filme.

Panchromatische Filme besitzen eine Empfindlichkeit im Bereich des sichtbaren Lichts (400 – 700 nm). Sie geben Farben in Grautönen tonwerttrichtig (in Bezug auf Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges) wieder.

Die Größenordnung des Untersuchungsgebietes erfordert mehr als eine einzelne Aufnahme. Die für die visuelle Interpretation notwendige Übersicht liefern Bildreihen.

Die Bildreihen erfolgen über eine festgelegte Bildfluganordnung, die Abbildung 3-4 veranschaulicht. Sie liefern Photographien mit senkrechter Aufnahmerichtung und verschiedenen Überlappungsbereichen zueinander.



Die Überlappung der Bilder innerhalb einer Reihe (Stereüberlappung) beträgt ca. 60% und gewährleistet die Bildung von Stereopaaren für eine photogrammetrische Auswertung. Der Überlappungsbereich der Flugstreifen liegt bei 25-35%. Diese Querüberlappung puffert eine mögliche Abdrift des Flugzeuges ab und wird für die Erstellung von Bildverbänden (Aerotriangulation) genutzt.

Abb.3-4: Bildfluganordnung (aus KUEHN ET AL 2000)

Die Aufnahme der vorliegenden s/w-Luftbilder des Untersuchungsgebietes erfolgte durch Reihenschichtkameras.

Eine Reihenschichtkamera oder Reihenschichtkamera benennt ein Aufnahmesystem, das durch eine spezielle Aufhängevorrichtung des Kamerakörpers Senkrechtaufnahmen erstellen kann, in Form systematischer Bildreihenaufnahmen in großen Bildformaten. Dieses Kamerasystem ist vor allem in der Lage, die innere Orientierung (Kap. 3.1.2) konstant zu halten und die Aufnahme mit zusätzlichen Flugdaten zu ergänzen.

Tab.3-1: Technische Daten zu den vorliegenden Luftbildern

Reihen-Messkammer	Brennweite [mm]	Format [cm]	Max. Bildwinkel	Film	AFS	Auflösung L/mm	Flughöhe
RMK TOP 30 (Zeiss/ Oberkochen)	305,024 (Kammer- konstante)	23 x 23	56° (Normalwinkel)	Kodak Panatomic X 3412	40	125	3660 m

Die Informationen der Tabelle 3-1 sind zum Teil den Kalibrierungsdaten der Bilder (DEUTSCHER KALIBRIERUNGSDIENST 1997, ANHANG) entnommen; diese erlauben dem Nutzer der Luftbilder eine räumliche Orientierung der Bilder und sehr genaue photogrammetrische Messungen.

Auf die Angaben aus den Kalibrierungsdaten wurde bereits bei der Georeferenzierung zurückgegriffen.

Die Filme für Luftbildaufnahmen werden definiert über ihre Empfindlichkeit und Auflösungsvermögen.

Empfindlichere Filme benötigen eine kürzere Belichtungszeit (Einsatz bei geringer Flughöhe) und besitzen ein geringeres Auflösungsvermögen. Die Empfindlichkeit wird durch den AFS-Wert (Aerial Film Speed) gekennzeichnet und beträgt 40 in den vorliegenden Bildern, das bedeutet eine relativ geringe Allgemeinempfindlichkeit.

Die räumliche Auflösung bezeichnet in der Luftbildphotographie „den kleinsten Abstand zweier Punkte, die getrennt wiedergegeben werden können“ (LÖFFLER 1994), sie wird in Linien pro Millimeter (L/mm, auch lp/mm) angegeben. Das Auflösungsvermögen bestimmt das kleinste erkennbare Bildelement und damit die Interpretierbarkeit von Bildern. Es hängt ab vom verwendeten Film, der Kamera und der Flughöhe.

Für die schwarz/weiß Luftbilder beträgt die räumliche Auflösung 400 l/mm und bezeichnet die Verwendung eines hoch auflösenden Films.

Neben der Auflösung beeinflusst der Bildmaßstab die Erkennbarkeit von Objekten aus Luftbildern.

„Der Bildmaßstab bezeichnet das Verhältnis einer Bildstrecke zur entsprechenden Geländestrecke“. (ALBERTZ 2001)

Er lässt sich aus dem Verhältnis Kammerkonstante durch Flughöhe ermitteln. Nach den Tabellen-Werten besitzen die Luftbilder einen Maßstab von 1:12000.

Die Wahl des Bildmaßstabes hängt von der gewünschten Interpretation ab und ist nicht immer eindeutig zu definieren. Die forstliche Luftbildinterpretation beispielsweise nutzt vor allem Bilder im Maßstab 1:120000 – 1:12000. Für die Erkennung von Waldschäden oder Baumartenbestimmungen wird auf großmaßstäbigere Bilder (1:5000) zurückgegriffen.

3.2.2 CIR-Bilder

Neben den panchromatischen Bildern waren durch die freundliche Unterstützung der Forstlichen Versuchsanstalt Göttingen auch CIR (Color Infrared) -Bilder verfügbar (Abb.3-5). Diese Farbinfrarotaufnahmen liegen nicht flächendeckend für das Untersuchungsgebiet vor. Der Flugplan umfasst den Harz und berührt am Nordrand die Region. Sie können aber für die Überprüfung der Mistelerkennung auch in einem kleineren Bereich herangezogen werden.

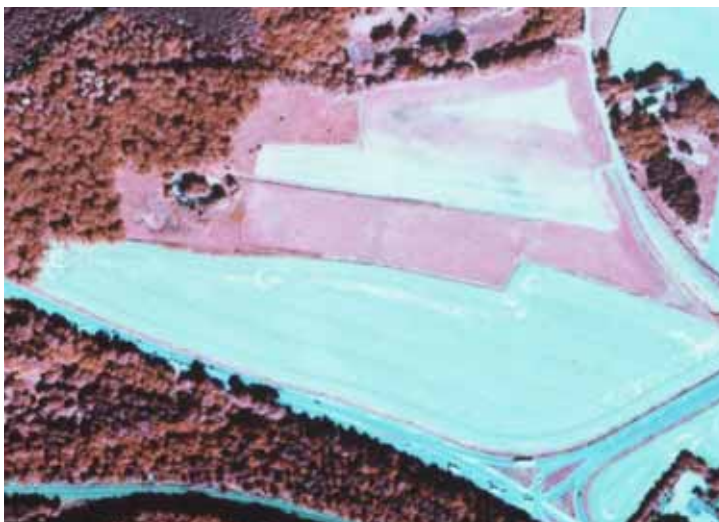


Abb.3-5 CIR-Bild, Ausschnitt aus Untersuchungsgebiet, südlich Gut Riechenberg
(Aufnahme: Forstliche Versuchsanstalt Göttingen, September 2000)

Farbinfrarotfilme sind sowohl für den sichtbaren als auch für den infraroten Spektralbereich sensibilisiert. Die Farbwiedergabe erscheint dem Betrachter farblich unwirklich, woher auch der ältere Ausdruck der Falschfarbenfilme stammt. Diese ungewohnten Farben aufgrund der besonderen spektralen Empfindlichkeit macht den Einsatz dieser Filme vor allem für vegetationskundliche Aufnahmen bedeutsam.

Die für grüne Pflanzen typische hohe Infrarot-Reflexion (vgl. Abb.2-4, KNIPLING 1970) wird im Bild als rote Farbe wiedergegeben und ist dadurch deutlich erkennbar. Das Rückstrahlverhalten von Vegetation und Vegetationsflächen unterliegt Schwankungen. Es hängt ab von der Art, den Standortbedingungen und der Vitalität der aufgenommenen Pflanzen.

Die Interpretation der Farbtonstärke erfordert viel Erfahrung und bedeutet für die meisten Arbeiten eine individuellen Eichung der Betrachtersicht. Diese Wiederholung ist für jegliche Interpretation aus Bildern gängig, da Farbaufnahmen von vielen Aufnahmeparametern abhängen und selbst der gleiche Aufnahmeausschnitt zu unterschiedlichen Zeiten in seiner Farbdarstellung variiert.

Der effektive Einsatz von IR-Bildern für Baumartenerkennung und Vitalitätsansprache ist unbestritten (FIETZ 1992). „Die Baumart und der Baumkronenzustand können aus der Struktur, der Textur und dem Farbton der abgebildeten Baumkrone [...] mit Hilfe eines Interpretationsschlüssels bestimmt werden“ (WIENER FLUGPLAN 2004).

Der Maßstab der vorliegenden Luftbilder (1:12000) ist für diesen Einsatz grenzwertig. In der Forstwirtschaft werden für Baumartenbestimmung und Erkennung von Vitalitätsschäden Bilder mit einem Maßstab mittlerer Größe, um 1: 5000 bevorzugt (HILDEBRANDT 1996).

Die Tauglichkeit für die Mistelerkennung stößt nicht nur aus diesem Grund an ihre Grenzen. Aus diesem Grund sind die vorliegenden Aufnahmen auch für eine Mistelerkennung ungeeignet, da weder Mistelstrukturen erkennbar noch spezifische Texturen für den Halbparasiten differenzierbar sind.

Eine weitere wesentliche Ursache, die die Verwendung der Bilder beeinträchtigt, ist der Aufnahmezeitpunkt im Spätsommer. Auch hier war die Verfügbarkeit ausschlaggebend und im Forstlichen Versuchswesen liegt das Hauptinteresse an Aufnahmen während der Vegetationsperiode. Ob in einem „Winterbild“ die Mistel deutlicher hervortritt, auch in

diesem kleinen Maßstab, konnte nicht überprüft werden. Der allgemeine Einsatz von Infrarotfilmen für das Projekt wird im nachstehenden Kapitel diskutiert.

3.2.3 Schrägaufnahmen:

Um die aufkommenden Probleme des Bildmaßstabes als auch des Flugzeitpunktes zu umgehen, wurde zunächst eine eigene Befliegung geplant. Mit freundlicher Unterstützung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig konnten Flüge mit einer Cessna durchgeführt werden.



Abb.3-6: Farbige Schrägaufnahme, südlich Gut Riechenberg (Steckel, März 2004)

In der Luftbildphotographie werden mehrere Aufnahmerichtungen unterschieden. Eine absolut senkrechte Aufnahme heißt Nadiraufnahme. Der Ausdruck Senkrechtaufnahme lässt einen kleinen Spielraum zu (Nadirdistanz $\leq 3^\circ$) und Schrägaufnahmen haben eine Nadirdistanz von mehr als 3° .

Die gezeigte Aufnahme (Abb.3-6) ist eine Schrägaufnahme mit einer Handkamera, da mit diesem Flugzeug keine andere Aufnahmetechnik möglich war.

Verwendet wurden eine Digitalkamera und eine Spiegelreflex-Kamera für Infrarotaufnahmen, die mit einem Gelbfilter ausgestattet wurde, um das atmosphärische Streulicht herauszufiltern. Zusätzlich wurde eine Digitalkamera umgebaut, um ebenfalls Infrarot tauglich zu sein. Allerdings stellte sich hier das Problem, dass die Funktion der automatischen Fokussierung

durch den Filteraufbau beeinträchtigt wurde und die Bilder eine starke Unschärfe bis zur Unkenntlichkeit erhielten.

Das Ziel dieser Aufnahmen war zunächst, die Erkennbarkeit der Mistel aus einer Flughöhe zwischen 300m und 500m zu überprüfen, sowie einen Überblick über das Gebiet zu bekommen.

Die Ergebnisse der Flüge waren Farbaufnahmen und Infrarotbilder. Auf den Farbbildern sind die Misteln gut zu identifizieren. Für die Mistelerfassung im Infrarotbild war allerdings auch dieser Zeitpunkt (Mitte März 2004) zu spät. Die Reflexion der zu grünen beginnenden Wiesen und Begleitvegetation verfälscht die exakte Aussage über ein Mistelvorkommen.

3.2.4 Aufnahmen des MicroAirLab

In Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig wurden zusätzliche Aufnahmen mit dem MicroAirLab (MAL) der DLR durchgeführt.

Hierbei handelt es sich um ein Modellflugzeug (Abb.3-7), das mit einer Kamera und telemetrischen Instrumenten ausgestattet ist.



Spannweite:	2,7 m
MTOW:	16 kg
Nutzlast:	4,5 kg
Motorleistung:	3,8 PS
V_{\min} :	45 km/h
V_{\max} :	180 km/h
Reichweite:	50 km
Flugzeit:	30 min
(Angaben DLR 2004)	

Abb.3-7: MicroAirLab der DLR Braunschweig und technischen Daten

Das unbemannte Flugzeug wird derzeit noch per Fernsteuerung bedient, d.h. es fliegt in Sichtweite. Es ist mit einer Kamera ausgerüstet, die nach Bedarf Farbfilme oder Infrarotfilme verwendet. Weiterhin liefert ein Bordcomputer GPS-Daten zum Auslösezeitpunkt der Kamera, um eine weitere Aufbereitung der Bilddaten in einem Geographischen Informationssystem zu ermöglichen.

Die Befliegung fand auf einem Gelände östlich der Stadt Goslar am Gut Riechenberg statt. Aufgrund der notwendigen technischen Vorbereitung des MAL konnte das Beispielgebiet erst

Ende März 2004 befliegen werden. Die folgenden Aufnahmen (Abb.3-8 und 3-9) sind Ausschnitte aus einer Farbphotographie und einem Infrarotbild.

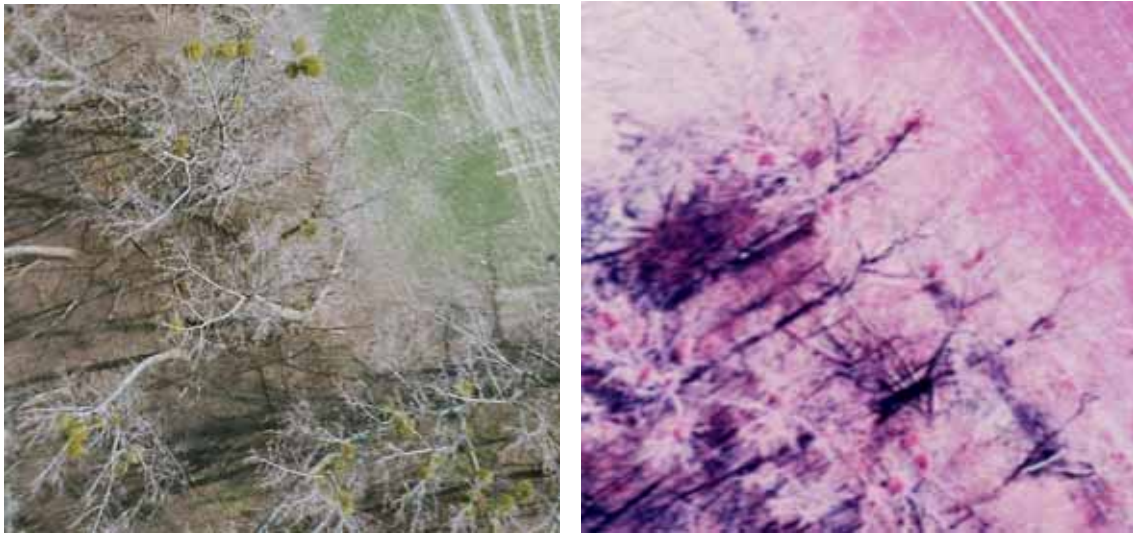


Abb.3-8: Farbfilm-Aufnahme, MAL März 2004 Abb.3.9: IR-Aufnahme, MAL März 2004

Aus einer Flughöhe von 120m sind die Misteln zu identifizieren, die kugelige Struktur der Pflanzen und ihre Färbung erscheinen deutlich im Luftbild. Die Infrarotaufnahme zeigt ähnliche Probleme, wie die IR-Schrägaufnahmen, zu diesem Aufnahmezeitpunkt erschwert die Begleitvegetation die Erkennung.

3.3. Geostatistische Analyse der Bodendaten

Die vorliegenden Schwermetallgehalte für die geostatistische Auswertung basieren auf den bodenanalytischen Ergebnissen Dritter. Die originalen Bodenprotokolle werden daher dieser Arbeit nicht beigelegt, sondern sind mit freundlicher Genehmigung des Landkreises Goslar für das Konzept der Auswertungsmethode zur Verfügung gestellt worden.

Die Hauptbelastungen des Untersuchungsgebietes werden durch die Schwermetalle Blei, Cadmium und Zink verursacht, ein anschauliches Beispiel zeigt Abb.3-10.

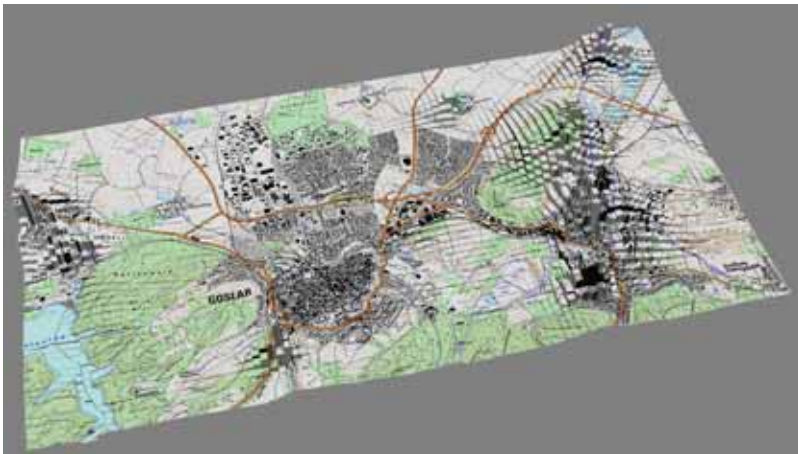


Abb.3-10 Belastungsverteilung von Blei in der Region Goslar aus ERDAS Imagine

In der Region Goslar wurden aus unterschiedlichen Gründen Bodenanalysen vorgenommen. Sie gehen zum Teil auf private Initiative zurück, zum Teil wurden sie von der Kommune auf industriellen Standorten durchgeführt und durch übergeordnete Untersuchungen, wie zum Beispiel landesweite Erfassung von Altlastenstandorten, ergänzt.

Hieraus ergibt sich ein sehr unregelmäßiges Beprobungsmuster. Die Verteilung dieser Messpositionen liegt als Punktdatensatz digital vor und verknüpft die Positionen mit den Inhalten der jeweiligen Bohrprotokolle. Als Basis für die Abschätzung einer Abhängigkeit des Metallvorkommens von der Bodenbelastung dient die Modellierung von Oberflächen für die jeweiligen Schwermetallgehalte.

