



Gumpenstein, 1. Oktober 2015

20. Alpenländisches Expertenforum



Spektrometrie

Moderne, nicht-invasive Erfassungstechnik von Pflanzenbeständen

Andreas Schaumberger und Jürgen Schellberg

HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Universität Bonn

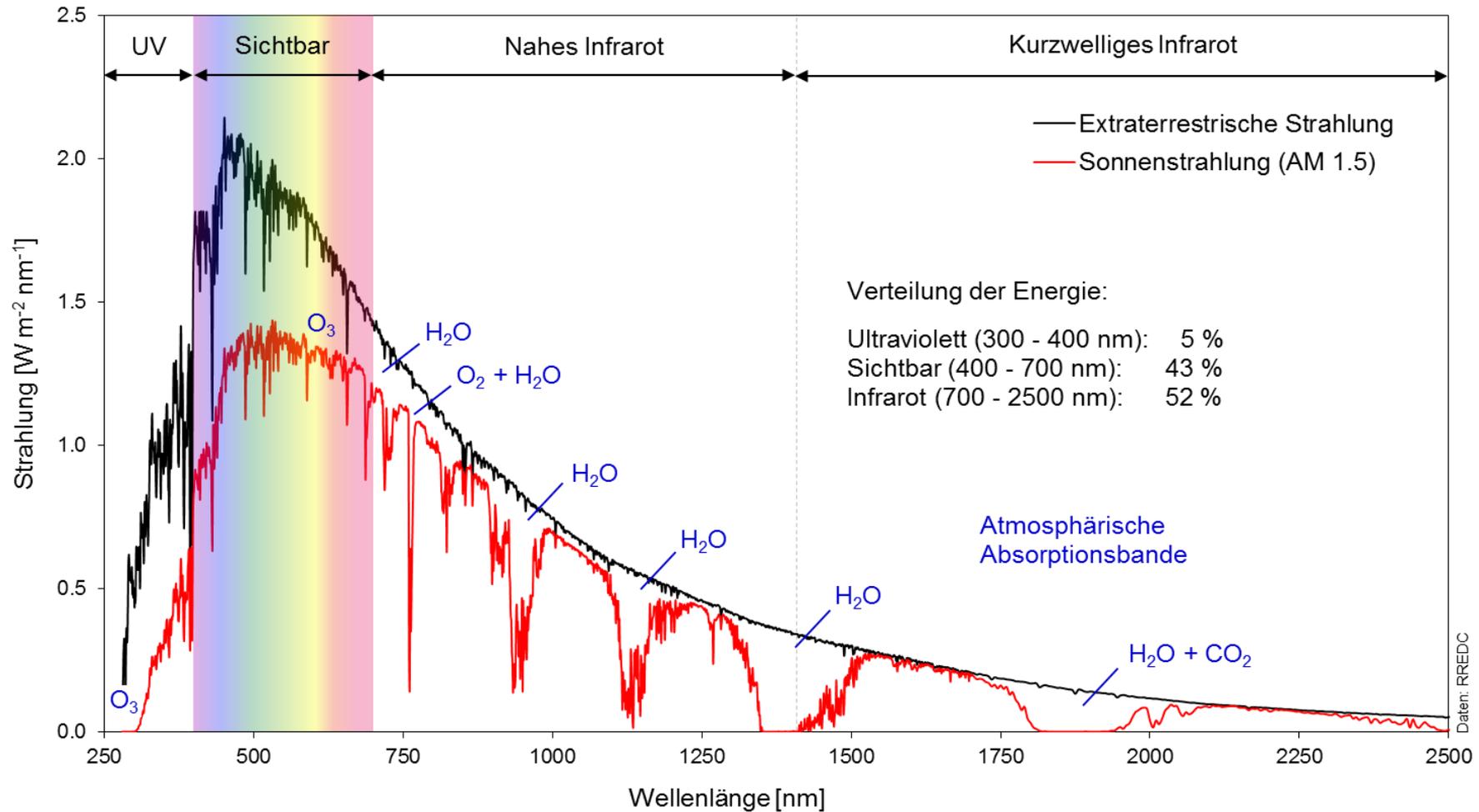


Schwerpunkte und Inhalt

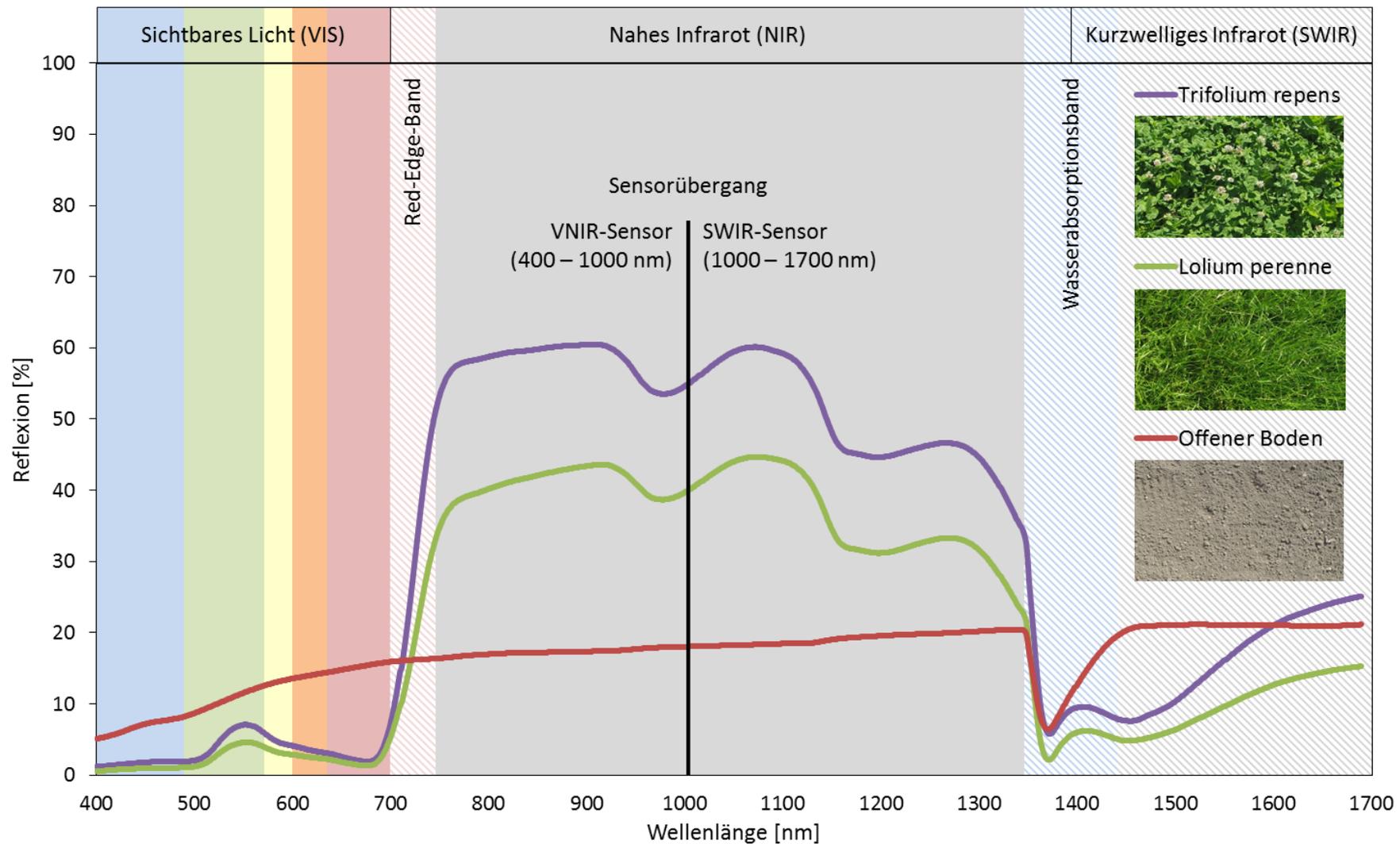
- Ausgewählte Grundlagen zur Spektroskopie
- Informationen aus Spektralsignaturen von Grünlandbeständen und Anwendungsbeispiele
- Feldspektroskopie an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein
- Datenmanagement und Verarbeitung von Spektren
- Perspektiven