Die Kontamination der Region begründet sich hauptsächlich in der atmosphärischen Deposition durch Emission und fluviale Verfrachtungen aus der Bergbautätigkeit und anderen anthropogenen Einflüssen. Die natürliche geogene Schwermetallhintergrundkonzentration der Böden durch Verwitterung schwermetallhaltiger Gesteine ist dem gegenüber zu vernachlässigen (PADEKEN 1998). Aufgrund der relativen Immobilität von Schwermetallen in

verschiedenen Böden und der Art des Eintrags der Kontamination beschränkt sich die Belastung hauptsächlich auf die oberen und mittleren Bodenschichten.

Deshalb wurden aus dem Datenpool der Beprobungen nur die Gehalte an Blei, Cadmium und Zink der oberen und mittleren Bodentiefe (bis 60 cm) selektiert.

Für die räumliche Analyse werden aus den selektierten Punktdaten Oberflächen geschätzt, die anschließend in räumliche Beziehung zu den Ergebnissen der Mistelerfassung gesetzt werden. Die Schätzung erfolgt nach der geostatistischen Methode des Kriging im Anschluss an eine variographische Analyse. Danach kann über Kreuz-Validierung eine Bewertung des angewendeten Interpolationsmodells vorgenommen werden.

„Eine Abbildung ist vor allem dann besonders wertvoll, wenn sie uns zwingt, zu sehen, was wir nie erwartet hätten.“ (TUKEY 1977, AUS HEINRICH 1994)

Der folgende Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die Grundlagen der Geostatistik und die Erläuterung der im Rahmen der Thesis angewandten Methoden.

Die Notwendigkeit, statistische Methoden in den unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Bereichen einzusetzen, führte je nach spezieller Anwendung zu einer Vielzahl an Definitionen und Kriterien der Geostatistik. Breit gefasst lässt sie sich als Statistik mit räumlichen Daten unter der Betonung natürlicher Variablen umschreiben (LORUP U. LEITNER 2000), Schafmeister (1999) beschränkt ihre Methoden „strenggenommen [...] auf die Behandlung der lokalen Variabilität einer ortsabhängigen Variablen“.

Die Basis der Geostatistik ist die räumliche Nähe und die daraus folgende Abhängigkeit natürlicher Variablen voneinander. Ihre Schätzmethode stützen sich auf die Ableitung von Werten aufgrund räumlicher Zusammenhänge.

Die Explorative Räumliche Datenanalyse verdeutlicht diese räumlichen Zusammenhänge, d.h. sie stellt Methoden zusammen, die die Verteilungen der Daten beschreiben und deren relative räumliche Lage zueinander interpretieren.

Die Beobachtungen werden als regionalisierte (ortsabhängige) Variablen in Bezug auf die räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiets definiert. Ausgehend von beispielsweise

punktförmigen Erhebungen in einer Region werden Schätzungen nicht erhobener Positionen aufgrund des gleichen Raumes vorgenommen (WACKERNAGEL 1998).

Eine Quantifizierung der räumlichen Beziehung zwischen Beobachtungen erfolgt über das Variogramm.

In der Variographie wird vorab eine Analyse der deskriptiven statistischen Parameter in Form eines Histogramms empfohlen (SCHAFMEISTER 1999). Die Histogramme über die logarithmierten Werte zeigten für alle drei untersuchten Schwermetalle leicht schiefe Verteilungen.

Der Zusammenhang zweier regionalisierter Variablen hängt von der Distanz der Variablen zueinander ab, er wird mit zunehmendem Abstand schwächer.

Aus den Bodenprobenpunkten werden aufgrund ihres Abstandes zueinander Paare (Tupel) gebildet, wobei der Abstand in der Regel nicht durch einen fixen Wert, sondern durch einen Distanzbereich (h) angegeben wird. Den Wertepaaren werden Variogrammwerte (γ) zugewiesen, die aufgrund folgender Funktion geschätzt werden.

$$\gamma(h) = (1 / 2N(h)) * \sum_{i=1}^N (z(x_i) - z(x_i + h))^2$$

$N(h)$ = Anzahl der Probenpaare im Abstand h

Z = Zufallsvariable

X_i = Ort

Der Variogrammwert ist die Varianz der Messwerte, ihre mittlere Streuung und ein Maß für den räumlichen Zusammenhang. Eine größere Varianz bedeutet einen geringeren räumlichen Zusammenhang. Setzt man die Varianz der Messwerte in Beziehung zu den räumlichen Abstandsvektoren der Tupel erhält man ein (empirisches) Variogramm (HEINRICH 1994).

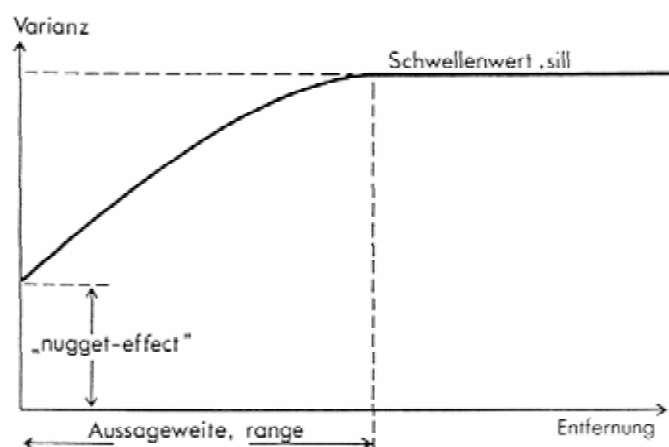


Abb.3-11: Prinzipbild eines Variogramms (nach SCHULZ 1986)

In der Abbildung 3-11 werden die Parameter eines Variogramms vorgestellt.

Mit zunehmender Entfernung steigt die Varianz der Messwerte, bis zu dem Schwellenwert sill, an dem die Kurve entweder zu einem Plateau übergeht oder auch wieder sinken kann.

Der Schwellenwert sill markiert Richtung x-Achse die Aussageweite range, also bis zu welcher Distanz räumliche Beziehungen und ab wann räumliche Unabhängigkeit vorliegt.

Der nugget-effect beschreibt die Differenz zum Ursprung, er entsteht durch Mess- und Analysefehler oder bei hoher kleinräumiger Variabilität.

Aus dem empirischen Variogramm wird ein theoretisches unter Einbindung der Punkte ohne Messwert im Untersuchungsgebiet. Ihre Werte werden aufgrund der vorhandenen Proben und deren räumlichen Zusammenhang geschätzt. Das geschieht über die Anpassung einer Funktion über die Tupel des Variogrammmodells und bildet die Grundlage für das Schätzverfahren Kriging (Heinrich 1994).

Mit Hilfe des geostatistical analyst von ArcGis 8.3 wurden die Oberflächenmodellierungen der Schwermetallgehalte über Kriging durchgeführt. Das Vorgehen durchläuft 4 Phasen: Die Auswahl der geostatistischen Methode, die Modellierung des Variogramms, die Nachbarschaftssuche über Radien und die Kreuz-Validierung.

Die Auswahl Ordinary kriging und prediction map führt weiter zum Variogramm. Das Variogramm (Abb. 3-12) zeigt die Punktpaare des Gebietes, eingetragen nach ihrer Distanz und den geschätzten Variogrammwerten. Die hohe Probenanzahl und deren große Bandbreite an Werten erschwerten die optische Anpassung einer Funktion. Das gilt vor allem für Blei und Zink. Die Möglichkeit der logarithmierten Darstellung der Werte erschwerte die Modellfindung gegenüber den untransformierten Werten.

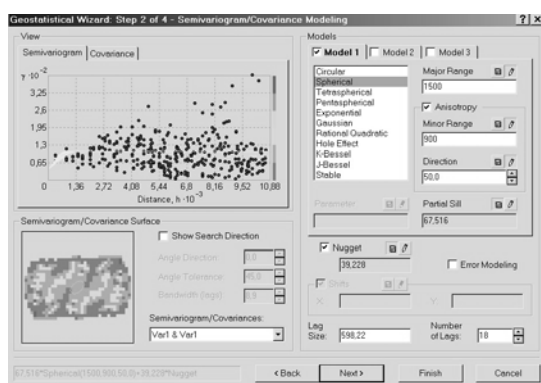
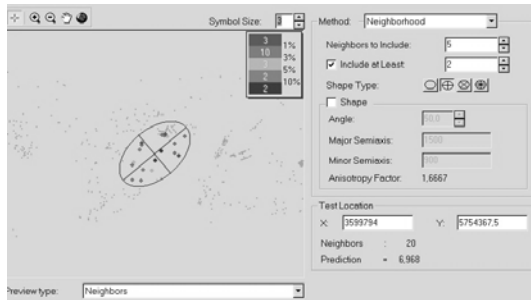


Abb.3-12: Variogramm und Variogrammoberfläche aus ArcGis

Die Bodenproben liegen zum Teil in sehr großer Distanz zueinander, wie die x-Achse veranschaulicht (max range); Ihr räumlicher Zusammenhang untereinander beschränkt sich nur auf den anfänglichen kurzen Kurvenverlauf.

Für die Schätzung werden Nachbarpunkte und ihre Werte innerhalb eines definierten Radius gesucht (Abb.3-13). Automatisch wird Radius vorgeschlagen, dessen Kreisfläche sämtliche Punkte erfasst. Eine genauere Schätzung erfordert einen kleineren Suchbereich um den abhängigen Distanzbereich zu treffen.



Die Angabe über den Suchraum betrifft im Fall Cadmium, wie auch in den anderen beiden eine Quadrantensuche. Hierbei wird eine maximale und minimale Anzahl an Nachbarn pro Quadrant definiert, um deren Eingang in die Schätzung zu reglementieren.

Abb.3-13: Fenster Suchradius aus ArcGis

Abschließend wird eine Kreuz-Validierung vorgenommen, eine Überprüfung der geschätzten Werte und die Angabe von Fehlern, die die Modellanpassung beschreiben.

Sind die Einstellungen zufrieden stellend, wird die Oberfläche generiert.

4. Ergebnis und Diskussion

4.1. Kartierung

Die terrestrische Kartierung des Mistelvorkommens im Untersuchungsgebiet wurde im März 2004 bis zu Beginn des Laubausbruchs durchgeführt. Die vollständige Kartierung wird erst im Herbst 2004 abgeschlossen. Der Stand der Kartierung wurde für die vorliegende Arbeit in ein Geographisches Informationssystem eingearbeitet. Das Ergebnis ist eine Punktdatensatz, deren Punkte die Lageposition von Wirtsbäumen abbildet. Die Attributtabelle der Punkte liefert Informationen über die Baumart und ihre Befallsstärke.

Aus diesen Sachdaten ergibt sich die Häufigkeitsverteilung der betroffenen Wirtsbäume, die das nachstehende Diagramm (Abb.4-1) demonstriert.

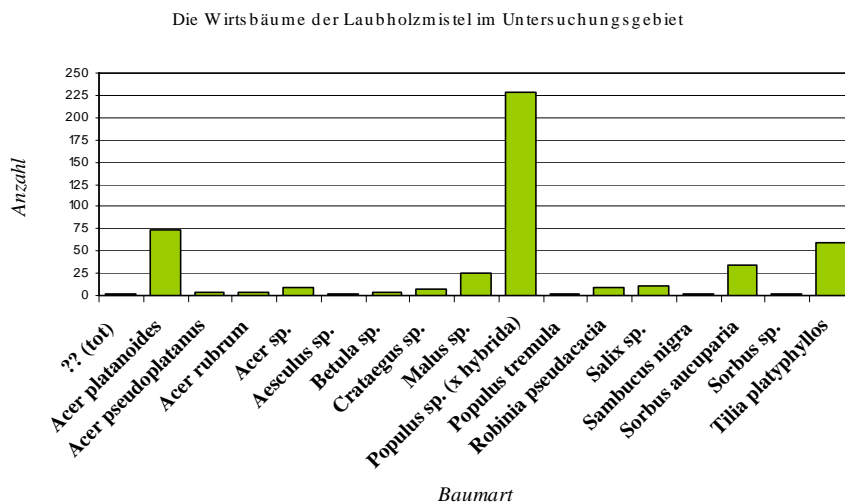


Abb.4-1: Die Häufigkeit der Wirtsbäume der Laubholzmistel in der Region Goslar

Die Auswertung der Erfassung der Befallsstärke wird in kartographischer Darstellung (Abb.4-2) veranschaulicht. So repräsentiert sie ein Einzelergebnis oder wird, ermöglicht durch den räumlichen Bezug, in weitere Auswertungen integriert.

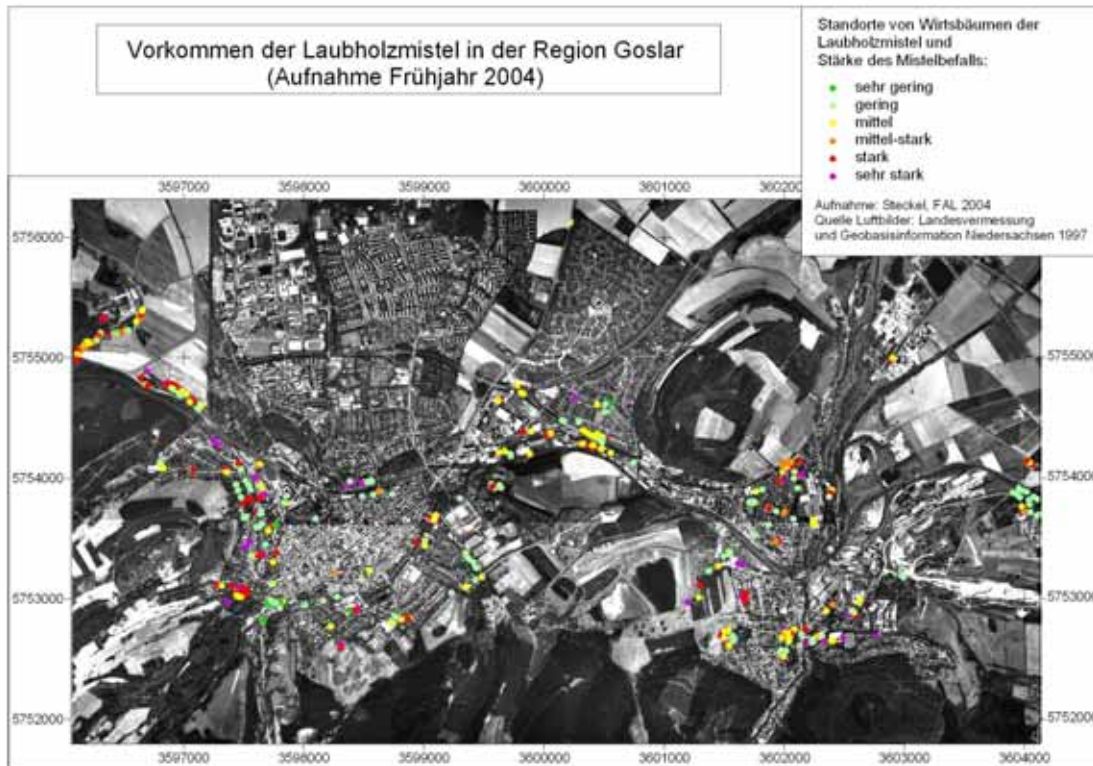


Abb.4-2: Vorkommen der Laubholzmistel in der Region Goslar

Während der Kartierung wurden einige Erschwernisse und Unsicherheiten deutlich.

Eine Garantie der Vollständigkeit kann die terrestrische Kartierung nicht liefern. Die Aufnahme erfolgt zumeist im Siedlungsbereich, in dem sich unzugängliche Stellen befinden. Privatgrundstücke sind häufig mit Sichtschutz versehen und der Befall dahinter liegender Obstbäume oder anderer Wirte kann nicht ermittelt werden. Ebenso sind die Hinterhöfe in der Innenstadt oft „grüne Oasen“ mit potentiellen Wirtsbäumen, aber nicht einsehbar. Die Region Goslar weist zudem viele Industriestandorte auf, deren Werksgelände nicht betreten werden darf und damit befallene Bäume nur aus der Ferne geschätzt werden konnten.

Die Mistelerkennung ist in den Wintermonaten am effektivsten, wenn die Wirte ohne Laub stehen. Für die Baumartenbestimmung der Wirtsbäume ist es ungleich schwieriger, vor allem da im Siedlungsbereich viele Bäume aus dem Zier- und Gartenbereich vorkommen. Daher wurde in einigen Fällen auf eine genaue Angabe verzichtet (Bsp.: *Acer* sp.).

Da die Kartierung über einen Zeitraum von einem Jahr erfolgt, mit einer Erhebungspause vom späten Frühjahr bis zum Herbstende, stellt sich noch ein weiteres Problem ein. Die Wirtsbäume der Mistel unterliegen augenblicklich starken Fällungsaktivitäten im Landkreis

Goslar. Die Begründung liefert das erreichte Alter einiger Bäume (v.a. Populus), aber auch der starke Befall und die damit verbundene Schwächung der Bäume. Bereits während der aktuellen Aufnahme wurde in einem Gebiet (Sportplatz Oker) der gesamte Wirtsbestand gefällt.

Für die Luftbildinterpretation, die sich auf das Kartierergebnis als Referenz stützt, stellen diese Tätigkeiten einen zusätzlichen Ungenauigkeitsfaktor dar.

Die Bestimmung einer Befallsstärke durch Misteln birgt einige Unsicherheiten. Der Grund liegt in der Größenvarianz der Mistel und naturgegeben in ihrem Lebensraum als Baumparasit. Dem Blick des Kartierers bleiben relativ frische Befallsstellen, bzw. kleine Misteln im oberen Kronenbereich verborgen. Misteln mit gleichem Durchmesser bewirken je nach Wirtsgröße einen unterschiedlichen Eindruck der Befallsstärke. Um diese Unsicherheiten zu minimieren, bzw. einen regelmäßigen Fehler in Kauf zu nehmen, sollte der Kreis der an der Kartierung beteiligten Personen möglichst klein gehalten werden.

4.2 Panchromatische Bilder

Die im weiteren Verlauf als s/w-Bilder benannten panchromatischen Aufnahmen lagen zu Beginn der Arbeit als Abzüge vor. Sie werden mit ihrem Maßstab von 1:12000 üblicherweise für forstliche Interpretationen und vegetationskundliche Arbeiten verwendet (HILDEBRANDT 1996).

Die fehlende Aktualität der Bilder (September 2000) hat keinen Einfluss auf die Aussagen zum Mistelvorkommen, denn die Mistel wächst sehr langsam. Pflanzen, deren Habitus in der Frühjahrskartierung 2004 einen Durchmesser von beispielsweise 20-30cm und mehr besitzt, sind schon viele Jahre alt und somit auch in älteren Bildern vorhanden.

Die Probleme der Mistelerkennung werden durch den Aufnahmezeitpunkt und den Bildmaßstab bestimmt.

Die rein visuelle Überprüfung der Bilder lässt keine eigene Mistelstruktur erkennen, ihre Ansicht erweist sich für die Erfassung der Mistel als zu detailarm. Die Durchführung mehrerer Bildverarbeitungsschritte, beispielsweise Helligkeitsregulierung und Kontrastverstärkung sowie die Zuhilfenahme von Filtern (Kantenfilter, Texturfilter) liefern keine Verbesserungen.

Das Hauptproblem dieser Bilder zur Mistelerkennung liegt eher im Aufnahmezeitpunkt.

Die Mistel selbst erscheint immergrün, d.h. sie besitzt zu jeder Jahreszeit Laub. Tatsächlich wirft sie die älteren Blattjahrgänge ab, allerdings zu Zeiten, in denen die neuen schon voll entwickelt sind. Sie schließt sich daher nicht dem Rhythmus ihrer Wirtsbäume an, die eine ausgeprägte Vegetationszeit und im Winter eine laubfreie Zeit besitzen. Vom Laubausbruch im Frühjahr bis zum Laubfall im Herbst ist die Mistel für Beobachter fast unsichtbar. Als Epiphyt wird sie von den Kronen ihrer Laubholzwirte mehr oder weniger vollständig verdeckt. In den Wintermonaten, zur laubfreien Zeit, erscheint ihr kugelig Habitus in den Kronen ihrer Wirte, gut sichtbar als eine der wenigen grünen, laubtragenden Pflanzen. Diese Tatsache muss bei der Planung einer Befliegung berücksichtigt werden. Desweiteren sollte der Sonnenstand so hoch wie möglich sein, um eine Beschattung der Misteln durch Bäume weitest gehend zu vermeiden. Demnach wäre Februar der ideale Zeitpunkt für eine „störungsfreie“ Mistelkartierung.

Verfügbare Luftbilder von der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN) oder von der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt werden im Regelfall

während der Vegetationszeit fotografiert, da diese Zeit für die geläufigen Verwendungen zweckmäßig ist.

Für Befliegungstermine in den Wintermonaten ist der Bedarf gering. Beispielsweise für geologische Belange treffen diese Sonderregelungen zu, waren aber für das Untersuchungsgebiet nicht verfügbar.

In den Archiven der LGN sind für das Gebiet wenige Aufnahmen vorhanden, deren Zeitraum nicht im Spätsommer, sondern im Frühjahr liegt. Obgleich die Bilderansicht gerade einen Pappelbestand betrifft, dessen Randbereiche besonders stark befallen sind und der nur einen lückigen Kronenschlussgrad aufzeigt, können die Misteln in den Photographien nicht identifiziert werden.

Abschließend wurde ein weiteres Mittel der Luftbildauswertung eingesetzt, die Interpretation aus der 3D-Sicht. Die Luftbilder liegen als Stereopaare vor und konnten daher stereoskopisch ausgewertet werden. Aufgrund des zu groben Maßstabs von 1:12000 konnte auch hier die Mistel nicht erkannt werden.

Eine Eignung der panchromatischen Luftbilder für die Mistelerkennung liegt nicht vor. Der Bildmaßstab und vor allem ihr Aufnahmezeitpunkt zur Vegetationszeit erlauben keine Angaben über das Vorhandensein von Misteln.

In Ermangelung von Gebietskarten zu Beginn dieser Arbeit wurden die Luftbilder als Grundlage der terrestrischen Kartierung verwendet. Die Topographischen Karten 1:25000 (TK25) von Goslar und Vienenburg standen erst später zur Verfügung und konnten dann in das Informationssystem einbezogen werden.

Die digitalisierten Bildabzüge wurden unter Zuhilfenahme der Kalibrierungsdaten und Referenzen aus den ATKIS-Informationen georeferenziert.

Sie dienen der Orientierung im Gebiet. In der Übersicht lassen sich potentielle Vorkommen der Mistel eingrenzen. Die mögliche Differenzierung der Baumarten in Laub- und Nadelholz erlaubt die Einschränkung des Aufnahmegebietes. Reine Nadelwaldgebiete, wie beispielsweise am Harzrand, konnten von vornherein ausgeschlossen werden. Die relativ lagegetreue Positionierung der Wirtsbäume anhand der Luftbilder erleichterten den Übertrag der Daten in das Geographische Informationssystem. Zudem ermöglicht ihre visuelle Hinterlegung die kartographische Darstellung des Kartierungsergebnisses.

4.3. Infrarotbilder

Die Bilder wurden für diese Untersuchung herangezogen, da sie mit freundlicher Unterstützung der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt Göttingen zeitnah verfügbar waren. Zum anderen ist es ein erprobtes Verfahren, Infrarotaufnahmen für vegetationskundliche Kartierungen zu nutzen.

Ihre Verwendung für die Mistelkartierung erfolgte vor dem Hintergrund der besseren Sichtbarkeit der Misteltextur und ihre stärkere farbliche Hervorhebung im Infrarotbereich.

Die Beispielbilder stammen aus einer Befliegung im September 2000 und ihre Abzüge liegen im Maßstab 1:12000 vor. Die Prüfung der Infrarotbilder weist die gleichen Probleme auf, die sich aus der Interpretation der schwarz-weiß-Bilder ergeben haben.

Der Aufnahmezeitpunkt und der Bildmaßstab lassen keine eindeutige Identifizierung der Misteln zu. Innerhalb der vielgestaltigen Kronenstruktur der Laubbäume und deren Farbvariationen sind die Misteln in dieser Maßstabsgröße nicht abgrenzbar.

Die Differenzierung der Misteln von der Begleitvegetation ist zu diesem Aufnahmezeitpunkt nicht möglich. Sie benötigt Photographien aus der laubfreien Zeit, doch diese sind für Vegetationsuntersuchungen nicht relevant und entsprechen schwer verfügbar.

Wenn auch die Nutzung dieser kleinmaßstäbigen Bilder für die Kartierung als nicht geeignet bewertet wird, so ist die Nutzung von Infrarotfilmen allgemein noch zu diskutieren. Beispiele folgen in den nächsten zwei Abschnitten (4.4, 4.5).

Neben der Kartierung ist für das anschließende Mistelprojekt auch die Frage nach der Vitalität der Wirtsbäume von Relevanz. Dahinter steht die Hypothese, dass die Befallsstärke bei schlechter Verfassung der Wirte zunimmt. Um den Zustand der Wirtsbäume als weiteres Kriterium mit in die Untersuchung aufzunehmen, können die bestehenden IR-Bilder analytisch genutzt werden. Die infrarote Rückstrahlung ist ein anschauliches Maß für Vegetationsschäden.

Die Erfahrungen aus der Waldschadenserhebung liefern Instrumente zur Vitalitätsansprache der Bäume. Für das Projekt bedeutet dies allerdings eine doppelte Bildhaltung, während und außerhalb der Vegetationszeit.

4.4. Schrägaufnahmen

Aufgrund der dargelegten Probleme bei der Auswertung der vorliegenden s/w- und IR-Bilder wurde das Untersuchungsgebiet mit einer Cessna in einer Höhe von ca. 500 m befliegen und mit Handkameras fotografiert.

Die vorliegenden Schrägaufnahmen sind nicht als Auswertungsbasis für die Kartierung gedacht. Ihre Einbindung in ein Geographisches Informationssystem ist aufgrund der Schräglage sehr aufwändig und fehlerbehaftet, eine korrekte Entzerrung und Georeferenzierung kaum möglich.

Die Flüge dienen der Kontrolle, in wie weit die Mistel aus der Luft tatsächlich bestimmbar und entsprechend aus Bildern interpretierbar ist.

Das Ziel war, durch die niedrigere Flughöhe Aufnahmen zu erreichen, die eine Erkennung der Misteln zulässt. Aus dieser Befliegung liegen Bilder aus Farbfilmen und Infrarotfilmen vor.

Auf den Farbbildern sind die Misteln gut zu identifizieren. Für die Mistelerfassung im Infrarotbild ist der März als Zeitpunkt bereits zu spät. Die Wirtsbäume zeigen zwar noch kaum Laubausbildung, aber die Reflexion des aufkommenden Grüns der Wiesen und Begleitvegetation (Kraut- und Strauchschicht) verfälscht die exakte Aussage über das Mistelvorkommen.

Das Flugzeug lässt nur Schrägaufnahmen aus den Fenstern zu. Die Fensterspiegelung führt zu Ungenauigkeiten, zusammen mit einer zeitweiligen Unschärfe durch das Photographieren aus der Hand.

Dennoch zeigt dieses Vorgehen, dass bei verbesserten Rahmenbedingungen die Mistelerfassung aus Luftbildern möglich ist.

4.5. Bilder des MicroAirLab

Die Aufnahmen des Modellfliegers ermöglichen die Erfassung der Mistel, sowohl in Farbbildern als auch in Infrarotaufnahmen. Die kugelige Struktur der Misteln ist deutlich erkennbar.

Die Erkennung aus den Farbbildern ist etwas aufwändiger, da die Mistelfärbung nicht so intensiv erscheint und der Epiphyt damit im Kronenraum schwerer differenzierbar ist. Dieser Faktor wird vor allem bei der Ansprache einzelner Misteln auf stark befallenen Wirtsbäumen relevant.

In den Infrarotaufnahmen sind die „roten Kugeln“ in Teilbereichen deutlich sichtbar und gut gegeneinander abgrenzbar. Doch auch hier wurde der Zeitpunkt für die Aufnahmen zu spät gewählt. Der Untergrund weist bereits einen zu hohen Grün-Anteil auf und lässt in einigen Bereichen die Farbinformationen verschwimmen, ohne einzelne Muster und Texturen erkennen zu lassen. Die Tauglichkeit der Bilder ist dennoch augenscheinlich.

Neben dem Aufnahmezeitpunkt treten mehrere technische Probleme auf. Zwischen der Fernsteuerung und dem Bordcomputer für die GPS-Vorrichtung traten Störungen auf. Um das Flugzeug nicht zu gefährden, wurde daher im vorliegenden Beispielflug auf die Positionsdaten verzichtet. Ein weiteres Problem stellt die Koordination des Fluges dar. Die an der Flugzeugseite erschütterungsfrei fixierte Spiegelreflexkamera wurde vom Boden her ausgelöst. Der Modellflieger ist stets in Sichtweite, aber der Flugzeugführer kann nur schätzen, an welchem Ort eine Aufnahme ausgelöst wird. Der Einbau einer kleinen Videokamera, deren Daten dem Flugzeugführer direkt, d.h. zeitgleich vorliegen, soll dieses Problem lösen.

Die Reichweite des MicroAirlab ist für eine komplette Abdeckung des Untersuchungsgebietes zu gering. Hinzu kommt die Notwendigkeit spezieller Überflugsgenehmigungen für eine solche Befliegung im Siedlungsbereich.

Die Ergebnisse in Bezug auf die Mistelerkennung ist jedoch sehr zufrieden stellend und das Verfahren wird weiter entwickelt und verbessert. Sein Einsatz ist als Sonderlösung zu bewerten.

4.6. Geostatistische Bodenanalyse

Die Aufnahmedaten des Untersuchungsgebiets liegen als Punktinformationen vor. Um einen Zusammenhang der Ergebnisse aus der Mistelkartierung und den Bodenproben zu entwickeln, werden diese Daten über ihren Raumbezug miteinander in Verbindung gebracht. Dazu ist es nötig, aus einer der beiden Punktinformationen eine Oberfläche zu modellieren.

Für die Bodenwerte der Schwermetalle Blei, Cadmium und Zink wurde daher das geostatistische Schätzverfahren Kriging angewendet.

Die Abbildungen 4-3 bis 4-5 veranschaulichen das Ergebnis dieser Schätzung. Die Schwermetallgehalte werden an Hand der natürlichen Brüche der Wertemenge in der Darstellung in Klassen eingeteilt. Um die von Misteln betroffenen Flächen zu identifizieren, wurde das Kartierungsergebnis darüber gelegt. In ihrer Sachdatentabelle (Kartierung, Anhang) wurden die Positionen der Mistelstandorte durch die Angabe der jeweiligen Schwermetallgehalte an dieser Stelle ergänzt.

Die Schätzung über die Technik Kriging ist laut Literatur am besten für normalverteilte Daten geeignet. Die Histogrammerstellung zu Beginn der Modellierung ergab für Blei eine leichte Rechts-, für Cadmium eine leichte Linksschiefe. Auffällig waren die Werte für Zink, aufgrund extremer Ausreißer (Zinkhütte in der Region), die daraufhin aus der Modellierung genommen wurden.

Die Durchführung des Kriging schließt mit der Kreuzvalidierung ab, ein Prüfverfahren für die Qualität der Schätzung, bzw. ihre Wahrscheinlichkeit.

Die Fehlerberechnungen sind in Tab.4-1 zusammen gestellt.

Tab.4-1: Schätzfehler nach Kreuzvalidierung (ArcGis 8.3)

Prediction Errors	Blei	Cadmium	Zink
Mean	0,7475	0,09686	-0,7451
Root-mean square	3283	8,108	3417
Avarage Standard Error	2317	7,82	3389
Mean Standardized	0,004231	0,009443	0,001525
Root-Mean-Sqare Standardized	1,236	1,072	0,9786

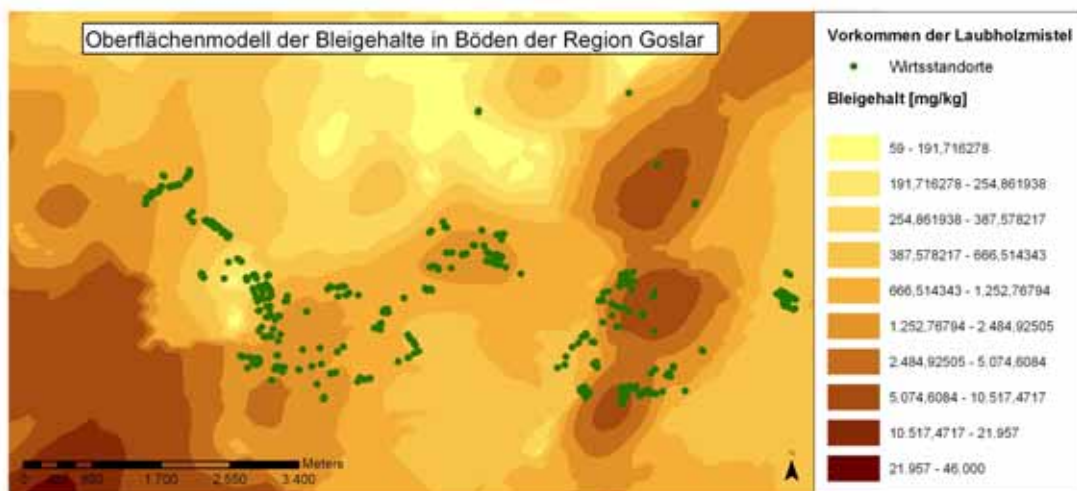


Abb.4-3: Standorte misteltragender Bäume über dem Oberflächenmodell der Blei-Bodengehalte in der Region Goslar (ArcGis)

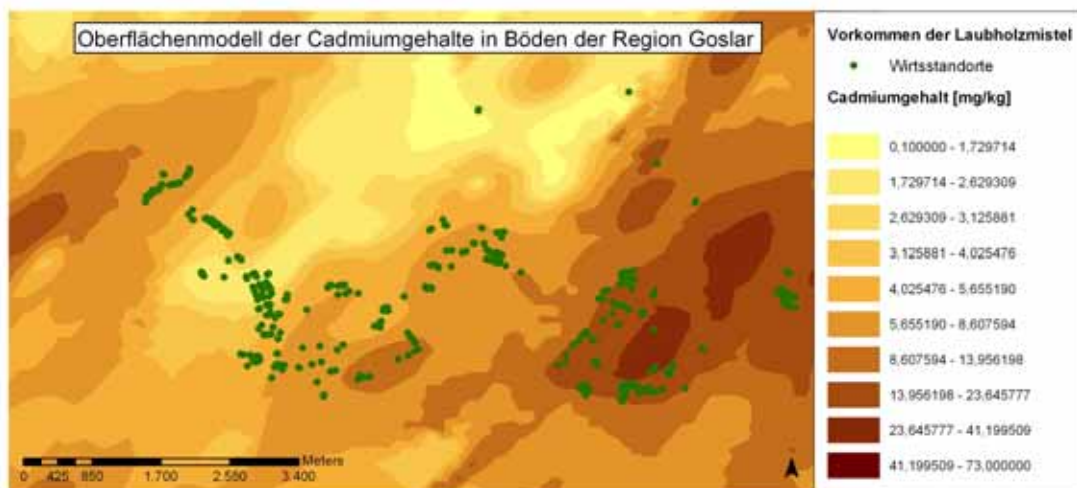


Abb.4-4: Standorte misteltragender Bäume über dem Oberflächenmodell der Cadmium-Bodengehalte in der Region Goslar (ArcGis)

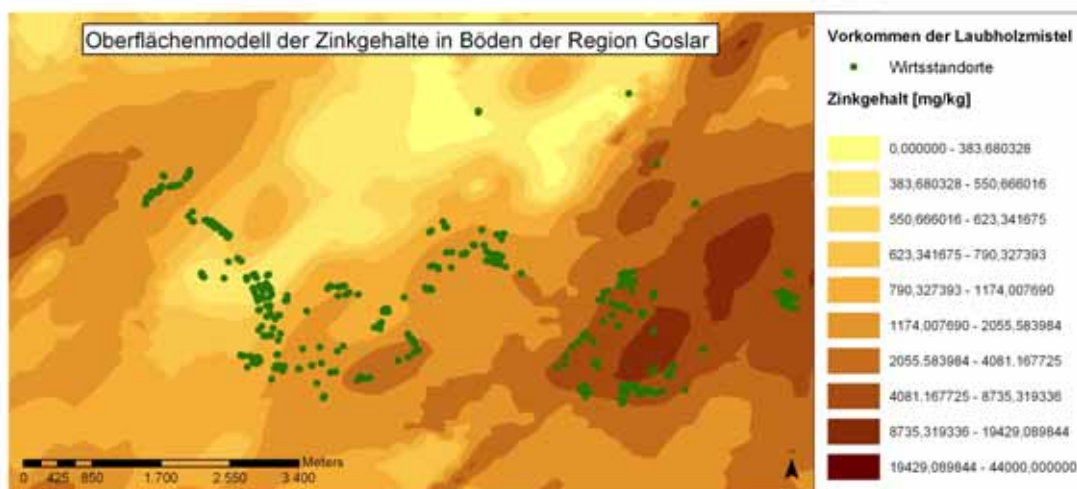


Abb.4-5: Standorte misteltragender Bäume über dem Oberflächenmodell der Zink-Bodenbelastung in der Region Goslar (ArcGis)

Die Modellparameter wurden demnach so gewählt, dass im Mittel die Abweichung des geschätzten vom realen Wert gegen Null geht (mean), d.h. die Schätzwerte erwartungstreu sind. Für Blei und Zink, die nach wie vor noch (allerdings wenige) Ausreißer aufweisen, liegen die Werte höher. Eine Aussage über die Nähe der geschätzten zu den gemessenen Werten macht der root-mean square-standardized-error, er sollte um Eins liegen.