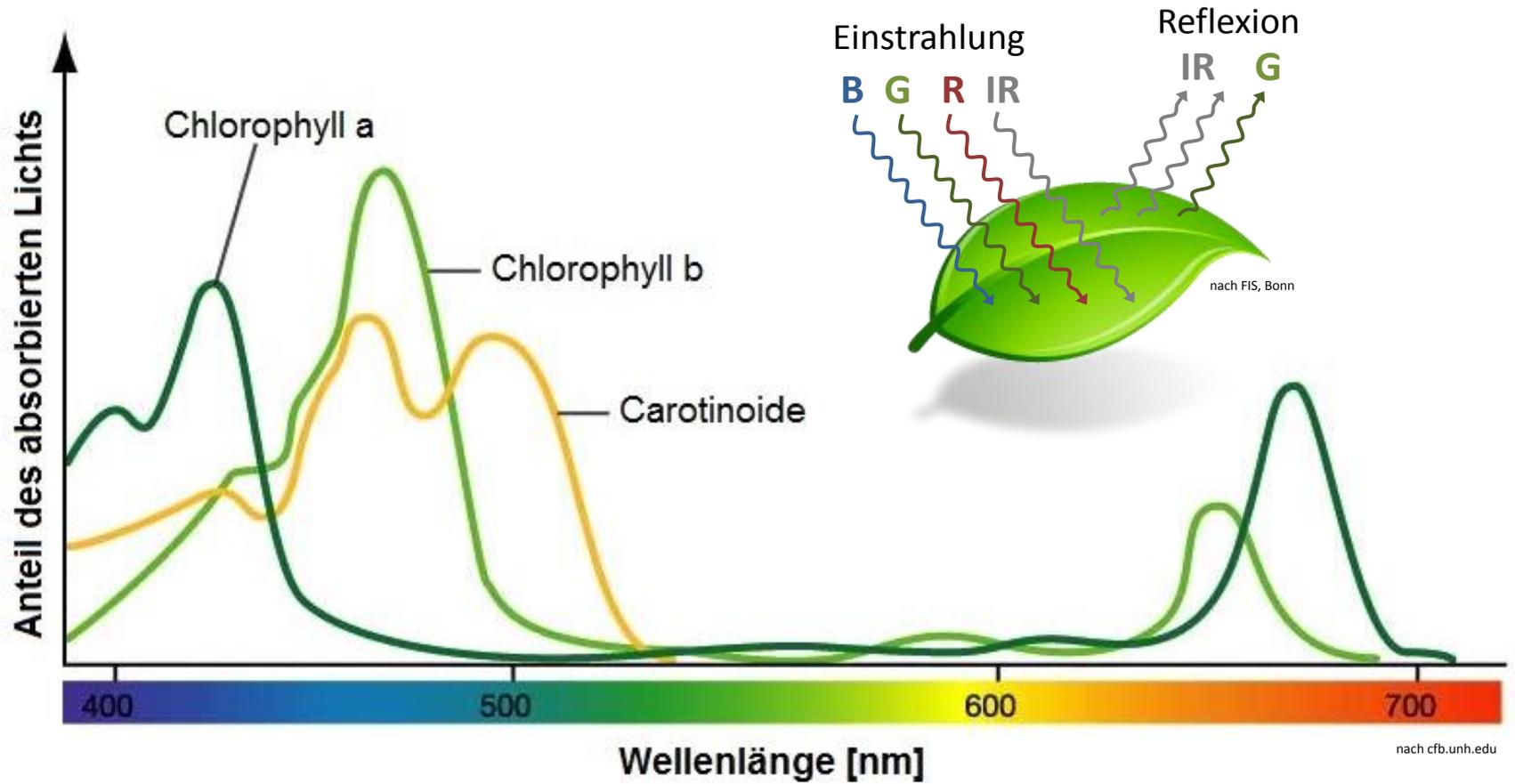
Grundlagen: Sonnenstrahlung und atmosphärische Absorption



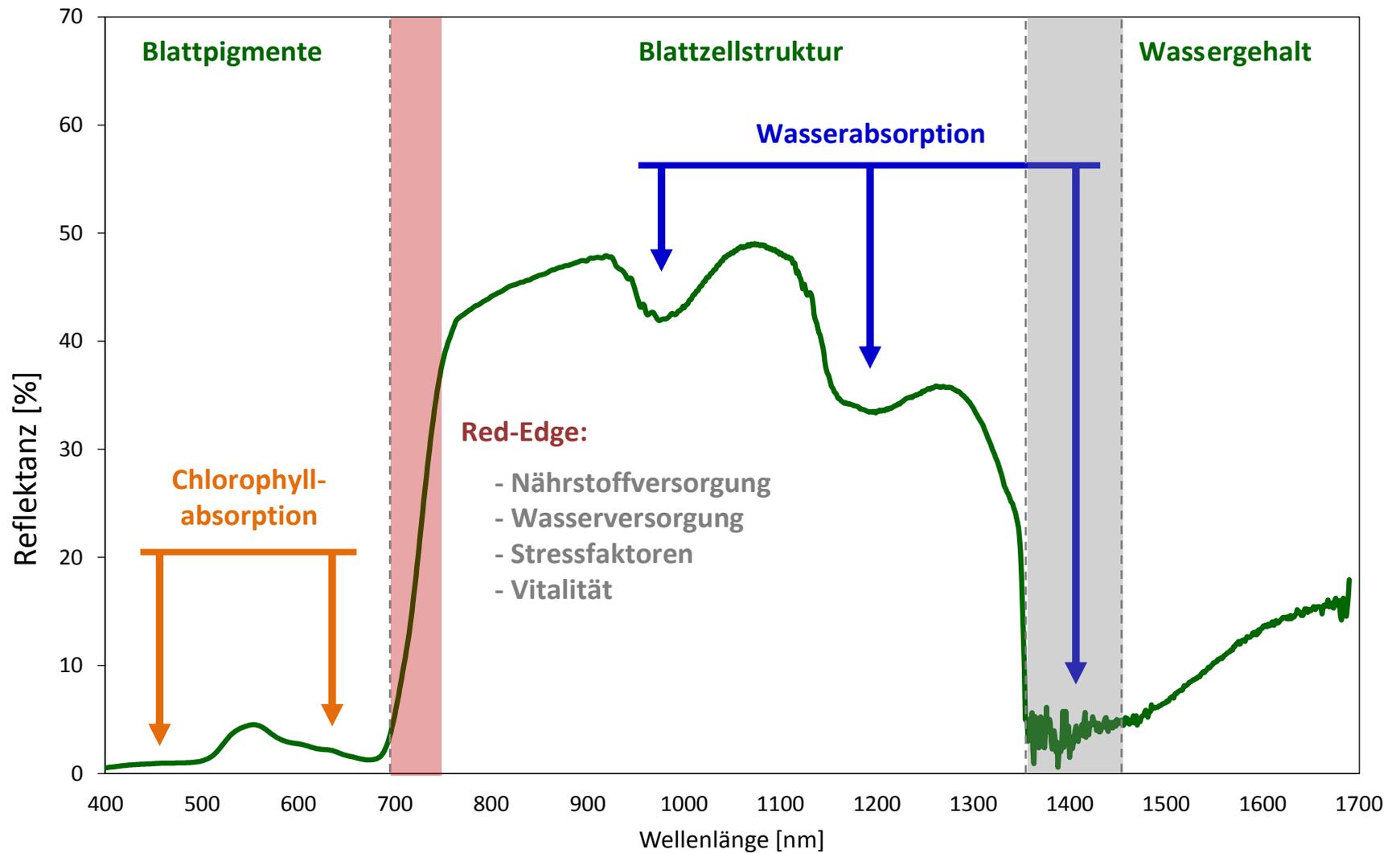
Grundlagen: Verlauf der Spektralsignatur von Vegetation und Boden