Die statistische Auswertung der Daten zur Prüfung einer Korrelation zwischen Mistelvorkommen und Schwermetallgehalten benötigt zusätzliche Aufnahmen. Derzeit führt eine Analyse zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen. Der Grund liegt nicht in der mangelnden Abhängigkeit, sondern an der zu bewertenden Datengrundlage. Eine Signifikanzuntersuchung über das Mistelvorkommen aufgrund von Belastungen erfordert die zusätzliche Erfassung von potentiellen Wirten. Die Datengrundlage beinhaltet somit Bäume, die einen Befall aufweisen und unbefallene Bäume. Diese können dann aufgrund ihrer Standortwerte statistisch analysiert werden.

Die vorliegenden Daten aus der terrestrischen Erhebung beschränken sich auf Wirtsbäume mit Mistelbefall und dessen Stärke. Ihr Sinn war zunächst eine Referenz für die Luftbildinterpretationen.

Die Variable „Befallsstärke“ zeigt keine signifikanten Abhängigkeiten zu den Schwermetallgehalten im Boden.

Die Frage, inwieweit die Standortbedingungen, insbesondere die Schwermetallgehalte, das Vorkommen der Mistel bestimmen oder die Anfälligkeit der Wirtsbäume gegen Mistelbefall beeinflussen kann somit noch nicht hinreichend beantwortet werden.

5. Abschlussbewertung und Konzepterstellung

Die terrestrische Kartierung hat ca. 65% des Untersuchungsgebietes erfasst und liefert eine Übersicht über die Verteilung des Mistelvorkommens. Eine Karte über den Wirtsbaumbestand und deren Befallsstärke liegt vor.

Der Stand Frühjahr 2004 wird im Herbst/Winter 2004/2005 ergänzt. In der Planung wird die terrestrische Kartierung nach dem bisherigen Vorgehen vervollständigt. Der Einsatz von GPS wird die Aufnahme begleiten. Die vollständige Erhebung liefert eine überprüfte Referenz für die Interpretation der Misteln aus Luftbildern des Untersuchungsgebietes.

Die bestehenden Daten über die Wirtsbäume werden durch eine Altersschätzung und Vitalitätsansprache zu Beginn der nächsten Vegetationsperiode ergänzt.

Die gemeinsame Auswertung der Erhebungsdaten und Bodenbelastungen erfordert eine Erweiterung der Kartierung um die potentiellen Wirtsbäume im Gebiet. Ihre Aufnahme ermöglicht eine bessere Bewertung und Gewichtung der Verteilung des Mistelbefalls.

Die Ergebniskarte liefert, neben der Übersicht des Mistelvorkommens im Gebiet, eine Referenz für die geplanten Befliegungen und Luftbildinterpretationen.

Die Verwendung von Luftbildern zur Mistelerkennung wurde anhand mehrerer Beispiele im Rahmen dieser Arbeit geprüft. Grundsätzlich lassen sich die Probleme in drei Bereiche zusammenfassen: Verfügbarkeit, Aufnahmezeitpunkt und Bildmaßstab.

Die vorliegenden Photographien der LGN waren zeitnah verfügbar. Der Flugtermin während der Vegetationsperiode und der Maßstab von 1:12000 schließt die Bilder für die visuelle Interpretation aus.

Die schwarz-weiß Bilder stellen nach ihrer Georeferenzierung eine gute Kartierungsgrundlage dar und werden hierfür auch weiterhin verwendet.

Die Ergebnisse aus den Befliegungen im Frühjahr 2004 liefern die Grundlage für ein Konzept über das zukünftige Vorgehen.

Die Schrägaufnahmen zeigen trotz der geschilderten Probleme zufrieden stellende Resultate. Sowohl die Farb- als auch die Infrarotaufnahmen erzielen eine ausreichende Abgrenzung der Mistel durch ihre auffällige Struktur und jeweilige Färbung (hellgrün oder rot).

Das Konzept für eine weitere Befliegung berücksichtigt folgende Faktoren: Flugzeitpunkt, Flughöhe, Aufnahmetechnik, Filme und Auswertungsoptionen.

Der Flug- und Aufnahmezeitpunkt muss sorgfältig gewählt werden. Aus den bisherigen Ergebnissen wird deutlich, dass die Bestimmung des Mistelvorkommens am ehesten in den Wintermonaten erfolgen kann. Liegt der Zeitpunkt zu dicht am Ende oder Anfang der Vegetationsperiode, sind die Wirtsbäume evtl. noch nicht komplett laubfrei oder die Begleitvegetation beschränkt mit beginnendem Grün die Sichtbarkeit der Misteln. Zusätzlich erschwert die Witterung die Bedingungen, eine Schneedecke verhindert zwar den Einfluss des Unterwuchses, darf jedoch nicht dicht auf den Misteln liegen. Grundsätzlich ergeben sich im Winter weniger Tage mit gutem Flugwetter.

Das Befliegungskonzept visiert einen Zeitrahmen für Dezember/Januar an.

Die Flughöhe wird vom Piloten der eingesetzten Piper auf etwa 1500 Fuß (500-600m) im Siedlungsbereich festgelegt.

In Kombination mit einem Bildformat von 6x6 Diapositiven ergibt sich daraus ein Bildmaßstab, der für die Mistelbestimmung einsetzbar ist.

Die Aufnahmen erfolgen senkrecht durch ein Kamerasystem im Bodenraum des Flugzeuges. Diese Technik verbessert nicht nur die Aufnahmerichtung, sondern erlaubt ebenfalls Streifenflüge. Die gleichmäßige Bilderabdeckung für das Untersuchungsgebiet ist hiermit gewährleistet.

Der Einsatz von Infrarot-Filmen steht aus technischen wie aus wirtschaftlichen Gründen noch zur Diskussion. Die IR-Aufnahmen zeigen im Winter aufgrund des niedrigen Sonnenstandes und den daraus resultierenden Lichtverhältnissen häufig eine unerwünschte Kontrastarmut. Die visuelle Interpretation wird dadurch eingeschränkt, verfälscht oder ganz verhindert.

Die Befliegung ist daher zunächst mit Farbfilmen geplant.

Das Ziel dieser Befliegung ist die vollständige Abdeckung des Untersuchungsgebietes. Das Bildmaterial dient der Bestimmung des Mistelvorkommens und, soweit möglich, seines Ausmaßes. Die durchgeführte terrestrische Kartierung liefert die Vergleichsdaten zur Überprüfung der Luftbildinterpretation.

Weiterhin wird ein Flugplan erstellt, der Aufnahmen streifenweise und mit Überlappungsbereichen vorgibt. Die Technik einer Positionsbestimmung zum Aufnahmezeitpunkt gehört derzeit noch nicht zur technischen Ausrüstung, ist aber angedacht.

Damit wäre die Voraussetzung für einen räumlichen Bezug der Bilder gegeben und die Einbindung in das bestehende GIS-Projekt.

Der Einsatz des MicroAirLab für Luftbildaufnahmen des Untersuchungsgebietes wurde bereits als Sonderlösung bezeichnet. Dieser Sonderfall begründet sich in der geringen Reichweite des Systems.

Die Ergebnisse aus dem Testflug am Klostergut Riechenberg (westlich der Stadt Goslar) waren für die Mistelerkennung zufrieden stellend. Die geringe Flughöhe, gekoppelt mit dem relativ kleinen Bildausschnitt ermöglicht eine gute Erkennung der Mistel und der Befallsstärke ihrer Wirtsbäume. Sowohl Farb-, als auch Infrarotfilme ermöglichen diese Resultate.

Da sich die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Misteln und Standortgegebenheiten nicht ausschließlich auf die Region Goslar bezieht, sind andere Einsatzorte für das MAL denkbar. Es gibt Regionen, die kleinräumig abgrenzbar und für eine terrestrische Erhebung schwer oder nicht zugänglich sind. Um den effektiven Einsatz des MAL zu prüfen, wurde daher ein Gebiet nordöstlich von Wolfsburg gewählt. Das gut umgrenzte Moorgebiet ist schwerpunktmäßig mit Pappeln und Birken bestanden. Der Mistelbefall an beiden Baumarten ist selbst im Sommer kaum zu übersehen. Die angrenzende forstwirtschaftlich genutzte Pappelpflanzung ist ebenfalls betroffen. Im Spätherbst oder Winter 2004 ist daher eine Befliegung mit dem MAL vorgesehen. Die Aufnahmen sollen mit einer IR-taugliche Digitalkamera photographiert werden. Die bisherige Schwierigkeit der Unschärfe durch den Gelbfilter wird durch eine speziell angefertigte Linse ausgeglichen. Der Einfluss des Sonnenstandes und damit der Belichtungsverhältnisse im Winter ist bei einer anvisierten Flughöhe von 120m gering.

Neben der Kamera für die Luftaufnahmen wird im Flugkörper eine Videokamera installiert. Die zeitgleiche Übertragung ihrer Aufzeichnung vermittelt dem Flugzeugführer eine genaue Position und erleichtert das Dirigieren bei erschwelter Sicht durch den Baumbestand. An der technischen Lösung der momentan vorhandenen Störung zwischen der Fernsteuerung des Flugzeuges und dem Bordcomputer wird derzeit gearbeitet. Während der nächsten Befliegung ergänzt dann auch eine GPS-Ermittlung die Flugdaten.

Das Ziel dieser Befliegung ist die Mistelerkennung über detailreiche IR-Bilder in einem isolierten und unzugänglichen Gelände.

Die Ergebnisse aus der Modellierung der Bodenwerte mit Hilfe geostatistischer Schätzverfahren liefern Entscheidungshilfen und Vorgaben für das weitere Vorgehen.

Für eine Optimierung der Oberflächenmodellierungen müssen die vorliegenden Daten stärker überarbeitet werden. Ausreißer, die in der Region durch kleinräumige Extremwerte aufgrund von Blei- und Zinkhütten vorkommen, werden genauer bestimmt und ausgeschlossen. Zusätzlich ist eine intensivere Selektion der Bodenwerte erforderlich. Das Datenmaterial für die dargestellte Vorgehensweise stützt sich auf mehrere Quellen, die sich vor allem im Bereich der Bohrtiefe unterscheiden. Die Auswahl einer Bodentiefe von 60 cm beinhaltet Probenwerte des gesamten Intervalls und auch kleinere Bereiche. Eine intensivere Selektion der Bodenwerte ist geplant sowie auf Grundlage der erstellten Oberflächen eine eigene Beprobung. Hierfür werden wenig beprobte Gebiete und Gebiete mit hoher Mistelkonzentration ausgewählt.

Aus der Korrelation lässt sich ableiten, dass das bisherige Kartierungsvorgehen um das Vorkommen potentieller Wirtsbäume erweitert werden muss.

Die Daten der geplanten wie bestehenden Bodenbeprobungen und der vollständigen Mistelkartierung mit Ergänzung einer Aufnahme sämtlicher potentieller Wirte im Gebiet werden dann geostatistisch und statistisch ausgewertet, um eine Korrelation zwischen Mistelvorkommen und Bodenbelastung erneut zu prüfen.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen eines dreijährigen Projektes der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig erstellt.

Das Projekt untersucht den Zusammenhang zwischen dem Vorkommen des Baumparasiten *viscum album ssp. album* (Laubholzmistel) und Bodenbelastungen, insbesondere Schwermetalle, und der daraus folgenden Eignung der Mistel als Bioindikator.

Die Master Thesis behandelt den Aspekt der Mistelerfassung, die Aufbereitung der relevanten räumlichen Daten der Untersuchung in einem Geographischen Informationssystem und die Grundlagenanalyse mittels geostatistischer Methoden. Sie betrachtet darüber folgende Kernfragen:

Inwieweit ist die Laubholzmistel aus Luftbildaufnahmen interpretierbar, bzw. welche Art Bilder lässt eine solche Untersuchung zu?

Lässt sich mit Hilfe der Geostatistik eine Tendenz für die Abhängigkeit des Mistelvorkommens von einer Bodenbelastung ableiten?

Das Ziel dieser Arbeit ist die konzeptionelle Vorlage für die Mistelerfassung, sowohl terrestrisch als auch aus Luftbildern, sowie die Angabe einer Tendenz für den Zusammenhang zwischen Mistelvorkommen und Bodenbelastung anhand der Bodenanalytik.

Die für die Untersuchung relevanten Daten fallen in den klassischen Aufgabenbereich Geographischer Informationsverarbeitung. Die Beziehung der Phänomene stützt sich nicht auf thematische Zusammenhänge, sondern auf die Tatsache der räumlichen Identität.

Für die vorliegende Arbeit, wie auch für die weitergehende Projektbearbeitung ist daher die Datenverarbeitung in einem Geographischen Informationssystem (GIS) vorgesehen.

Dieses System beinhaltet die Datenhaltung, ihre Auswertung und abschließende Präsentation.

Zunächst wurde das Mistelvorkommen anhand einer terrestrischen Kartierung im März 2004 belegt. Aufnahmebestandteile waren die Erfassung der betroffenen Wirtsbäume, ihrer Standorte und die Ermittlung der Befallsstärke. Die Kartierung beschränkt sich auf Bäume, die tatsächlich Misteln tragen. Der Befallsgrad wurde in einer nachträglichen Klassifizierung in 5 Stufen eingeteilt, von sehr gering bis sehr stark. Die Ergebnisse der Kartierung wurden in ein GIS-Projekt (ArcView 3.2) eingepflegt. Zur Orientierung für die Positionierung der Baumdaten dienten schwarz-weiß Photos der Landesvermessung und Geobasisinformation

Niedersachsen (LGN). Nach ihrer Digitalisierung wurden die Photos ortho-rektifiziert und mit der Software ERDAS Imagine 8 in ein blattschnittfreies Mosaic montiert. Das Resultat der Kartierung liegt in einer Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes vor, in dem die Wirtsstandorte und der Mistelbefall farblich visualisiert werden. Die Karte repräsentiert den Stand der Aufnahme bis zum Laubausbruch Anfang April 2004, eine vollständige Erhebung ist im Herbst 2004 geplant.

Die terrestrische Kartierung fungiert zusätzlich als Referenz für die Interpretation aus Luftbildern.

Der Einsatz der Fernerkundung für die Mistelerfassung begründet sich im hohen Aufwand terrestrischer Kartierung in größeren Gebieten und der Unzugänglichkeit einiger Regionen. Allerdings liegen im Bereich der Erfassung von Misteln kaum Erfahrungen vor.

Daher wurde der Frage nach der Eignung zur Mistelerkennung durch den Vergleich unterschiedlichen Luftbildmaterials nachgegangen. Entscheidend für die Eignung der Luftbilder sind der Aufnahmezeitpunkt und der Bildmaßstab.

Die vorliegenden Ortho-Photos (s/w und IR) konnten aufgrund dessen nicht für die Bildinterpretation eingesetzt werden. Der Aufnahmezeitpunkt im September (Vegetationszeit der laubtragenden Wirte) verhindert die Bestimmung einer eigenen Misteltextur. Neben ihrer Erkennung ist auch das Ausmaß des Befalls von Bedeutung, daher sollte der Maßstab in der Größenordnung von 1:5000 liegen. Die Detailgenauigkeit der Ortho-Photos mit 1:12000 wird als zu gering eingestuft.

Während eines Übersichtsfluges im März 2004 wurden Schrägaufnahmen (Farb- und IR-Bilder) erstellt. Aus einer Flughöhe von ca. 400 bis 600m bestätigte sich die Abgrenzbarkeit der Mistel aus der Luft, unabhängig vom Filmmaterial (Farb- oder IR-Film). Von einer weiteren Verarbeitung der Bilder in GIS wurde aufgrund des schrägen Aufnahmewinkels und fehlender Positionsbestimmung abgesehen.

Die Aufnahmen des MicroAirlab der DLR Braunschweig aus einer Flughöhe von 120m liefern sehr gut interpretierbare Bilder. Bezüglich der geringen Reichweite des Modellflugzeuges stellt sein Einsatz eine Sonderanwendung für kleinräumigere Gebiete dar.

Aus dem Bildvariantenvergleich ergibt sich die Notwendigkeit einer erneuten Befliegung des Untersuchungsgebietes in den Wintermonaten. Die Schlussfolgerungen aus der Vergleichsdiskussion erfordern Senkrechtaufnahmen aus einer Höhe von ca. 500 m und einem Bildmaßstab von 1:5000 oder größer, eine vollständige Abdeckung des Untersuchungsgebietes und die Ergänzung der Aufnahmen durch GPS-Daten.

Um die Probennahme für die Mistel zu optimieren, wurden die Bodenbelastungen mittels geostatistischer Methoden für die Fläche modelliert.

Das Vorgehen der geostatistischen Auswertungsmethoden regionalisierter Variablen wird an einer Auswahl vorliegender Daten durchgeführt.

In Ermangelung derzeitiger eigener Standortuntersuchungen wurde auf Material über die Schwermetallbelastung in der Region zurückgegriffen. Die hohe Kontamination des Untersuchungsgebietes begründet sich in den hohen Bodenwerten von Blei, Cadmium und Zink. Aus verschiedenen Beprobungsunterlagen der letzten Jahre wurden ihre Gehalte für den oberen und mittleren Bodenbereich (bis 60cm) selektiert und mit geostatistischen Methoden weiter verarbeitet.

Das gängige Interpolationsverfahren Kriging wurde gewählt, um die Oberflächen der betrachteten Schwermetalle zu generieren und somit die Werte in unbeprobten Bereichen zu schätzen.

Einen Überblick über die räumliche Verteilung der Schwermetallgehalte und ihre Beziehungen liefert ein experimentelles Variogramm. Die Parameter der Variogrammanalyse und das gewählte Modell über die Daten stellen die Grundlage für die eigentliche Schätzung. Über die Funktion der räumlichen Verschneidung werden die Schwermetallgehalte auf die punktuellen Mistelbefallsdaten übertragen. Das Resultat dieser Verschneidungen liefert zu jedem Wirtsbaum einen geschätzten Bodenwert. Hieraus können nun mit Mitteln der Statistik (SPSS) Korrelationen untersucht werden.