Vegetation: Absorption und Reflexion im sichtbaren Bereich



Spektralsignatur von grüner Vegetation



Frequenzbereiche und deren Bedeutung für die Vegetationsanalyse

Frequenzbereich	Bedeutung für die Untersuchung von Pflanzenbeständen
Sichtbares Licht: Blau	Stickstoff, Seneszenz, Carotinoide, Lichtnutzungseffizienz, Vegetationsstress
Sichtbares Licht: Grün	Pigmente (Carotinoide, Chlorophyll, Anthocyane), Stickstoff, Vitalität, Lichtnutzungseffizienz, Vegetationsstress, Schädlinge und Krankheiten
Sichtbares Licht: Rot	Blattflächenindex (LAI), Biomasse, Bestandeshöhe, Kulturart
Red-Edge-Band	Stickstoffstress, Chlorophyll, Seneszenz, Trockenstress
NIR (850-970 nm)	LAI, Biomasse, Bestandeshöhe, Kulturart, Feuchtegehalt, Protein
NIR (1070 -1250 nm)	LAI, Biomasse, Bestandeshöhe, Kulturart, Pigmente, Wassersensitivität
SWIR (1450 – 1650 nm)	Vegetationsklassifikation, Feuchtigkeitsgehalt, Feuchtigkeitssensitivität

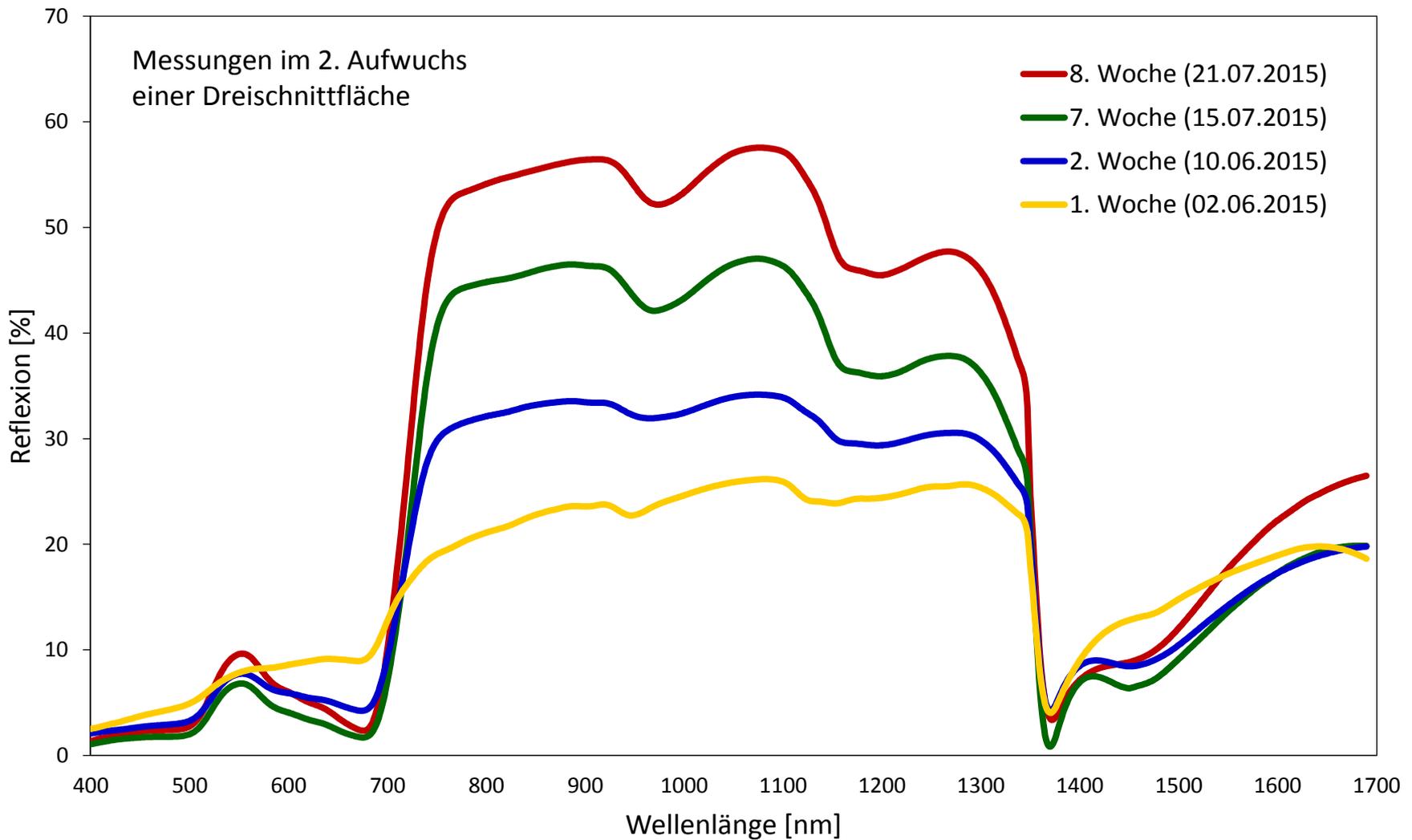
Quelle: Thenkabail *et al.* (2014)



Bilder unterschiedlicher Entwicklungsphasen im Grünland



Spektren unterschiedlicher Entwicklungsphasen im Grünland

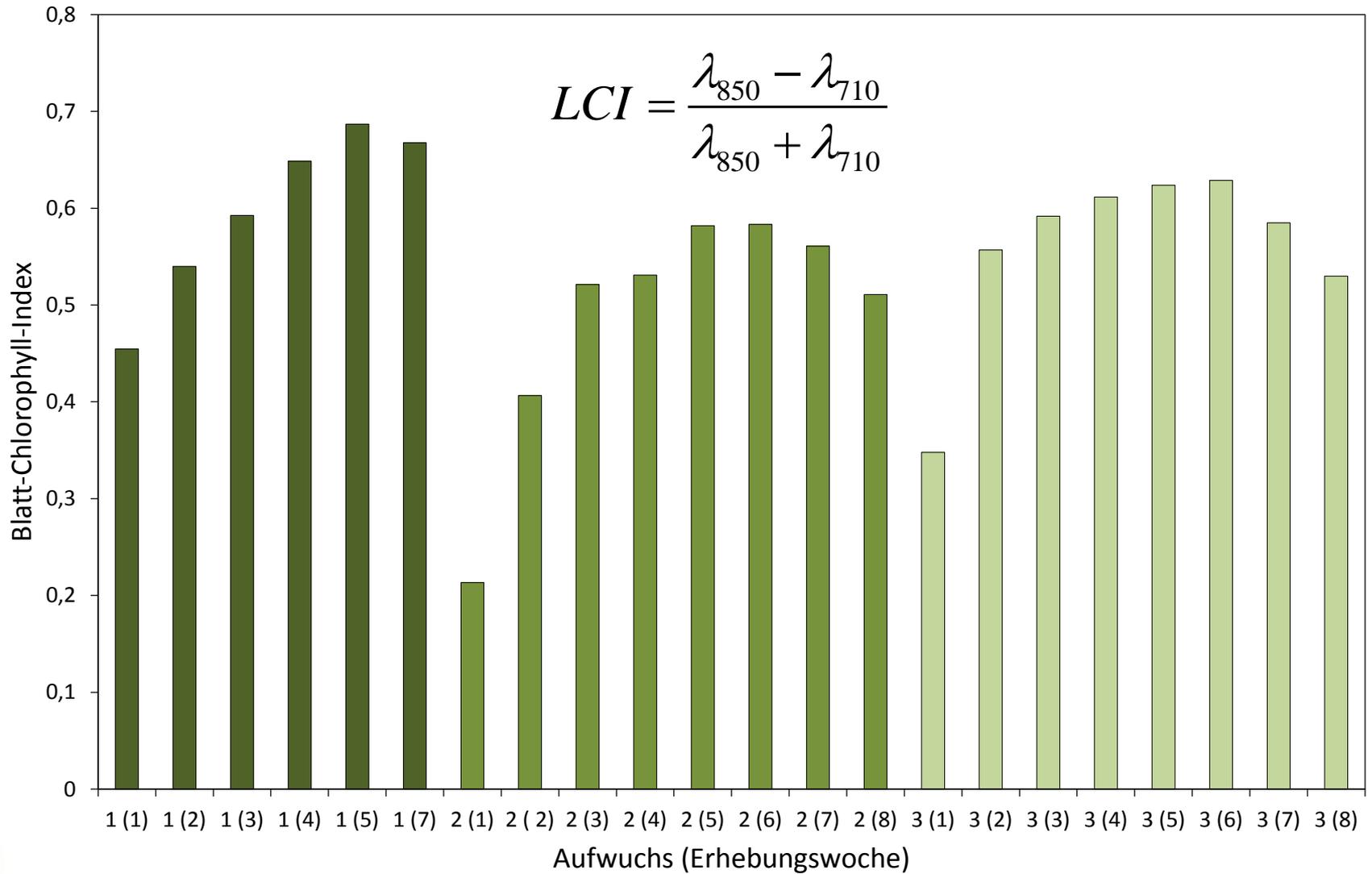


Auswertung auf Basis von Indizes

Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{\rho_{850} - \rho_{670}}{\rho_{850} + \rho_{670}}$	(Rouse et al., 1973)
Ratio Vegetation Index	$RVI = \frac{\rho_{850}}{\rho_{670}}$	(Pearson and Miller, 1972)
Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{(\rho_{850} - \rho_{670}) * (1 + L)}{(\rho_{850} + \rho_{670} + L)}$	(Huete, 1988)
Soil Adjusted Vegetation Index 2	$SAVI2 = \frac{\rho_{850}}{\rho_{670} + a^b / b^c}$	(Major et al., 1990)
Modified SAVI	$MSAVI = \frac{\rho_{850}}{\sqrt{(\rho_{850} + 0.5)^2 - 2(\rho_{850} - \rho_{670})}} + 0.5$	(Qi et al., 1994)
Optimized SAVI	$OSAVI = (1 + 0.16) * \frac{\rho_{850} - \rho_{670}}{\rho_{850} + \rho_{670} + 0.16}$	(Rondeaux et al., 1996)
Transformed SAVI	$TSAVI = a * \frac{\rho_{850} - a\rho_{670} - b}{a\rho_{850} + \rho_{670} - ab}$	(Baret et al., 1989)
Adjusted Transformed SAVI	$ATSAVI = a * \frac{\rho_{850} - a\rho_{670} - b}{a\rho_{850} + \rho_{670} - ab + X(1 + a^2)}$	(Baret and Guyot, 1991)
Soil and Atmospherically Resistant Index	$SARVI = \frac{(\rho_{850} - \rho_{RB})(1 + L)}{\rho_{850} + \rho_{RB} + L}$ $\rho_{RB} = \rho_{670} - \beta(\rho_{480} - \rho_{670})$	(Kaufman and Tanré, 1992)
Enhanced Vegetation Index or SARVI2	$EVI = \frac{2.5(\rho_{850} - \rho_{670})}{1 + \rho_{850} + 6\rho_{670} - 7.5/\rho_{480}}$	(Huete et al., 1997; Huete et al., 2002)
Ratio Difference Vegetation Index	$RDVI = \frac{\rho_{850} - \rho_{670}}{\sqrt{\rho_{850} + \rho_{670}}} = \sqrt{NDVI * RVI}$	(Roujean and Bréon, 1995)



Beispiel: Blatt-Chlorophyll-Index (LCI) für eine Dauergrünlandfläche



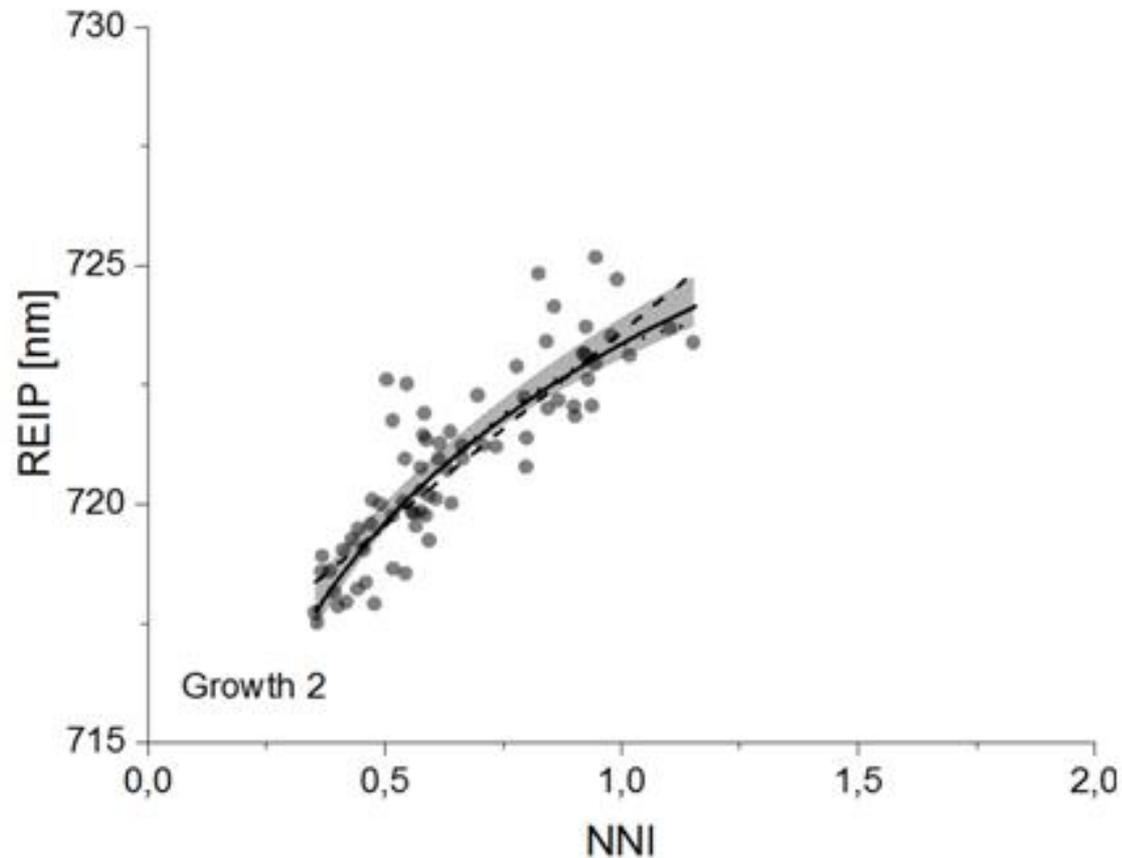
Auswertung von Spektraldaten

- Hohe Anzahl von Spektralsignaturen für statistische Auswertung notwendig
- Zielparameter (Biomasse, Bestandeshöhe, Pflanzeninhaltsstoffe) müssen parallel zu den Spektromessungen erhoben werden
- Entwicklung eines statistischen Modells zur Ableitung allgemeiner Aussagen auf Basis signifikanter Zusammenhänge