Über die Korrelationsanalyse lässt sich eine erste Tendenz für den Zusammenhang zwischen Mistelvorkommen und Bodenbelastung ableiten.

Eine signifikante Aussage über ihre Beziehung wird erst nach der Ergänzung durch weitere Daten aus dem Untersuchungsgebiet möglich. Der Informationsgehalt zusätzlicher Bodenproben und der vollständigen Mistelkartierung sowie weiterer Einflussfaktoren, kann die Hypothese bestätigen oder verwerfen.

Zur Zeit lassen die vorhandenen Daten noch keinen Rückschluss auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Kontamination der Region und dem beobachteten Mistelvorkommen zu. Die Wirkung der Mistel als Bioindikator für Bodenbelastungen bleibt Thema des nachfolgenden längerfristigen Untersuchungsprojekts der FAL.

Summary

This thesis is part of a three-year research project of the Federal Agricultural Research Centre (FAL), Braunschweig.

The aim of the project is the analysis of potential correlations between the occurrence of the tree parasite *viscum album ssp. album* (mistletoe) and soil contamination, especially heavy metals, in order to use the mistletoe as bio-indicator.

The master thesis deals with different aspects of information retrieval techniques for mistletoes, the development of a spatial database in a geographical information system and the basic spatial analysis with geostatistical methods. The following topics have been focused on:

To what extent is *viscum album* detectable from aerial photographs, and/or what kind of imagery allows such an investigation?

Is there a correlation of the occurrence of mistletoe and soil contamination that can be derived by geostatistics?

The study outlines a conceptional draft for the acquisition of mistletoes by terrestrial mapping and from aerial photographs as well as the investigation of correlations between mistletoes occurrence and soil contamination based on soil analytics.

The acquired data for this study is very suitable for geographic data processing. The relationship of the investigated information is not thematically but spatially connected. The data processing of the present work and the following project phase is performed by a geographical information system (GIS). This system performs data storage, analysis, evaluation and the final presentation.

First a terrestrial mapping campaign in March 2004 recorded the mistletoes distribution. Information on the hosting trees, their location and the level of infestation has been classified into five levels, ranging from very low to very severe infestation.

The results of the data acquisition were implemented into a GIS project (ArcView 3,2). In order to locate the trees, black and white photos of the Federal Land Survey (Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen, LGN) have been implemented into the GIS. After digitising of the photos ortho-rectification has been performed using

ERDAS Imagine 7, resulting in a seamless image mosaic. The results of the mapping campaign are shown in a general map of the area, where the hosting trees and the level of mistletoe infestation has been visualised. The map represents the situation at the beginning of April 2004, close before sprouting of the leaves. The final revision completion is planned by the autumn 2004. The terrestrial mapping also will be used as reference for the aerial photograph interpretation.

The application of remote sensing for the detection of mistletoes has advantages due to high expenditure costs of terrestrial mapping, coverage of larger areas and the access to hidden regions.

However there is little experience at present with mapping mistletoe by remote sensing. The comparison of several aerial photos and different data acquisitions has been tested. For the suitability of the aerial photographs the acquisition time and the scale of the imagery are very important.

The available ortho-photos (b/w and IR) could not be used for the interpretation. The acquisition time in September (the vegetation period of the deciduous hosts) prevents the classification by spectral signature. Apart from the existence also the level of infestation is important and therefore an image scale about 1:5000 is necessary. The detail level of ortho-photos with a scale of 1:12000 is too small to classify mistletoe.

In a flight campaign in March 2004 oblique photographs (colour and IR) were acquired. The flight altitude of approx. 400 to 600 m is suitable for the detection of the mistletoe by plane, using both types of film (colour or IR). Because of the oblique camera angle and the missing positional data, no further processing of the pictures in a GIS has been performed.

The photographs of the MicroAirlab of the DLR Braunschweig from an altitude of 120m delivered suitable images. The small operation range of the model airplane is limiting the usage to special applications for smaller areas.

The comparison of the different imagery showed the necessity for an additional flight campaign in the winter months. The concluding comparison showed the need of vertical aerial photographs from a height of approx. 500 m and a scale of 1:5000, a complete coverage of the investigation area and supporting GPS data for the photographs.

In order to improve the sampling of soil and mistletoe, soil contamination has been modelled for the complete area by geostatistics. The geostatistical evaluation method of rationalised variables has been tested on a selection of the available data.

The absence of local contaminated soil samples lead to the usage of existing information on the contamination by the regional counsel. The strong soil contamination in the investigated area is shown in the high loads of lead, cadmium and zinc. Based on different sampling campaigns of the last years the heavy metal concentration for the upper and middle soil layer (0-60cm) has been selected and processed by geostatistical methods.

The Kriging interpolation procedure was selected, in order to generate maps of the heavy metal distribution and to estimate the values within un-sampled areas.

An overview of the spatial distribution of heavy metal contents and their relations is given by an experimental variogram. The parameters of the variogram and the selected model define the base for the actual estimation. With overlay techniques the heavy metal contents will be transferred to point data of infection by mistletoes. The result of these overlays supplies an estimated soil value to each hosting tree. With these information further statistical analysis can be performed (SPSS).

The correlation analysis derives a first trend of the correlation between the occurrence of mistletoe and the soil contamination

A final statement about its relationship will be available after acquiring additional data from the investigation area. The information content of additional soil samples and the complete mapping of mistletoe as well as further factors of influence can confirm or change the hypothesis.

At present the existing data do not show a significant correlation between contamination of the region and the observed occurrence of mistletoes. The usage of the mistletoe as bio-indicator for soil contaminations will be further investigated in a long-term study by the FAL. In order to improve the sampling of soil and mistletoe, soil contamination has been modelled for the complete area by geostatistics. The geostatistical evaluation method of rationalised variables has been tested on a selection of the available data.

The absence of local contaminated soil samples lead to the usage of existing information on the contamination by the regional counsel. The strong soil contamination in the investigated area is shown in the high loads of lead, cadmium and zinc. Based on different sampling

campaigns of the last years the heavy metal concentration for the upper and middle soil layer (0-60cm) has been selected and processed by geostatistical methods.

The Kriging interpolation procedure was selected, in order to generate maps of the heavy metal distribution and to estimate the values within un-sampled areas.

An overview of the spatial distribution of heavy metal contents and their relations is given by an experimental variogram. The parameters of the variogram and the selected model define the base for the actual estimation. With overlay techniques the heavy metal contents will be transferred to point data of infection by mistletoes. The result of these overlays supplies an estimated soil value to each hosting tree. With these information further statistical analysis can be performed (SPSS).

The correlation analysis derives a first trend of the correlation between the occurrence of mistletoe and the soil contamination

A final statement about its relationship will be available after acquiring additional data from the investigation area. The information content of additional soil samples and the complete mapping of mistletoe as well as further factors of influence can confirm or change the hypothesis.

At present the existing data do not show a significant correlation between contamination of the region and the observed occurrence of mistletoes. The usage of the mistletoe as bio-indicator for soil contaminations will be further investigated in a long-term study by the FAL.

7. Literatur

- ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung., Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (1997): DIN 18716-3, Photogrammetrie und Fernerkundung – Teil3: Begriffe der Fernerkundung
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (1997): DIN 5031-7, Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Benennung der Wellenlängenbereiche 2003
- DILLMANN, O.: Der Harz
<http://www.geodienst.de/harz.htm> (April 2004)
- DUCKECK, J.: Regionen in Deutschland - der Harz.
<http://www.showcaves.com/german/de/region/Harz.html> (April 2004)
- ELLENBERG, H. (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen – In ökologischer Sicht. Ulmer Verlag Stuttgart
- FACHHOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN, Staatl. Versuchsanstalt für Gartenbau: Die Veredlung, Kirschen und Misteln-ein Vergleich.
http://www.weihenstephan.de/ob/deutsch/forschung/kap6_14.htm (März 2004)
- FIETZ, M. (1992): Art- und schadensbedingtes Abbildungsverhalten von Berliner Straßenbäumen auf Colorinfrarot-Luftbildern. Diss. FU Berlin
- GÖBEL, T. (1970): Das Laubblatt der weissbeerigen Mistel. Elemente der Naturwissenschaft, Heft 1/12
- GOODCHILD, M. (1987): A spatial analytical perspective on geographical information systems. In: IJGIS Vol. 1, Nr. 4: 327-334
- HAHN, P. (2000): Die Mistel. in: Apoptoseinduzierende und antimutagene Wirkung von *Viscum album L.* auf humane Zellkulturen. Diss. Uni Kaiserslautern
- HEINRICH, U. (1994): Flächenschätzung mit geostatistischen Verfahren – Variogrammanalyse und Kriging. In: Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie, Vieweg Braunschweig/Wiesbaden
- HEMENWAY, D. (1989): GIS Observer. In: PERS Vol LV, No.4, p.402
- HILDEBRANDT, Gerd (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung. Wichmannverlag Heidelberg
- JANSSEN, T., WULFF, A. (1999): „Zur Bedeutung von Misteln im Forstschutz“, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für land- und Forstwirtschaft, Parey Buchverlag Berlin
- KNIPLING, E.B. (1970): Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment 1: 155-159
- KNOLLE, F. et al (1997): Der Harz – Geologische Exkursionen. Justus Perthes Verlag Gotha
- KNOLLE, F. Bodenschutz in Goslar (2004)
<http://www.bund-niedersachsen.de/kg/goslar/projekte/bodens.html> (Juni 2004)
- KRAUS, K., SCHNEIDER, W. (1988): Fernerkundung Band I – Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken. Dümmlers Verlag Bonn
- KUEHN, F. (et al.) (2000): Remote Sensing for Site Characterization. Methods in Environmental Geology, Springer Verlag Berlin Heidelberg

LANDKREIS GOSLAR (1999): Information zum Bodenschutz. Broschüre Information Bodenschutz

LK GOSLAR, Amt für Wasser- und Bodenschutz: Verordnung des Bodenplanungsgebietes Harz im Landkreis Goslar (2004).

<http://www.landkreis-goslar.de/Umwelt/Bodenschutz> (Juni 2004)

LÖFFLER, E. (1994): Geographie und Fernerkundung. Teubner Studienbücher Geographie, Stuttgart: Teubner

LOHRER, T. (1997): Mistel. Fachhochschule Weihenstephan, Staatl. Versuchsanstalt für Gartenbau, Institut für Botanik und Pflanzenschutz

MIN MIN: The effect of water and variety on nitrogen sensing of citrus leaves.(2004)

<http://www.agen.ufl.edu/~wlee/Publications/ASAE-041080-NoCoverPage.pdf> (August 2004)

NIERHAUS-WUNDERWALD, D., LAWRENZ, P. (1997): Zur Biologie der Mistel. Merkblatt für die Praxis, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

OVERSTOLZ, A. Hrsg. (2000): Iscador – Mistelpräparate aus der anthroposophisch erweiterten Krebsbehandlung. Verlag für Ganzheitsmedizin Basel.

PADEKEN, K. (1998): Schwermetallaufnahme verschiedener Pflanzenarten unter besonderer Berücksichtigung der N- und P-Ernährung. Wiss. Mittl. der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode 182

PILLMANN, W., KELLNER, K.: Messflug Wien 2000.

<http://www.wien.gv.at/ma22/pool/doc/biotopmonitoring1-19.pdf> (Mai 2004)

SCHAFMEISTER, M.-Th, (1999): Geostatistik für die hydrogeologische Praxis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

SCHREI, J., WIMMER, W. (1998): Die Laubholzmistel *Viscum album* L. ssp. *album* im Salzgitter-Gebiet, Niedersachsen. Braunschw. Naturkundl. Schriften 5, Heft 3 Braunschweig

Stadtgeschichte Goslar.

<http://www.goslar.de/tourismus.htm> (März 2004)

STECH, C.: Einführung in die Fernerkundung

http://www.uni-kiel.de/ewf/geographie/forum/unterric/material/einf_fe/ (Mai 2004)

STOPP, F. (1961): Unsere Misteln. A.Ziensen-Verlag Wittenberg Lutherstadt

TUBEUF, K.v. (1923): Monographie der Mistel. Oldenbourg Verlag München

WACKERNAGEL, H. (1998): Multivariate Geostatistics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York;

8. Anhang

Tabelle mit Kartierungsergebnissen und geschätzten Bodenwerten

ID	PKT	BEMERKUNG	WIRT	KLASSE	PRED_ZINK	PRED_CADMIUM	PRED_BLEI	BEFALL
1	446	Ramm_Haus_2	Acer platanoides	stark	1661,6878	6,3394	2653,8849	5
2	445	Ramm_Haus_1	Acer platanoides	mittel	1673,3876	6,4121	2666,6844	3
3	447	Ramm_Haus_3	Acer platanoides	sehr gering	1669,8432	6,3173	2654,6366	1
4	449	Ramm_Haus_5	Acer platanoides	stark	1669,0653	6,2296	2636,2632	5
5	450	Ramm_Haus_6	Acer platanoides	stark	1655,9030	6,1616	2622,1115	5
6	451	Ramm_Haus_7	Acer platanoides	mittel	1643,2637	6,2201	2616,6045	3
7	452	Ramm_Haus_8	Acer platanoides	mittel	1642,5726	6,1621	2606,0956	3
8	453	Ramm_Haus_9	Acer platanoides	sehr stark	1629,8789	6,0648	2598,3213	6
9	448	Ramm_Haus_4	Acer platanoides	sehr gering	1667,5506	6,2979	2643,5160	1
10	454	Ramm_Haus_10	Acer platanoides	sehr stark	1623,9253	6,0047	2582,8709	6
12	455	Ramm_Haus_11	Acer platanoides	gering	1607,4618	5,9797	2562,9483	2
15	461	Ramm_Haus_17	Acer platanoides	gering	1497,5314	5,7725	2620,6738	2
17	460	Ramm_Haus_16	Acer platanoides	gering	1515,5591	5,8137	2629,4009	2
19	462	Ramm_Haus_18	Acer platanoides	gering	1481,8774	5,7094	2582,3899	2
20	463	Ramm_Haus_19	Acer platanoides	gering	1454,4851	5,6738	2579,9968	2
21	464	Ramm_Haus_20	Acer platanoides	sehr gering	1431,4783	5,5861	2521,4846	1
22	465	Ramm_Haus_21	Crataegus sp.	sehr gering	1534,5672	5,7182	2419,2887	1
23	466	Ramm_Haus_22	Robinia pseudacacia	gering	1506,5274	5,6379	2371,9692	2
24	367	Klostergut_1	Acer platanoides	sehr stark	1742,7563	9,0069	1439,3631	6
25	368	Klostergut_2	Acer platanoides	stark	1738,7745	8,9695	1426,6004	5
26	369	Klostergut_3	Acer platanoides	stark	1736,0774	8,9468	1409,0639	5
27	370	Klostergut_4	Acer platanoides	mittel	1732,4656	8,9179	1395,2774	3
28	371	Klostergut_5	Acer platanoides	gering	1726,1278	8,8684	1378,6213	2
29	372	Klostergut_6	Acer platanoides	gering	1722,2439	8,8434	1364,0143	2
30	373	Klostergut_7	Acer platanoides	sehr gering	1716,4406	8,8026	1350,3586	1
31	374	Klostergut_8	Acer platanoides	mittel	1711,8294	8,8378	1336,4867	3
32	375	Klostergut_9	Acer platanoides	sehr gering	1703,8448	8,7914	1315,9017	1
33	377	Klostergut_11	Acer platanoides	mittel-stark	1706,3024	8,6766	1272,2846	4
34	376	Klostergut_10	Acer platanoides	gering	1695,7508	8,7519	1292,8427	2
35	378	Klostergut_12	Acer platanoides	stark	1701,2981	8,6680	1255,7286	5
36	381	Klostergut_15	Acer platanoides	mittel	1659,2868	8,4353	1182,4655	3
38	379	Klostergut_13	Acer platanoides	mittel-stark	1685,9657	8,6042	1226,1297	4
39	382	Klostergut_16	Acer platanoides	gering	1595,7463	8,3647	1144,0077	2
40	383	Klostergut_17	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1566,0974	8,5563	994,7672	3
41	384	Klostergut_18	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1547,8721	8,6068	954,8596	3
42	385	Klostergut_19	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1533,4856	8,6938	936,0044	3
43	387	Klostergut_21	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1533,5543	8,7840	921,3575	3
44	386	Klostergut_20	Populus sp. (x hybrida)	stark	1530,2682	8,7284	925,0359	5
45	388	Klostergut_22	Populus sp. (x hybrida)	gering	1528,1401	8,7955	911,5147	2
47	389	Klostergut_23	Populus sp. (x	stark	1528,0595	8,8260	907,0574	5

			hybrida)					
49	393	Klostergut_27	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1485,0242	9,0943	873,9197	3
51	391	Klostergut_25	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1507,0319	9,0025	880,1848	3
52	96	o. Photo	Tilia platyphyllos	mittel	2966,1512	11,6470	1929,4885	3
53	97	Krappitzer_8	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	4953,1629	14,2946	2640,0525	6
54	98	Krappitzer_7	Sorbus aucuparia	mittel	4518,1098	13,9209	2749,2248	3
55	99	Altdammer_2	Robinia pseudacacia	mittel	5039,5399	15,6417	2695,8097	3
56	100	Altdammer_2	Robinia pseudacacia	mittel	4940,2437	15,4162	2709,3916	3
57	101	Altdammer_1	Tilia platyphyllos	mittel	4900,3401	15,4593	2683,1840	3
58	102	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	gering	3410,9282	12,6750	1757,9758	2
59	103	Wolfenb ³ ttler_5	Sorbus aucuparia	stark	4821,5815	15,3219	2648,2636	5
60	104	Wolfenb ³ ttler_6	Sorbus aucuparia	sehr stark	5553,7516	16,1030	2833,8328	6
61	105	Wolfenb ³ ttler_3	Sorbus aucuparia	mittel	7230,4043	17,4590	3767,1483	3
62	106	Wolfenb ³ ttler_3	Sorbus aucuparia	stark	7207,3386	17,5264	3814,3662	5
63	107	Wolfenb ³ ttler_4	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	8518,7182	18,7003	4267,9813	6
64	108	Krappitzer_9	Sorbus aucuparia	gering	6734,2206	16,6110	3447,1765	2
65	109	Krappitzer_1	Sorbus aucuparia	stark	5330,9825	14,5887	2884,6929	5
66	110	Krappitzer_2	Sorbus aucuparia	sehr stark	4844,8905	13,9464	2817,1963	6
67	111	o. Photo	Sorbus aucuparia	mittel	4766,2197	13,7794	2816,2297	3
68	112	Krappitzer_5	Populus sp. (x hybrida)	stark	5077,3232	13,9919	2861,7932	5
69	113	Krappitzer_6	Populus sp. (x hybrida)	mittel	4661,0922	13,4642	2914,9876	3
70	114	Krappitzer_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	4399,3235	13,1028	3010,3837	4
71	115	Krappitzer_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	4335,0157	12,9886	2992,2329	4
72	116	Krappitzer_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	4505,2322	13,1852	2985,6275	4
73	117	Krappitzer_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	4185,9402	12,8285	2917,9332	4
74	118	Krappitzer_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	3689,2446	13,3240	3023,8305	4
75	119	Krappitzer_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	3891,8989	13,2806	3007,8867	4
76	120	Krappitzer_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	3990,7190	12,6167	2975,2686	4
77	121	Krappitzer_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	4096,6125	12,7392	2957,3845	4
78	122	Krappitzer_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	4089,3851	12,7146	2939,3214	4
79	123	o. Photo	Sorbus aucuparia	stark	5772,4069	15,5910	3328,0661	5
80	124	Schwarzer_Weg_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	9495,6949	24,6650	5252,3890	2
81	125	Schwarzer_Weg_1	Sorbus aucuparia	gering	7141,0697	18,2962	3892,3808	2
82	126	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	gering	10210,9988	27,6383	5119,0428	2
83	127	o. Photo	Sorbus aucuparia	stark	5326,2772	24,5843	2051,4622	5
84	128	o. Photo	Sorbus aucuparia	mittel-stark	4846,8038	24,5577	1759,0374	4
85	129	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	4803,4641	17,8425	2358,5167	3
86	130	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	stark	4920,9992	18,2463	2422,7645	5
87	131	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	8172,3836	25,3491	4161,9618	4