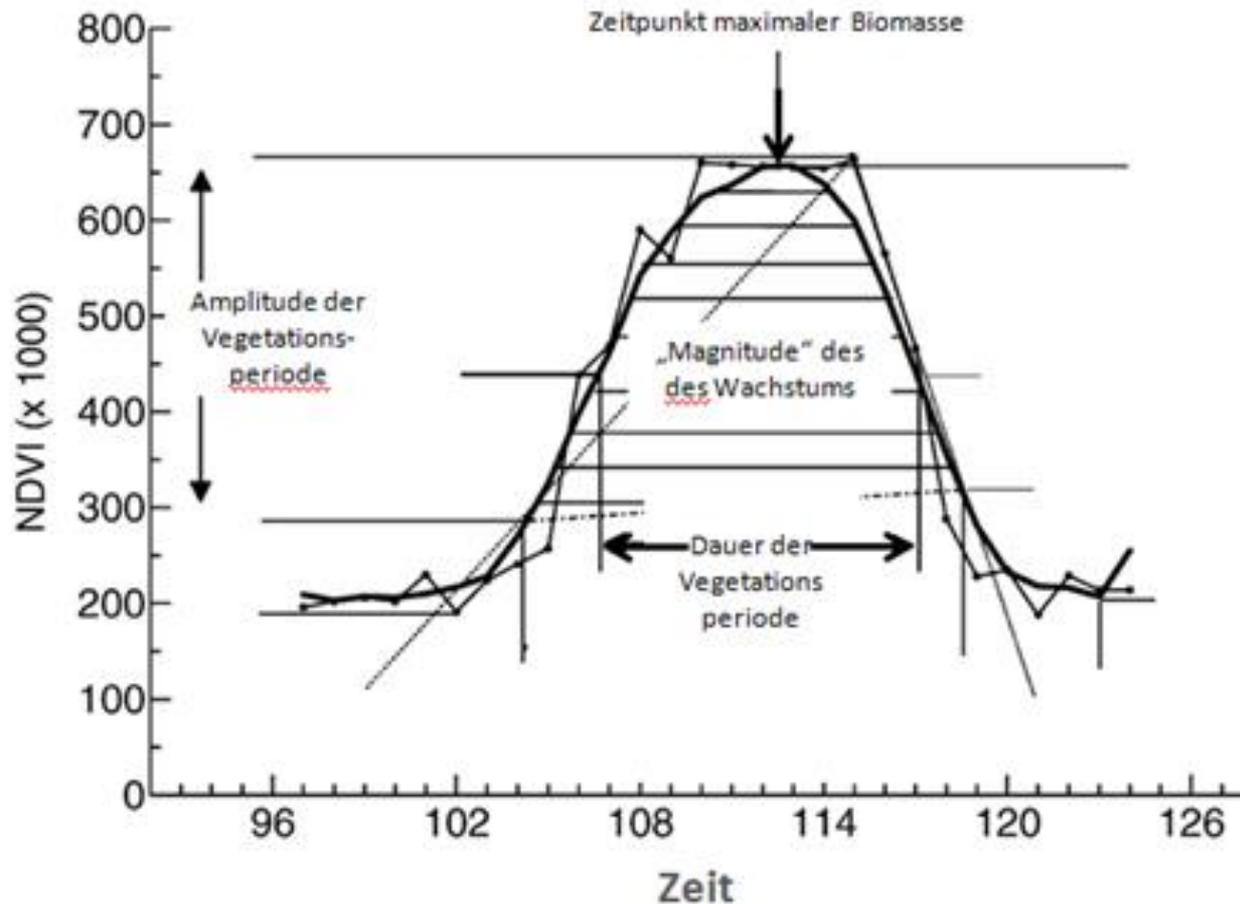
Anwendungsbeispiel 1

Vergleich des N-Ernährungsindex mit dem Wendepunkt der Rot-Infrarot-Flanke (Red Edge Inflection Point, REIP) der spektralen Signatur. Daten aus einem N-Steigerungsversuch auf Grünland, INRES, Universität Bonn, Standort Klein-Altendorf. (Voelzke, 2014, unveröffentlicht)



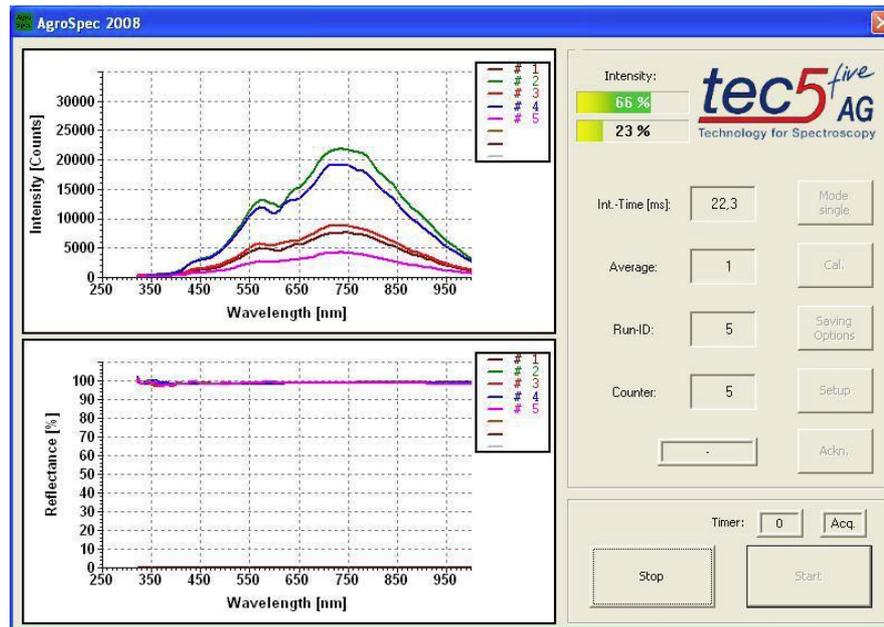
Anwendungsbeispiel 2

Ableitung phänometrischer Daten aus dem zeitlichen Verlauf des Vegetationsindex (NDVI) nach Reed *et al.* (1994)



Spezifikationen des tec5-Feldspektrometers

Sensors:	1 pc. MMS1 NIR enh., 1 pc. PGS NIR 1.7
Spektralbereich:	360nm – 1.690 nm
Spektrale Auflösung:	10nm (3.3 nm Streuung für MMS1) 5nm (1.5 nm Streuung für PGS NIR 1.7)
Nutzungsbereich:	ca. 400 nm – 1.650 nm

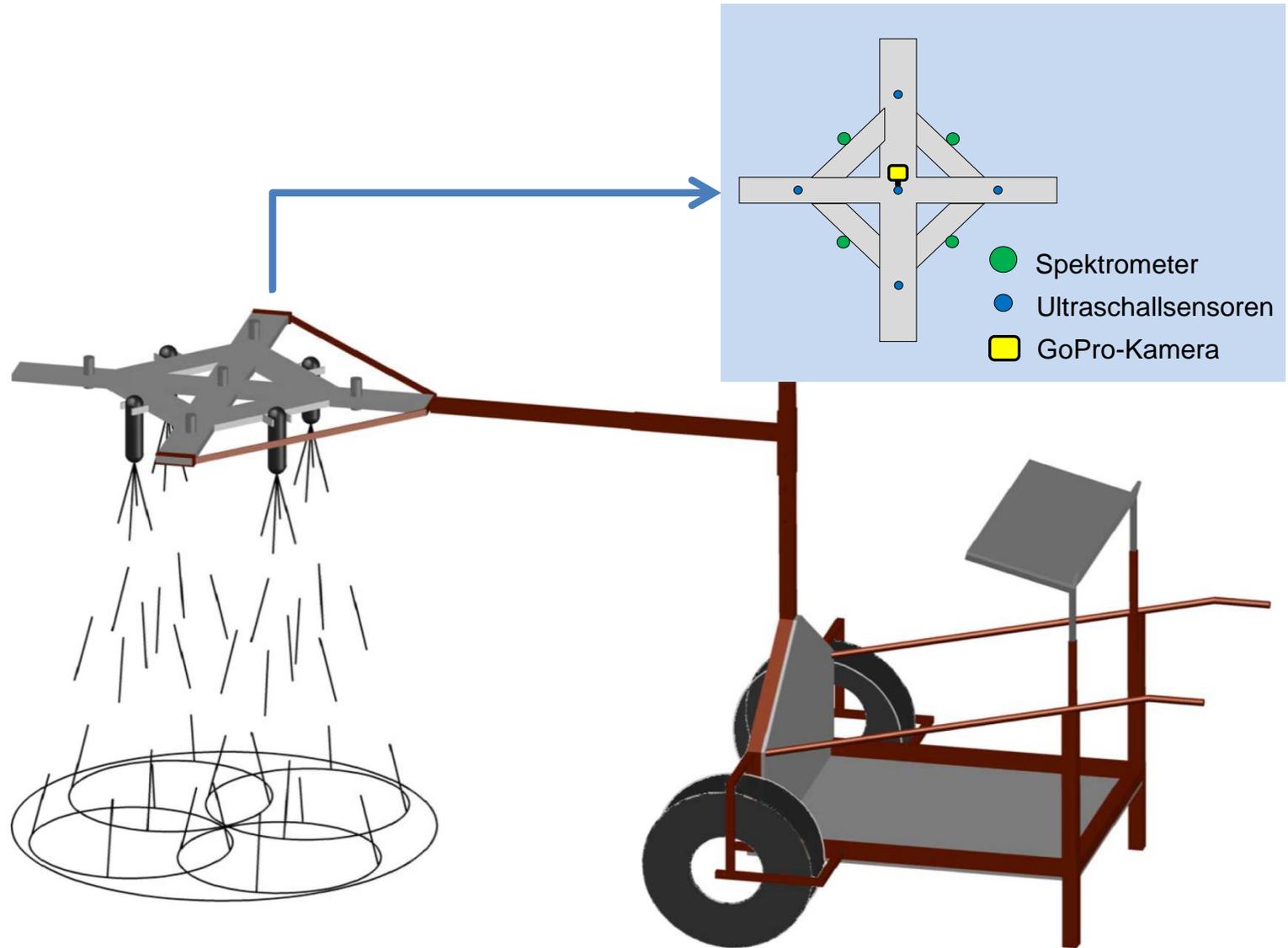


Praktischer Einsatz der Feldspektroskopie

- Großer Einfluss des Wetters bzw. Wolkenbedeckung (Verhältnis von direkter und diffuser Strahlung) – Optimal unter wolkenlose Bedingungen
- Strahlungsgeometrie von Sonne, Pflanzenbestand und Sensor: Messungen um die Tagesmitte (→ geringer Azimuthwinkel)
- Sorgfältige Kalibrierung mittels Referenzoberflächen
 - Dual-Field-of-View: Zwei Sensoren gleichzeitig
 - Single-Field-of-View: Referenz vor und nach jeder Messung
 - Zwei-Kanal-Messung mit Cosinus-Korrektur
- Gleiche Position und Messhöhe bei der Bildung von Zeitreihen (zur Beobachtung der Entwicklungsdynamik)
- Mehrfache Messung mit Pseudoreplikationen und echten Wiederholungen
- Möglichst umfangreiche Beprobung des gemessenen Pflanzenbestandes (Bestandeshöhe, Bestandszusammensetzung, Biomasse, Inhaltsstoffe, usw.)
- Fotografische Aufnahmen erleichtern die Auswertung



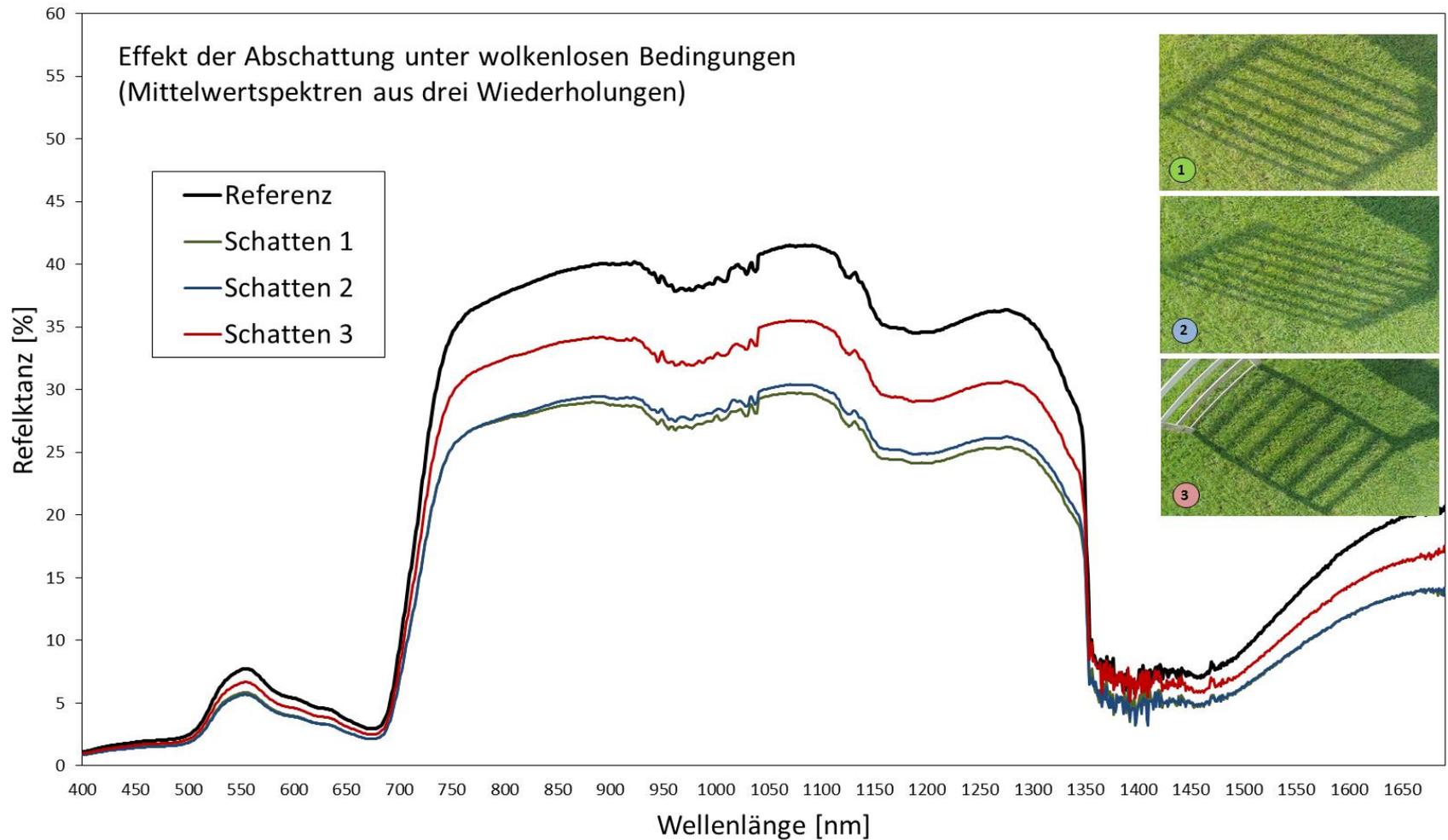
Mobiler Messwagen für Ultraschall und Feldspektroskopie