88	132	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittelstark	8324,2818	25,4255	4275,7640	4
89	133	o. Photo	Sorbus aucuparia	gering	6293,1340	23,9839	2983,4074	2
90	134	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	gering	4796,2584	23,5298	2000,0778	2
91	135	o. Photo	Tilia platyphyllos	gering	3229,4424	19,2931	1037,1041	2
92	136	Galgheitstr_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	3094,3249	12,6345	1457,8247	2
93	137	Galgheitstr_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	2763,4928	11,9075	1359,0402	2
94	138	Galgheitstr_3	Populus sp. (x hybrida)	gering	2863,1308	12,1687	1400,3570	2
95	139	Galgheitstr_1	Populus sp. (x hybrida)	gering	3210,8362	13,0532	1503,5125	2
96	140	Galgheitstr_1	Populus sp. (x hybrida)	mittel	3257,6062	13,3276	1519,5648	3
97	141	Galgheitstr_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	3037,8589	12,4510	1435,5223	2
98	142	Glagheitstr_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	3132,8458	12,7420	1473,6412	2
99	143	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	15341,4509	24,3575	7963,1082	3
100	144	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	15644,4408	23,8899	7965,9940	3
101	145	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	15206,1352	23,8362	7546,7795	3
102	146	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	14840,4969	23,8382	7196,3693	3
103	147	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	14659,7912	21,0073	6862,1172	3
104	148	Kielsche_Str_1	Populus sp. (x hybrida)	gering	11967,7320	20,5817	3233,3746	2
105	150	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	gering	10964,2897	9,8671	5070,8488	2
108	468	Rammelsberg	Populus sp. (x hybrida)	sehr gering	1271,8426	5,9508	2696,2055	1
109	469	Rammelsberg	Acer platanoides	gering	1605,1198	6,3466	2572,1694	2
110	12	Erlenweg	Malus sp.	sehr stark	1487,5814	7,6682	1220,0795	6
111	14	Holunderweg	Sorbus aucuparia	gering	1735,6979	9,4341	2115,4912	2
112	9	Nussanger_1	Tilia platyphyllos	sehr gering	1196,7844	6,4359	991,4386	1
113	1000	Vienenburger	Populus sp. (x hybrida)	sehr gering	696,2634	1,7377	292,6988	1
114	320	Gelmke_1	Populus sp. (x hybrida)	gering	1311,2382	15,3920	538,3881	2
115	16	Ginsterb_5	Populus sp. (x hybrida)	gering	1867,7663	9,7921	2238,6256	2
116	327	Forstw_5	Populus sp. (x hybrida)	gering	1130,4205	12,6437	552,9168	2
117	351	Viehweide	Populus sp. (x hybrida)	gering	1212,2109	23,0275	657,8311	2
118	348	Kaltenf	Populus sp. (x hybrida)	stark	1191,0043	10,9400	240,1065	5
119	260	Zinkh.	Populus sp. (x hybrida)	gering	6403,0509	23,1489	1576,1340	2
120	262	SportpO_1	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	2540,0010	20,2893	1195,6560	6
121	251	Wohnhaus	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	3124,9157	26,1423	1988,7856	6
122	256	Obst_1	Acer sp.	mittel	3336,3133	31,6885	3364,9788	3
123	257	Bildungswerk	Populus sp. (x hybrida)	mittelstark	3547,0487	33,7001	3412,1612	4
124	258	Bleih ³ te_6	Salix sp.	mittel	3657,9027	29,2776	3060,1865	3
125	275	MessingStr_4	Acer platanoides	sehr stark	3328,9985	19,2063	2384,6239	6
126	276	Obst_3	Malus sp.	sehr stark	1327,5535	15,8295	749,0812	6

127	278	SPO_2	Malus sp.	sehr stark	4023,6484	23,2870	4813,6023	6
128	1000	Steinfeld	Populus sp. (x hybrida)	stark	696,2634	1,7377	292,6988	5
129	34	Petersberg_3	Crataegus sp.	gering	1091,7689	7,3775	849,4817	2
130	470	Ringstr.	Acer sp.	sehr gering	1360,1450	8,4772	1596,2648	1
131	1000	Immenröder	Tilia platyphyllos	mittelstark	696,2634	1,7377	292,6988	4
132	1	Gutenberg	Populus sp. (x hybrida)	stark	1463,5658	4,7289	1168,9546	5
133	277	SPO_1	Tilia platyphyllos	mittel	3747,5745	22,8501	4255,3658	3
134	288	SPO_7	Tilia platyphyllos	gering	4183,2194	22,2242	4900,7357	2
135	293	SPO_8	Acer sp.	stark	4326,8817	19,9188	4736,5603	5
136	298	SPO_16	Sorbus aucuparia	mittel	5130,4766	14,2847	3823,5504	3
137	1000	Steinfeld	Acer sp.	mittel	696,2634	1,7377	292,6988	3
138	297	SPO_13	Acer platanoides	gering	4914,7864	15,7051	4173,3023	2
139	1000	Immenröder	Populus sp. (x hybrida)	gering	696,2634	1,7377	292,6988	2
140	37	Petersberg_5	Sorbus aucuparia	gering	1147,0354	7,5724	1044,0855	2
141	35	Petersberg_4	Crataegus sp.	stark	1116,2402	7,5836	947,4502	5
142	471	Ringstr.	Tilia platyphyllos	sehr stark	1318,1933	8,7483	1609,0194	6
143	472	Ringstr.	Populus sp. (x hybrida)	stark	1334,6933	8,7415	1606,1325	5
144	287	SPO_6	Acer platanoides	gering	4012,9343	22,4194	4510,6670	2
145	295	SPO_11	Acer sp.	stark	4414,4689	20,1272	4811,6365	5
146	259	Bleihütte_6	Salix sp.	mittel	3563,5796	28,7930	2930,2567	3
147	252	Bleihütte_2	Sorbus aucuparia	stark	2954,6192	24,3881	1707,7813	5
148	266	Messingstr_1	Acer platanoides	sehr stark	3686,6900	20,5163	2516,2544	6
149	267	Messingstr_1	Acer platanoides	sehr stark	3647,8174	20,2396	2378,9659	6
150	10	Nussanger_2	Tilia platyphyllos	gering	1248,6794	6,7353	1038,8189	2
151	11	Weidenanger	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1320,5704	7,6246	1117,2143	3
152	13	Kirschweg	Tilia platyphyllos	gering	1383,4947	7,2030	1339,3065	2
153	26	Ginsterb_1	Populus sp. (x hybrida)	stark	1594,4848	9,1438	2007,4373	5
154	25	Ginsterb_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1609,6530	9,1733	2065,0533	3
155	27	Ginsterb_2	Salix sp.	mittel	1609,4382	9,5527	2142,3611	3
156	28	Ginsterb_2	Betula sp.	gering	1608,3039	9,3431	2083,6354	2
157	17	Ginsterb_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1642,8315	9,2780	2149,7412	3
158	18	Ginsterb_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1649,1721	9,3918	2200,1982	3
159	19	Ginsterb_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1655,4426	9,4648	2224,9191	3
160	20	Ginsterb_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1739,8284	9,6442	2381,8617	3
161	21	Ginsterb_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1727,0484	9,6171	2378,3356	3
162	22	Ginsterb_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1712,7861	9,5909	2361,1423	3
163	23	Ginsterb_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1694,8809	9,5328	2325,6963	3
164	24	Ginsterb_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1673,5291	9,4493	2277,4484	3
165	15	Ginsterb_5	Populus sp. (x hybrida)	gering	1911,1369	9,7019	2230,0005	2
166	29	Ginsterb_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	1595,4635	9,6724	2066,6676	2
167	30	Im_schleke_1	Populus sp. (x hybrida)	stark	1897,4573	8,9374	2511,5371	5

168	2	Gutenberg	Populus sp. (x hybrida)	stark	1484,2069	4,7762	1195,9800	5
169	3	Gutenberg	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1445,3403	4,7184	1165,5431	3
170	4	Gutenberg	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1447,9844	4,6979	1123,0730	3
171	5	Bauhof_2	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1691,7274	4,3905	1154,6397	3
172	6	Bauhof_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1756,6549	4,8248	1372,5693	3
173	7	Bauhof_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1775,1407	5,1037	1512,5391	3
174	8	Bauhof_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1791,4614	5,5383	1546,8600	3
175	32	Petersberg_1	Tilia platyphyllos	gering	1138,8423	7,6685	833,8505	2
176	33	Petersberg_2	Tilia platyphyllos	gering	1099,7783	7,6857	731,6759	2
177	36	Petersberg_4	Crataegus sp.	stark	1111,6967	7,5766	913,3532	5
178	31	Osterfeld	Tilia platyphyllos	gering	1204,3209	5,2804	1056,3897	2
179	42	Sch ³ tzenallee_3	Populus sp. (x hybrida)	gering	910,1582	9,9900	959,0830	2
180	38	Sch ³ tzenallee_1	Populus sp. (x hybrida)	mittel	907,3396	7,7765	783,6113	3
181	39	Sch ³ tzenallee_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	912,0587	8,0124	803,9122	2
182	40	Sch ³ tzenallee_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	904,8651	9,0109	873,0736	2
183	41	Sch ³ tzenallee_3	Populus sp. (x hybrida)	gering	905,5390	9,1577	881,8045	2
184	43	Sch ³ tzenallee_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	933,8882	11,8100	1005,8320	2
185	44	Sch ³ tzenallee_5	Populus sp. (x hybrida)	gering	939,0574	12,0227	1014,5378	2
186	45	Sch ³ tzenallee_6	Populus sp. (x hybrida)	mittel	993,9059	11,9990	889,1352	3
187	47	Sch ³ tzenallee_9	Acer platanoides	mittel	1068,0211	13,0078	946,0723	3
188	48	Sch ³ tzenallee_10	Sorbus aucuparia	mittel	1083,5809	13,0940	945,4110	3
189	46	Sch ³ tzenallee_8	Acer platanoides	gering	1028,8975	12,7226	995,4199	2
190	49	Bergdorfstr	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1221,2031	10,4315	2399,8538	6
191	50	Bergdorfstr	Populus sp. (x hybrida)	stark	1220,5613	10,4091	2379,2109	5
192	51	Bergdorfstr	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1217,2825	10,1792	2392,0636	6
193	52	Bergdorfstr	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1212,5281	10,1533	2403,8481	6
194	53	Bergdorfstr	Populus sp. (x hybrida)	stark	1206,2367	10,5516	2417,5524	5
195	54	Breiter_Weg_1	Tilia platyphyllos	mittel	1428,4584	8,0497	1591,2347	3
196	55	Breiter_Weg_2	Acer platanoides	gering	1588,2385	7,3278	2072,0237	2
197	56	Breiter_Weg_2	Acer platanoides	gering	1581,1266	7,3418	1972,3851	2
198	57	KarstenBalder_1	Salix sp.	gering	1143,0167	13,3881	943,6260	2
199	60	KarstenBalder_3	Populus tremula	mittel	991,1039	12,6665	1357,9944	3
200	58	KarstenBalder_2	Acer platanoides	mittel	985,8332	12,5973	1188,3466	3
201	59	KarstenBalder_2	Acer platanoides	stark	978,6431	12,5673	1200,9450	5
202	62	Wallstr_3	Robinia pseudacacia	mittel	1036,5138	12,4401	1581,3096	3
203	61	Wallstr_2	Acer sp.	gering	1068,1640	12,6783	1569,2456	2
204	63	o. Photo	Tilia platyphyllos	mittel	1534,9284	8,4893	2189,4904	3
205	67	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1804,9886	9,8590	1892,3042	3
206	65	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	gering	1662,3085	9,5626	1909,0331	2
207	66	o. Photo	Populus sp. (x	gering	1658,0990	9,5677	2007,0109	2

			hybrida)					
208	64	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1606,1778	9,0539	2196,1220	3
209	68	Schleeke_oker_1	Acer platanoides	mittel	1920,5203	9,2048	2484,2876	3
210	82	Audi_1	Tilia platyphyllos	mittel	1582,1741	9,9943	2011,0139	3
211	83	Audi_1	Tilia platyphyllos	mittel	1588,1252	10,0025	2032,4339	3
212	79	Audi_4	Sambucus nigra	stark	1644,1237	10,1546	2202,0925	5
213	77	Audi_6	Populus sp. (x hybrida)	stark	1716,8076	10,1080	2448,7809	5
214	78	Audi_5	Acer platanoides	stark	1672,0290	10,1175	2313,1034	5
215	80	Audi_3	Crataegus sp.	gering	1655,2033	10,0435	2248,7642	2
216	81	Audi_2	Acer platanoides	mittel	1663,0545	10,0672	2279,0664	3
217	84	schleeke_oker_4	Sorbus aucuparia	mittel	1516,6988	9,8148	1769,8967	3
218	85	schleeke_oker_2	Acer platanoides	gering	1334,6791	8,5564	1282,3878	2
219	75	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1727,4935	10,1288	2481,9833	3
220	76	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1729,7017	10,1418	2504,0321	3
221	69	Abzucht_1	Acer platanoides	stark	2038,5427	10,0216	2523,1411	5
222	71	Abzucht_1	Populus sp. (x hybrida)	stark	2014,2082	10,1208	2538,1370	5
223	72	Abzucht_1	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2020,1123	10,1247	2527,6993	3
224	73	Abzucht_1	Acer platanoides	stark	2026,4551	10,0694	2523,7215	5
225	74	Abzucht_2	Acer platanoides	stark	2024,9434	10,0393	2518,5466	5
226	70	Abzucht_1	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2043,5503	10,1066	2536,4702	3
227	86	Talstrasse_2	Sorbus aucuparia	gering	3611,9833	21,4960	3893,7342	2
228	87	Talstrasse_1	Populus sp. (x hybrida)	stark	3433,5294	23,3762	3920,2802	5
229	224	Wachter_Weg	Robinia pseudacacia	stark	1741,7386	2,3710	319,6796	5
230	226	Schiefer_Weg	Betula sp.	gering	1722,8764	2,3635	306,2986	2
231	225	Schiefer_Weg	Betula sp.	mittel	1747,2347	2,3559	308,0273	3
232	230	Reitstall_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2737,5615	1,7332	178,8790	3
233	227	Reitstall_1	Sorbus aucuparia	stark	833,8549	2,0780	215,2900	5
234	236	Hochgreve_1	Sorbus aucuparia	gering	1246,4286	3,6404	435,3176	2
235	238	Hochgreve_3	Acer platanoides	gering	1220,0530	3,6535	429,0921	2
236	237	Hochgreve_2	Acer platanoides	gering	1199,7130	3,6119	412,5962	2
237	241	Hochgreve_6	Malus sp.	stark	1347,6683	2,5359	310,2017	5
238	244	Hochgreve_9	Malus sp.	gering	1565,2397	2,1996	276,3688	2
239	242	Hochgreve_7	Malus sp.	gering	1767,2313	2,1636	273,4395	2
240	240	Hochgreve_5	Acer platanoides	stark	1779,1932	2,7538	413,7158	5
241	239	Hochgreve_4	Acer platanoides	stark	1783,9535	2,5756	372,6095	5
242	243	Hochgreve_8	Malus sp.	gering	1887,9720	2,2537	287,5345	2
243	93	Marienb_1	Sorbus aucuparia	gering	1178,2545	2,5738	279,5814	2
244	91	Reinkamp_3	Acer platanoides	gering	2457,1991	2,2343	367,2518	2
245	90	Reinkamp_2	Sorbus aucuparia	stark	2566,2738	2,2669	383,6962	5
246	92	Reinkamp_1	Sorbus aucuparia	gering	2498,8318	2,1028	379,5283	2
247	94	Marienb_2	Sorbus aucuparia	sehr stark	1404,8078	3,1323	386,6276	6
248	95	Marienb_3	Acer rubrum	sehr stark	1388,3758	3,1721	367,5840	6
249	249	Rodelbahn_1	Tilia platyphyllos	stark	663,1713	3,8610	501,4198	5
250	248	Rodelbahn_2	Tilia platyphyllos	mittel	679,9800	3,8170	491,8681	3
251	250	Rodelbahn_3	Malus sp.	stark	750,7070	3,8435	585,9511	5
252	347	Nonnenberg_2	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	790,0229	3,6191	719,2942	6
253	89	Ob_Trift_1	Tilia platyphyllos	sehr stark	814,6812	4,5075	616,7112	6