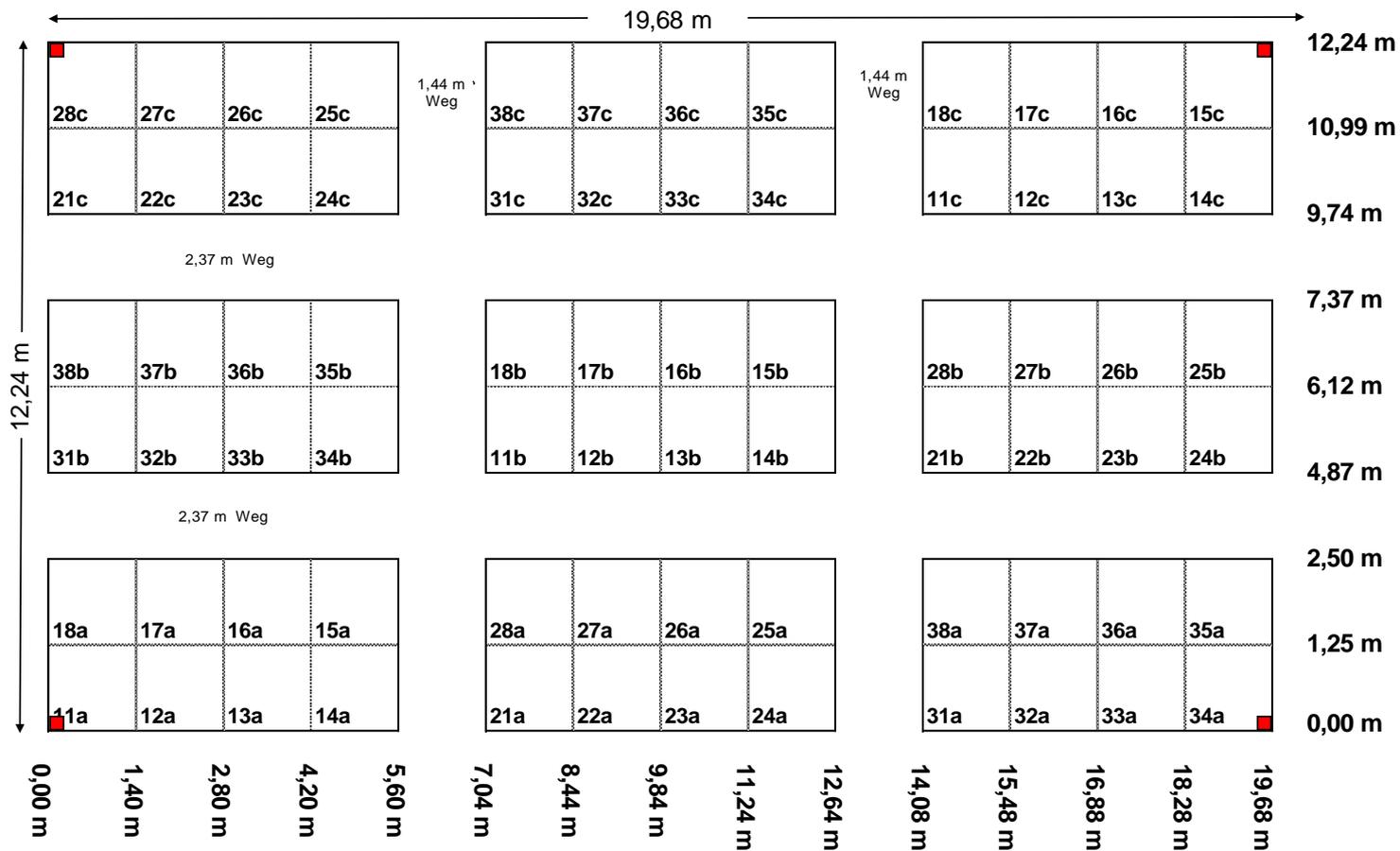
Direkte und diffuse Strahlung bei der Feldspektroskopie