254	88	Ob_Trift_2	Acer rubrum	sehr stark	885,6340	4,5798	694,6238	6
255	245	Ob_Trift_3	Acer rubrum	gering	2424,8507	2,0656	334,6469	2
256	246	Ob_Trift_4	Tilia platyphyllos	gering	2365,2574	2,0456	346,1816	2
257	247	Ob_Trift_5	Robinia pseudacacia	gering	2212,8344	2,1959	367,4963	2
258	177	Mittelstr_3	Sorbus aucuparia	gering	3539,2824	1,7216	475,1411	2
259	175	Mittelstr_1	Sorbus aucuparia	stark	3593,8562	1,6951	482,8357	5
260	176	Mittelstr_2	Sorbus aucuparia	mittel	3609,7427	1,6947	485,1121	3
261	163	Hlg_grabe	Acer platanoides	stark	2127,0300	2,7894	571,2162	5
262	164	P_hlg_Grabe_1	Acer platanoides	stark	2319,8867	2,7476	605,7560	5
263	165	P_hlg_Grabe_2	Acer platanoides	sehr stark	2429,3971	2,7309	622,4831	6
264	168	P_Astfeld_3	Acer platanoides	gering	2751,4673	2,2971	498,3463	2
265	167	P_Astfeld_2	Acer platanoides	stark	2703,0893	2,3596	510,7578	5
266	166	P_Astfeld_1	Acer platanoides	mittel	2676,5082	2,3906	518,4394	3
267	169	P_Astfeld_4	Salix sp.	gering	2800,3947	2,2199	475,3041	2
268	170	P_Astfeld_5	Sorbus sp.	mittel	2849,2998	2,1943	462,3151	3
269	171	P_Astfeld_6	Salix sp.	gering	2860,0025	2,1500	447,5237	2
270	172	P_Astfeld_7	Salix sp.	sehr stark	2948,1680	2,0491	423,4350	6
271	173	P_Astfeld_8	Salix sp.	mittel-stark	2982,9769	2,0195	418,5962	4
272	174	P_Astfeld_9	Salix sp.	sehr stark	2998,9650	1,9798	412,0252	6
273	160	Klubgart_1	Tilia platyphyllos	gering	2349,3364	5,1252	1552,7835	2
274	161	Klubgart_2	Tilia platyphyllos	mittel	2323,5566	5,1763	1798,7911	3
275	162	Klubgart_3	Tilia platyphyllos	gering	1966,4702	4,7464	1468,3516	2
276	156	Kloster_1	Tilia platyphyllos	sehr stark	1354,5056	8,5858	1076,8732	6
277	159	Reuss_str_1	Tilia platyphyllos	sehr stark	1429,7128	8,8394	1174,7551	6
278	158	Kloster_2	Acer platanoides	gering	1323,6139	8,4289	1055,2604	2
279	153	Bismarck_2	Tilia platyphyllos	gering	1585,1121	7,9347	1161,0881	2
280	154	Bismarck_1	Tilia platyphyllos	gering	1537,7763	8,3838	1017,7638	2
281	155	Bismarck_3	Tilia platyphyllos	gering	1492,7820	8,8586	1031,5702	2
282	157	Bismarck_3	Tilia platyphyllos	sehr stark	1458,2328	9,0035	1151,9251	6
283	223	o. Photo	Malus sp.	mittel-stark	1711,5315	7,8519	1381,0989	4
284	222	o. Photo	Malus sp.	gering	1496,7760	8,7731	1486,3712	2
285	221	o. Photo	Malus sp.	gering	1637,4950	8,3508	1432,1160	2
286	178	Brusttuch	Sorbus aucuparia	gering	1713,3070	9,1849	2539,1854	2
287	427	Bahngelönde	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1260,4882	5,9226	1274,8232	6
288	433	Bahngelönde	Populus sp. (x hybrida)	stark	917,8214	3,7923	601,4124	5
289	179	Frankbger_Kirche_1	Tilia platyphyllos	mittel	1365,9189	5,6123	2157,7017	3
290	180	Frankbger_Kirche_2	Tilia platyphyllos	gering	1347,2451	5,4909	2066,9712	2
291	182	H_d_Br³dern	Malus sp.	stark	1043,2450	5,9620	1868,1902	5
292	181	Wallgasse	Robinia pseudacacia	mittel	1086,7501	5,6405	1852,5665	3
293	183	Dr_Wiese_1	Tilia platyphyllos	sehr stark	963,2407	5,1341	1280,4838	6
294	187	Dr_Wiese_5	Tilia platyphyllos	mittel	878,8050	4,7831	954,4168	3
295	188	Dr_Wiese_6	Tilia platyphyllos	gering	846,7991	4,6725	850,1118	2
296	186	Dr_Wiese_4	Tilia platyphyllos	mittel	896,1944	4,8499	1016,5713	3
297	185	Dr_Wiese_3	Tilia platyphyllos	stark	908,3440	4,9057	1068,9919	5
298	184	Dr_Wiese_2	Tilia platyphyllos	stark	939,9397	5,0415	1195,2542	5
299	189	Wislicenus_1	Sorbus aucuparia	gering	996,6740	5,3525	1275,9037	2
300	190	Claustor_1	Tilia platyphyllos	mittel	1183,3749	5,3731	1289,9059	3
301	191	Schlueter_1	Tilia platyphyllos	gering	1207,0058	4,5787	847,2872	2
302	192	Schlueter_2	Tilia platyphyllos	gering	1226,2058	4,6662	919,6515	2
303	193	Claustor_3	Tilia platyphyllos	stark	1366,8755	5,5509	1443,9871	5

304	200	Claustor_2	Tilia platyphyllos	sehr gering	1388,6753	5,6930	1539,6527	1
305	194	Wislicenus_2	Acer pseudoplatanus	gering	1356,8026	4,3550	1021,7324	2
306	197	Wislicenus_5	Crataegus sp.	stark	1604,8814	3,8053	631,6672	5
307	196	Wislicenus_4	?? (tot)	sehr stark	1633,0940	3,9566	702,9317	6
308	195	Wislicenus_3	Acer rubrum	gering	1590,2960	3,6939	807,7850	2
309	199	Wislicenus_7	Malus sp.	sehr gering	1709,9229	4,0778	774,6106	1
310	198	Wislicenus_6	Malus sp.	gering	1728,4608	4,1189	796,1394	2
311	215	Kaiserpfalz	Tilia platyphyllos	gering	1384,7815	7,3808	1332,3232	2
312	214	Kaisergarten_2	Malus sp.	stark	1536,7109	7,8603	1484,3719	5
313	213	Kaisergarten_1	Malus sp.	gering	1539,1465	7,8599	1497,9665	2
314	216	P_Amsdorf	Sorbus aucuparia	mittel	1337,5803	4,8469	974,5949	3
315	217	Königstr	Aesculus sp.	gering	1354,4948	5,7505	1084,2641	2
316	219	o. Photo	Malus sp.	mittel-stark	1450,2173	7,5989	1950,5718	4
317	220	o. Photo	Malus sp.	gering	1456,8915	8,4630	2776,7776	2
318	218	Maurerstr	Malus sp.	gering	1907,0962	6,1235	1447,0593	2
319	201	P_Wasserloch_1	Acer pseudoplatanus	gering	1233,0683	3,6117	393,6990	2
320	202	P_Wasserloch_2	Acer platanoides	stark	1204,0417	3,6200	380,7648	5
321	204	P_Wasserloch_4	Robinia pseudacacia	mittel	1112,4341	3,7333	383,2858	3
322	203	P_Wasserloch_3	Acer platanoides	gering	1167,2606	3,6946	375,8810	2
323	205	Schöferwall_1	Malus sp.	stark	1196,7494	3,6041	373,4518	5
324	206	Schöferwall_2	Robinia pseudacacia	sehr stark	1425,7661	3,7973	584,4456	6
325	209	Schöferwall_3	Tilia platyphyllos	gering	1469,5814	3,9947	680,3314	2
326	207	Schöferwall_3	Tilia platyphyllos	mittel	1446,1773	3,8492	621,1189	3
327	208	Schöferwall_3	Tilia platyphyllos	stark	1458,3067	3,8813	653,3781	5
328	210	Reisecke_1	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1415,0441	4,0781	690,7725	3
329	211	Reisecke_2	Salix sp.	mittel	1413,4008	4,0392	670,6980	3
330	212	Reisecke_3	Acer pseudoplatanus	gering	1395,3411	4,0131	636,5551	2
331	229	Reitstall_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	2729,4914	1,8006	189,1664	2
332	235	Reitstall_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	2703,8075	1,7845	184,2884	2
333	231	Reitstall_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	2871,2056	1,7714	186,9115	2
334	232	Reitstall_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	2795,2740	1,7658	184,6465	2
335	233	Reitstall_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2769,8850	1,7490	181,9074	3
336	234	Reitstall_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2790,7667	1,7403	184,5410	3
337	228	Reitstall_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2769,5739	1,7355	179,6992	3
338	253	o. Photo	Populus sp. (x hybrida)	mittel	3051,3000	25,2380	1846,8833	3
339	254	Bleihütte_1	Populus sp. (x hybrida)	gering	3191,2114	25,9466	1965,1408	2
340	255	Bleihütte_3	Populus sp. (x hybrida)	gering	3223,9301	26,4689	2047,5605	2
341	261	Zinkh.	Populus sp. (x hybrida)	gering	6466,4637	22,6549	1808,7957	2
342	265	Obst_2	Malus sp.	sehr stark	3234,9810	20,1709	1784,4248	6
343	263	SportpO_2	Tilia platyphyllos	mittel	2327,9857	19,9690	1458,1807	3
344	264	SportpO_3	Tilia platyphyllos	mittel	2535,3510	19,8735	1349,1133	3

345	268	Messingstr_5	Crataegus sp.	gering	3100,1698	20,2368	2634,7993	2
346	269	Messingstr_2	Acer platanoides	gering	3091,0515	19,8573	2474,2013	2
347	270	Messingstr_3	Acer platanoides	gering	3093,0706	19,4448	2388,4741	2
348	271	Messingstr_6	Acer platanoides	mittel	3572,8563	20,9391	2424,5575	3
349	272	Messingstr_7	Populus sp. (x hybrida)	mittelstark	3519,3434	21,0783	2359,5076	4
350	273	Messingstr_8	Salix sp.	mittel	3402,6943	21,4422	2271,1476	3
351	274	Messingstr_9	Populus sp. (x hybrida)	gering	3354,3388	21,5399	2104,0780	2
352	299	SPO_15	Malus sp.	gering	5314,6988	15,6100	4518,8953	2
353	279	SPO_3	Tilia platyphyllos	mittel	3950,5814	22,2330	4397,5412	3
354	280	SPO_3	Tilia platyphyllos	stark	3984,6222	22,0572	4424,3505	5
355	283	SPO_4	Tilia platyphyllos	stark	4182,7476	21,5471	4605,8757	5
356	282	SPO_4	Tilia platyphyllos	stark	4238,8740	21,0522	4838,1849	5
357	284	SPO_4	Tilia platyphyllos	mittel	4240,6242	20,7687	4808,8859	3
358	281	SPO_4	Tilia platyphyllos	mittel	4275,3943	20,4332	4785,3216	3
359	286	SPO_5	Tilia platyphyllos	mittel	4113,8377	21,9630	4584,8012	3
360	285	SPO_5	Tilia platyphyllos	mittel	4079,0837	22,2763	4587,8337	3
361	289	SPO_7	Tilia platyphyllos	mittel	4151,4439	22,4081	4887,0728	3
362	290	SPO_7	Tilia platyphyllos	mittel	4201,2823	22,0271	4900,9680	3
363	291	Obst_4	Malus sp.	stark	4489,0743	20,8242	4991,1566	5
364	292	Obst_5	Malus sp.	mittel	4604,5462	20,3040	5023,6936	3
365	296	SPO_12	Sorbus aucuparia	gering	4520,7992	19,0161	4636,4955	2
366	294	SPO_10	Acer platanoides	mittel	4375,0718	19,8203	4672,7564	3
367	300	FHO_1	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1592,2562	11,4838	596,6566	6
368	301	FHO_1	Populus sp. (x hybrida)	stark	1609,6723	11,2092	588,8558	5
369	302	FHO_2	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1810,8638	11,4071	685,8850	3
370	303	FHO_3	Populus sp. (x hybrida)	gering	2068,5081	11,3445	762,1428	2
371	304	FHO_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2108,6810	10,5431	727,5205	3
372	305	FHO_3	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	2176,7626	10,6054	783,6222	6
373	306	FHO_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2278,7323	12,1241	891,0452	3
374	308	FHO_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2352,0361	11,9123	936,9274	3
375	310	FHO_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1747,5336	12,6060	673,7532	3
376	309	FHO_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1848,4759	13,1287	716,1853	3
377	307	FHO_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	2036,7286	13,8356	780,1462	3
378	313	FHO_6	Acer platanoides	gering	2435,3552	12,4503	973,1392	2
379	311	FHO_5	Acer platanoides	gering	2672,2573	14,1378	1075,9546	2
380	312	FHO_5	Acer platanoides	gering	2716,6248	13,8842	1107,8905	2
381	314	Gr_Horst_1	Acer sp.	sehr stark	1355,9389	23,4108	1162,2144	6
382	315	Gr_Horst_4	Populus sp. (x hybrida)	stark	1346,3809	22,6626	1180,8186	5
383	316	Gr_Horst_3	Acer sp.	stark	1480,3431	19,6554	1353,7030	5
384	317	Gr_Horst_3	Acer sp.	stark	1604,6925	20,1251	1574,4023	5
385	319	Gr_Horst_2	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1109,2448	19,8378	613,3277	6
386	318	Gr_Horst_2	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1143,3503	20,1679	570,4018	6
387	322	Gelmke_1	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1373,8392	14,3510	582,4141	3

388	321	Gelmke_1	Populus sp. (x hybrida)	gering	1348,2485	15,2178	576,3776	2
389	323	Gelmke_2	Malus sp.	gering	1119,5325	14,1700	526,0607	2
390	324	Forstw_3	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1027,2834	12,0220	652,9679	6
391	326	Forstw_4	Populus sp. (x hybrida)	stark	1174,9158	16,6997	602,6595	5
392	325	Forstw_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1075,9218	19,9689	646,4877	3
393	328	Forstw_1	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1094,1693	14,9625	500,3070	3
394	331	Frankenteich_3	Populus sp. (x hybrida)	stark	815,8103	3,9199	717,6407	5
395	332	Frankenteich_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	804,0998	3,8971	714,9580	3
396	333	Frankenteich_3	Populus sp. (x hybrida)	stark	798,0917	3,8801	718,2358	5
397	334	Frankenteich_3	Populus sp. (x hybrida)	stark	794,4276	3,8713	735,3633	5
398	330	Frankenteich_1	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	829,2686	3,9726	740,9615	6
399	329	Frankenteich_2	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	846,6565	4,0188	769,4297	6
400	346	Frankenteich_6	Populus sp. (x hybrida)	stark	878,3500	4,0979	832,4146	5
401	345	Frankenteich_6	Populus sp. (x hybrida)	stark	893,2389	4,1294	872,8549	5
402	344	Frankenteich_6	Populus sp. (x hybrida)	stark	909,1456	4,1577	915,6020	5
403	343	Frankenteich_6	Populus sp. (x hybrida)	stark	912,6395	4,1704	945,4838	5
404	342	Frankenteich_5	Populus sp. (x hybrida)	stark	919,2569	4,2271	1003,7927	5
405	341	Frankenteich_5	Populus sp. (x hybrida)	stark	906,7780	4,2124	1006,3798	5
406	340	Frankenteich_5	Populus sp. (x hybrida)	stark	890,8546	4,1915	999,7081	5
407	339	Frankenteich_5	Populus sp. (x hybrida)	stark	866,0997	4,1105	973,4854	5
408	336	Frankenteich_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	811,6651	3,9182	826,8608	3
409	337	Frankenteich_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	816,1429	3,9528	861,9175	3
410	338	Frankenteich_4	Populus sp. (x hybrida)	mittel	829,5181	4,0004	909,2201	3
411	335	Frankenteich_3	Populus sp. (x hybrida)	mittel	797,3543	3,8784	759,1716	3
412	349	Kaltenf	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1166,7681	10,3976	223,2915	3
413	350	Kaltenf	Populus sp. (x hybrida)	stark	1156,8770	10,0036	211,4680	5
414	352	Viehweide	Populus sp. (x hybrida)	gering	1190,8100	22,4635	642,1684	2
415	353	FriedH_1	Populus sp. (x hybrida)	gering	1159,3491	10,1259	185,6229	2
416	354	FriedH_1	Populus sp. (x hybrida)	gering	1163,4024	11,4179	216,0908	2
417	355	FriedH_1	Populus sp. (x hybrida)	gering	1183,4580	13,0309	256,9909	2
418	356	FriedH_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	1287,7323	21,1973	509,7134	2
419	357	FriedH_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	1225,5440	16,9694	361,1942	2
420	360	FriedH_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	1201,6884	12,1907	239,1429	2
421	361	FriedH_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	1211,5651	9,5848	174,8311	2

422	362	FriedH_4	Populus sp. (x hybrida)	gering	1199,3497	10,6984	200,2520	2
423	363	FriedH_5	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1240,6521	15,3325	336,2109	3
424	364	FriedH_6	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	1254,0676	17,4028	409,4412	4
425	358	FriedH_3	Populus sp. (x hybrida)	gering	1219,2764	15,9457	335,6999	2
426	359	FriedH_3	Populus sp. (x hybrida)	gering	1240,1376	17,5549	387,7463	2
427	365	FriedH_2	Populus sp. (x hybrida)	gering	1265,7956	19,2517	433,9404	2
428	366	FriedH_6	Populus sp. (x hybrida)	gering	1254,8973	20,2026	501,0194	2
429	149	Uferweg_1	Populus sp. (x hybrida)	mittel	18317,2161	22,5184	14336,4389	3
430	151	Uferweg_2	Populus sp. (x hybrida)	stark	19472,2058	20,9107	14736,9055	5
431	152	Uferweg_3	Populus sp. (x hybrida)	gering	20766,5329	21,4676	14238,4420	2
432	473	Ringstr/Osterfeld	Tilia platyphyllos	stark	1336,0825	3,8822	576,5549	5
433	474	Ringstr/Osterfeld	Acer pseudoplatanus	gering	1363,0921	3,8814	570,3598	2
434	475	Ringstr/Osterfeld	Acer platanoides	gering	1369,8609	3,9274	582,3521	2
435	476	Ringstr/Osterfeld	Acer platanoides	mittel	1377,9177	3,9533	598,5546	3
436	398	Gut	Populus sp. (x hybrida)	gering	1799,2639	9,0511	1564,7228	2
437	399	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1792,5149	9,0288	1573,0051	3
438	400	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1789,7802	9,0364	1588,6224	5
439	401	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1784,2672	9,0318	1604,5362	5
440	402	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1773,8935	9,1298	1636,0443	3
441	403	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1769,6127	9,1234	1645,9545	3
442	404	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1765,9735	9,1253	1657,3705	5
443	405	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1762,7958	9,1395	1671,8807	5
444	406	Gut	Populus sp. (x hybrida)	gering	1767,6148	9,1266	1680,3781	2
445	407	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1759,7010	9,0906	1689,0551	4
446	408	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1754,9227	9,1751	1731,7165	3
447	409	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1750,6826	9,2208	1765,2700	5
448	410	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1753,7973	9,0981	1771,3736	5
449	411	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1748,6939	9,0923	1863,3581	3
450	418	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1694,4919	9,1520	1978,4111	5
451	419	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1697,4337	9,1924	1987,2980	3
452	421	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1762,2308	9,6679	1940,2827	5
453	420	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1763,2704	9,6719	2026,1096	5
454	422	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1760,0120	9,8014	2209,5583	3
455	416	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	1729,6874	9,3029	1971,6898	4
456	415	Gut	Populus sp. (x	mittel-	1735,4364	9,1476	1913,9984	4

			hybrida)	stark				
457	414	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1740,5833	9,1791	1907,0263	3
458	417	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	1698,5402	9,3386	2004,9517	4
459	413	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel-stark	1752,8433	9,6165	1871,0070	4
460	412	Gut	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1750,2288	9,1659	1843,0772	3
461	423	Gut	Populus sp. (x hybrida)	stark	1734,8883	9,5280	2250,8960	5
462	397	Gutshaus	Populus sp. (x hybrida)	stark	1910,1765	9,3883	1392,5653	5
463	396	Gutshaus	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	1905,6438	9,3820	1393,1253	6
464	395	Gutshaus	Populus sp. (x hybrida)	stark	1897,7454	9,3193	1402,4442	5
465	426	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	stark	1272,4778	5,9946	1195,7159	5
466	425	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	mittel	1133,3537	5,3902	1014,0636	3
467	424	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	stark	1117,3722	4,9914	968,8549	5
468	428	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	stark	985,8886	4,2051	771,5056	5
469	429	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	sehr stark	975,2586	4,1550	755,6299	6
470	430	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	stark	963,3299	4,0828	727,9855	5
471	434	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	stark	965,3440	3,6633	571,7817	5
472	435	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	mittel	921,1977	3,5185	507,1163	3
473	438	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	mittel	863,8411	3,3963	452,9165	3
474	440	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	stark	847,5676	3,3826	431,0055	5
475	441	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	gering	945,2082	3,5325	430,4608	2
476	442	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	mittel	957,4200	3,5930	432,8845	3
477	444	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	gering	967,7719	3,4291	414,6181	2
478	443	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	gering	955,7396	3,4003	415,4254	2
479	431	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	mittel	929,3473	3,8274	638,1417	3
480	432	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	gering	1022,4998	3,6586	592,1080	2
481	436	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	mittel	941,7752	3,4543	518,4664	3
482	437	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	gering	920,5588	3,4177	503,9783	2
483	439	Altes Bahngelände	Populus sp. (x hybrida)	mittel	850,9048	3,2814	431,2625	3

Modellparameter der Methode Kriging

Blei

Selected Method: Ordinary Kriging
Output: Prediction Map

Number of datasets currently in use: 1

Number of Points: 421

Semivariogram/Covariance:
Model: 7163400*Gaussian(1500,1000,38,5)+4201500*Nugget
Error modeling:
Microstructure: 4201500 (100%)
Measurement error: 0 (0%)

Searching Neighborhood:
Neighbors to Include: 5 or at least 2 for each angular sector
Searching Ellipse:
Angle: 38,5
Major Semiaxis: 1500
Minor Semiaxis: 1000
Angular Sectors: 4

Cadmium

Selected Method: Ordinary Kriging
Output: Prediction Map

Number of datasets currently in use: 1

Number of Points: 421

Semivariogram/Covariance:
Model: 67,516*Spherical(1500,900,50,0)+39,228*Nugget
Error modeling:
Microstructure: 39,228 (100%)
Measurement error: 0 (0%)

Searching Neighborhood:
Neighbors to Include: 5 or at least 2 for each angular sector
Searching Ellipse:
Angle: 50
Major Semiaxis: 1500
Minor Semiaxis: 900
Angular Sectors: 4

Zink

Selected Method: Ordinary Kriging
Output: Prediction Map

Number of datasets currently in use: 1

Number of Points: 421

Semivariogram/Covariance:
Model: 1770800*Gaussian(1300,1000,25,0)+1,0368e7*Nugget
Error modeling:
Microstructure: 1,0368e7 (100%)
Measurement error: 0 (0%)

Searching Neighborhood:
Neighbors to Include: 5 or at least 2 for each angular sector
Searching Ellipse:
Angle: 25
Major Semiaxis: 1300
Minor Semiaxis: 1000
Angular Sectors: 4

Kalibrierungsdaten zu den panchromatischen Bildern 1:12000



DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD)

Kalibrierlaboratorium für die Meßgröße der geometrischen Optik
Calibration laboratory for measured quantities geometric optics

AKKREDITIERT DURCH DIE PHYSIKALISCH -TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB)



2984
 Luftbildes sw

0449
DKD-K-05202
97-01

Kalibrierschein
Calibration Certificate

Kalibrierzeichen
Calibration mark

Gegenstand <i>Object</i>	Aerial Survey Camera	Der Deutsche Kalibrierdienst ist Unterzeichner des multilateralen Übereinkommens der Western European Calibration Cooperation (WECC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine. Die Kalibrierung erfolgt auf der Grundlage des zwischen der Physikalisch-Technischer Bundesanstalt und dem Träger abgeschlossenen Vertrages. Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführbarkeit auf nationale Normale zu Darstellung der physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem internationalen Einheitensystem (SI). Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich. <i>The Deutscher Kalibrierdienst is signatory to the multilateral agreement of the Western European Calibration Cooperation (WECC) for the mutual recognition of calibration certificates.</i> <i>The calibration is performed according to the stipulations of the contract between the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the holder of the calibration laboratory.</i> <i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the physical units of measurement according to the International System of Units (SI). The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i>
Hersteller <i>Manufacturer</i>	Carl Zeiss D-73446 Oberkochen	
Typ <i>Type</i>	RMK TOP 30	
Fabrikate/Serien-Nr. <i>Serial number</i>	143 093	
Auftraggeber <i>Customer</i>	Terra Bildmeßflug GmbH Schumannstr. 21 71672 Marbach	
Auftragsnummer <i>Order No.</i>	659 1 5031	
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines <i>Number of pages of the certificate</i>	4	
Datum der Kalibrierung <i>Date of calibration</i>	15.01.97	

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the issuing laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel <i>Seal</i>	Datum <i>Date</i>	Leiter der Kalibrierstelle <i>Head of the calibration laboratory</i>	Bearbeiter <i>Person responsible</i>
	21.01.97	 Morgenbrod	 Müller

Carl Zeiss Servicebereich Qualität Meß-/Kalibrierzentrum 73446 Oberkochen	Telefon 07364-20-3731 Telefax 07364-20-4511 Telex 713751-55
--	---

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD)
Page 2 of certificate dated 21.01.97

0449

DKD-K-
05202

97-01

CAMERA TYPE: RMK TOP 30
LENS TYPE: TOPAR A3
MAX. APERTURE: F/5.6

SERIAL NO. 143093
SERIAL NO. 143120
NOM. FOCAL LENGTH: 305 MM

- 1) CALIBRATED FOCAL LENGTH = 305.024 MM
2) DISTORTION /0.001 MM, REFERRING TO P.P. OF SYMMETRY PPS

S/MM=	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
5	0	1	0	0	1	0	2	2	1	1	-1	-1	-3	-2	-2	3
6	0	0	0	0	0	0	2	3	2	2	1	-3	-3	-4	-2	3
7	0	-1	0	-1	1	1	2	1	2	2	1	-1	-1	-2	-2	3
8	0	-1	-1	0	1	0	1	2	2	0	-1	-1	-2	-1	-1	3
AV.	0	0	0	0	1	0	2	2	2	1	0	-1	-2	-2	-2	3

- 3) P.P. OF AUTOCOLLIMATION AND FIDUCIAL CENTRE, REFERRING TO PPS

P.P. OF AUTOCOLLIMATION PPA	X=	.012	Y=	-.009	MM
FIDUCIAL CENTRE FC	X=	.009	Y=	.006	MM
CORNER FIDUCIAL CENTRE FCC	X=	.009	Y=	.002	MM

- 4) FIDUCIAL MARKS, REFERRING TO PPS

X1=	113.001	X2=	-112.999	X3=	.011	X4=	.006	MM
Y1=	.008	Y2=	.003	Y3=	113.000	Y4=	-113.002	MM
DISTANCES		1-2=	226.000	3-4=		226.002	MM	
X5=	113.009	X6=	-112.997	X7=	-112.988	X8=	113.002	MM
Y5=	112.996	Y6=	-112.999	Y7=	113.003	Y8=	-112.995	MM

- 5) PHOTOGRAPHIC RESOLVING POWER, IN CYCLES PER MM
(AS PER DEFINITION, R. P. IS NOT A CALIBRATED DATUM)
AREA WEIGHTED AVERAGE RESOLUTION 97

FIELD ANGLE /DEG = 0 7 14 24

RADIAL LINES	116	115	100	84
TANGENTIAL LINES	116	114	97	86

FILM: KODAK PANATOMIC X 3412 SPEED 40 AFS
DEVELOPED IN GEVASET

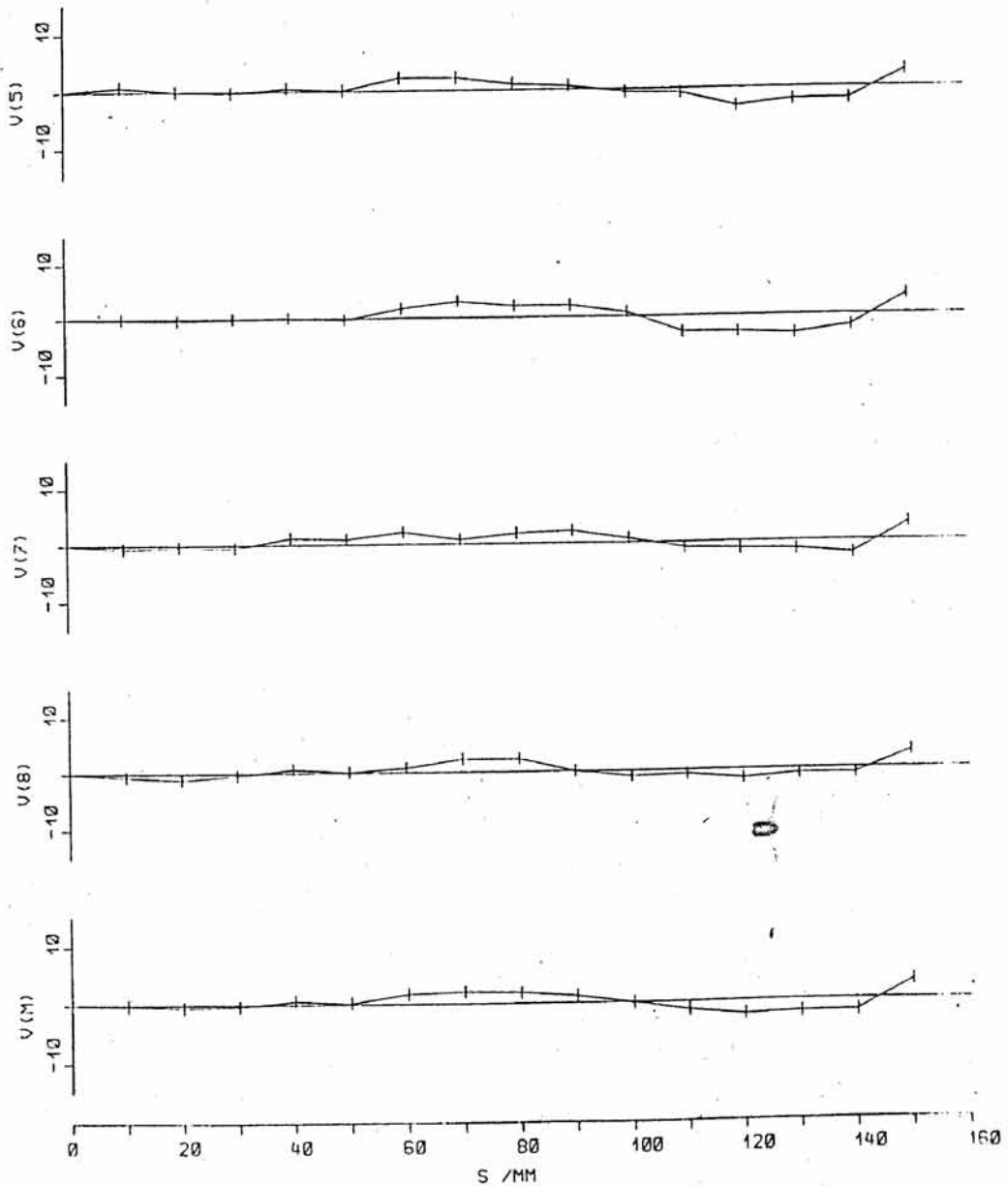
DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD)

Page 3 of certificate dated 21.01.97

0449
DKD-K-05202
97-01

RMK TOP 30 NO. 143093
TOPAR A3 5.6/305 NO. 143120
CFL=305.024 MM

DISTORTION /0.001 MM, REFERRING TO PPS



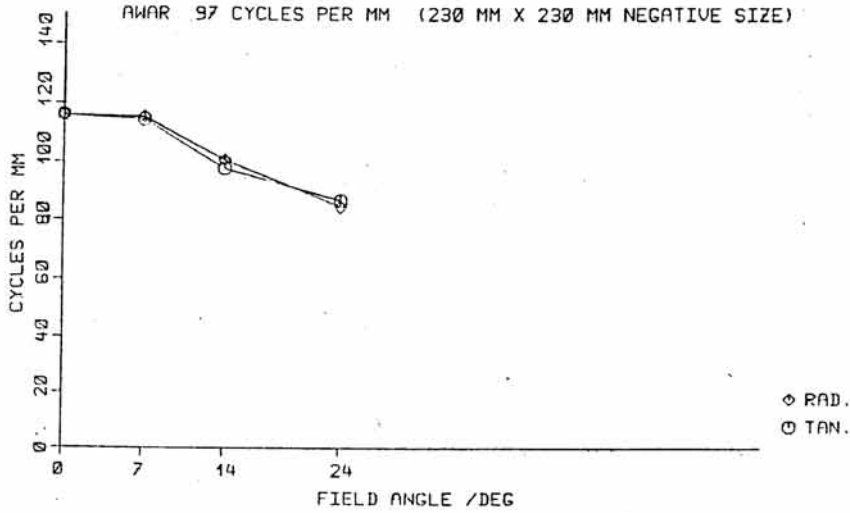
DEUTSCHER KALIBRIERDIENST (DKD)
Page 4 of certificate dated 21.01.97

0449
DKD-K-05202
97-01

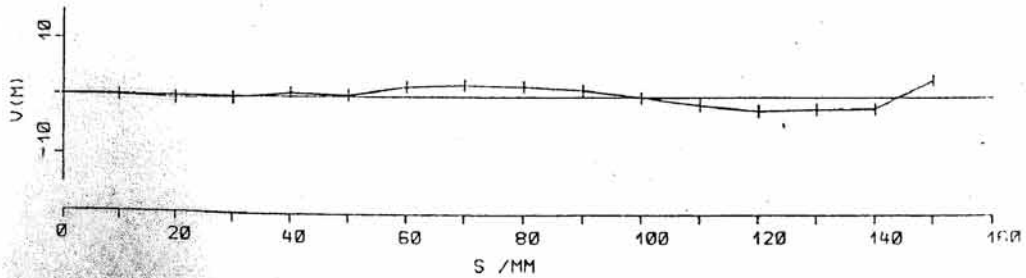
RMK TOP 30

NO. 143093

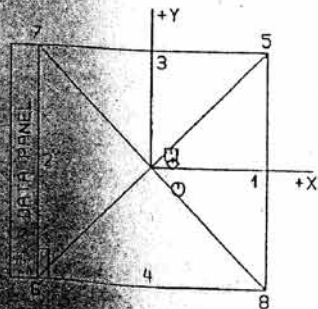
PHOTOGRAPHIC RESOLVING POWER



DEPARTURE OF AVERAGE DISTORTION FROM ZERO REFERENCE



PRINCIPAL POINT (PPA, PPS) AND FIDUCIAL CENTRE (FC)



COORDINATES, REFERRING TO PPS

	X /MM	Y /MM
○ PPA	0.012	-0.009
□ FC	0.009	0.006
◇ FCC (CORNER FIDUCIAL CENTRE)	0.009	0.002

0.01 MM, X-AXIS AS DEFINED BY FIDUCIAL MARK COORDINATES

$$\alpha(\theta) = \alpha(0) + 90^\circ$$

Modellparameter der Methode Kriging

Blei

Selected Method: Ordinary Kriging
Output: Prediction Map

Number of datasets currently in use: 1

Number of Points: 421

Semivariogram/Covariance:

Model: 7163400*Gaussian(1500,1000,38,5)+4201500*Nugget

Error modeling:

Microstructure: 4201500 (100%)

Measurement error: 0 (0%)

Searching Neighborhood:

Neighbors to Include: 5 or at least 2 for each angular sector

Searching Ellipse:

Angle: 38,5

Major Semiaxis: 1500

Minor Semiaxis: 1000

Angular Sectors: 4

Cadmium

Selected Method: Ordinary Kriging
Output: Prediction Map

Number of datasets currently in use: 1

Number of Points: 421

Semivariogram/Covariance:

Model: 67,516*Spherical(1500,900,50,0)+39,228*Nugget

Error modeling:

Microstructure: 39,228 (100%)

Measurement error: 0 (0%)

Searching Neighborhood:

Neighbors to Include: 5 or at least 2 for each angular sector

Searching Ellipse:

Angle: 50

Major Semiaxis: 1500

Minor Semiaxis: 900

Angular Sectors: 4

Zink

Selected Method: Ordinary Kriging
Output: Prediction Map

Number of datasets currently in use: 1

Number of Points: 421

Semivariogram/Covariance:

Model: 1770800*Gaussian(1300,1000,25,0)+1,0368e7*Nugget

Error modeling:

Microstructure: 1,0368e7 (100%)

Measurement error: 0 (0%)

Searching Neighborhood:

Neighbors to Include: 5 or at least 2 for each angular sector

Searching Ellipse:

Angle: 25

Major Semiaxis: 1300

Minor Semiaxis: 1000

Angular Sectors: 4