Einfluss der Schattenbildung auf die Spektren



Schnitt-Referenz mit wöchentlichen Ertragsmessungen



Parzellengröße: 1,25 m x 1,25 m = 1,56 m²

Nutzung: 1— Aufwuchs
2— Aufwuchs
3— Aufwuchs

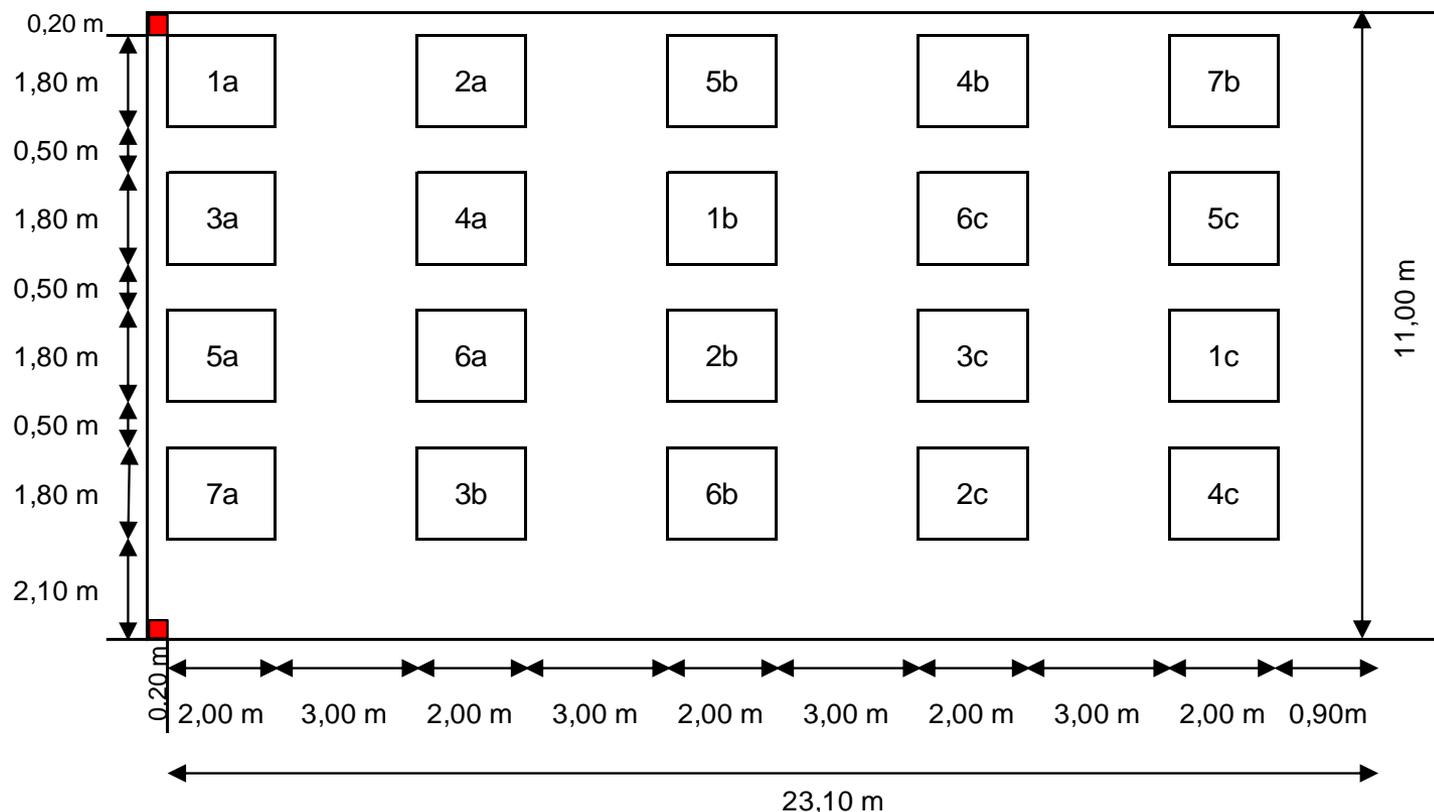
Schnittzeitpunkt: —1 bis —8 wöchentlich

Düngung: P₂O₅ 65 kg/ha und Jahr (1/2 i. Herbst, 1/2 i. Frühjahr)
K₂O 170 kg/ha und Jahr (1/2 i. Herbst, 1/2 i. Frühjahr)
N 30 kg/ha je Aufwuchs

Aufwüchse in Kombination mit UM-09



Reinkultur-Referenz mit wöchentlicher Beobachtung



Varianten:

- 1 Knaulgras
- 2 Engl. Raygras
- 3 Goldhafer
- 4 Glatthafer
- 5 Timothe
- 6 Weißklee
- 7 Offener Boden

Parzellengröße: 1,80 x 2,00 m = 3,60 m² (Düngungsparzelle)
 1,40 x 2,00 m = 2,80 m² (Ernteparzelle)

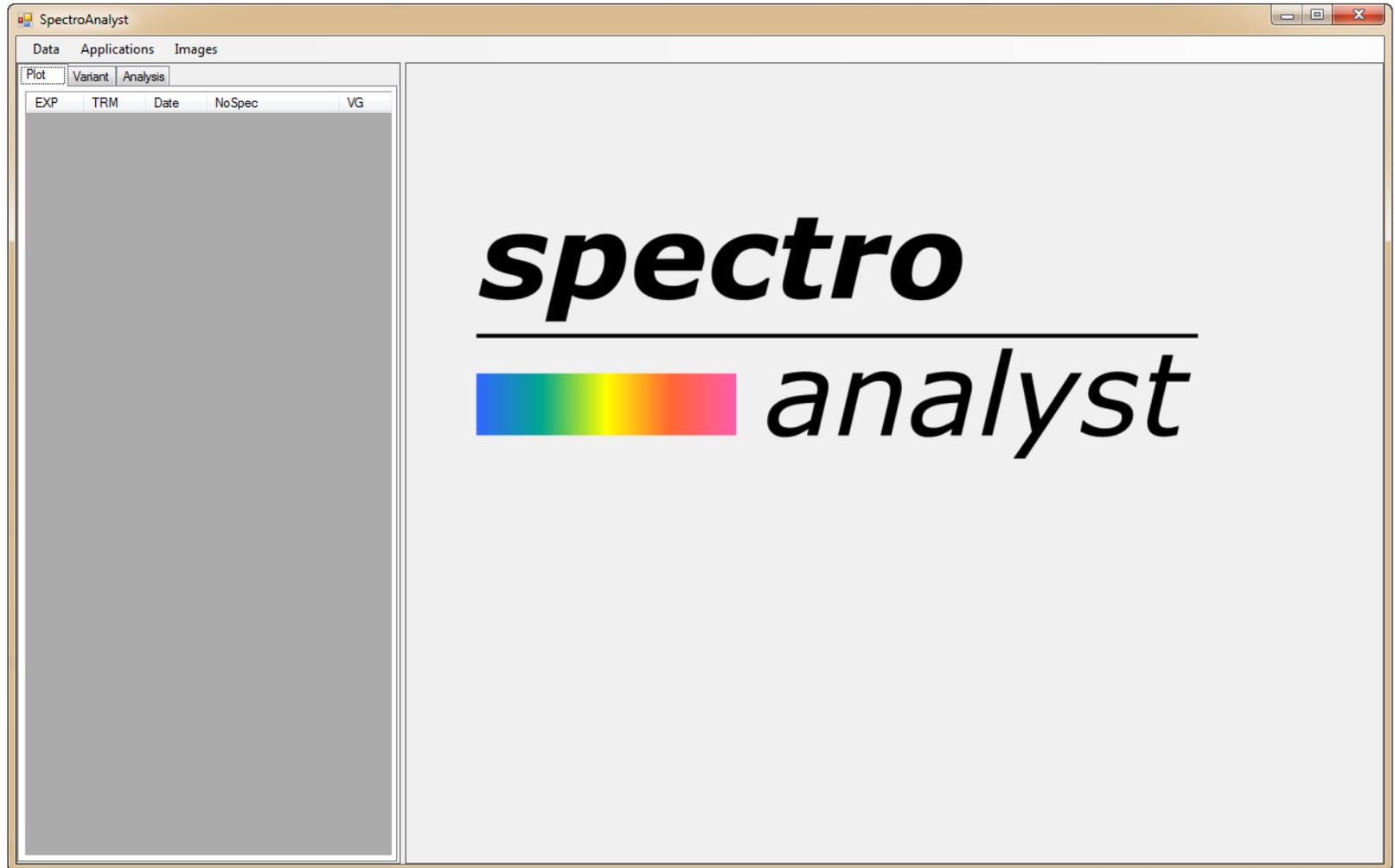
Düngung: gleich wie UM-09

Nutzung: 3 Schnitte/Jahr

Erntezeitpunkte: gleich wie UM-09



Datenmanagement mit SpectroAnalyst



Datenmanagement mit dem SpectroAnalyst

- Datenimport der Rohdaten mit Verknüpfung zu Parzellenfoto und Speicherung der Spektrogramme mit Metadaten
- Bildung eines Mittelwert-Spektrogramms mit Auswahl der Rohspektren
- Glättung des Mittelwert-Spektrogramms mit unterschiedlichen Einstellungen
- Automatische Zusammenfassung aller Parzellenspektren zu einer Variante beim Import
- Manuelle Änderungen bei der Zusammenstellung von Varianten und Anwendung der Mittelwert- und Glättungsfunktion auf alle Rohdaten einer Variante
- Definition von Indexformeln in einer eigenen Tabelle und automatische Ausgabe der Ergebnisse für alle gespeicherten Spektren
- Möglichkeit der Zusammenstellung von mehreren Varianten zu einem Analyse-Set mit statischer Auswertung

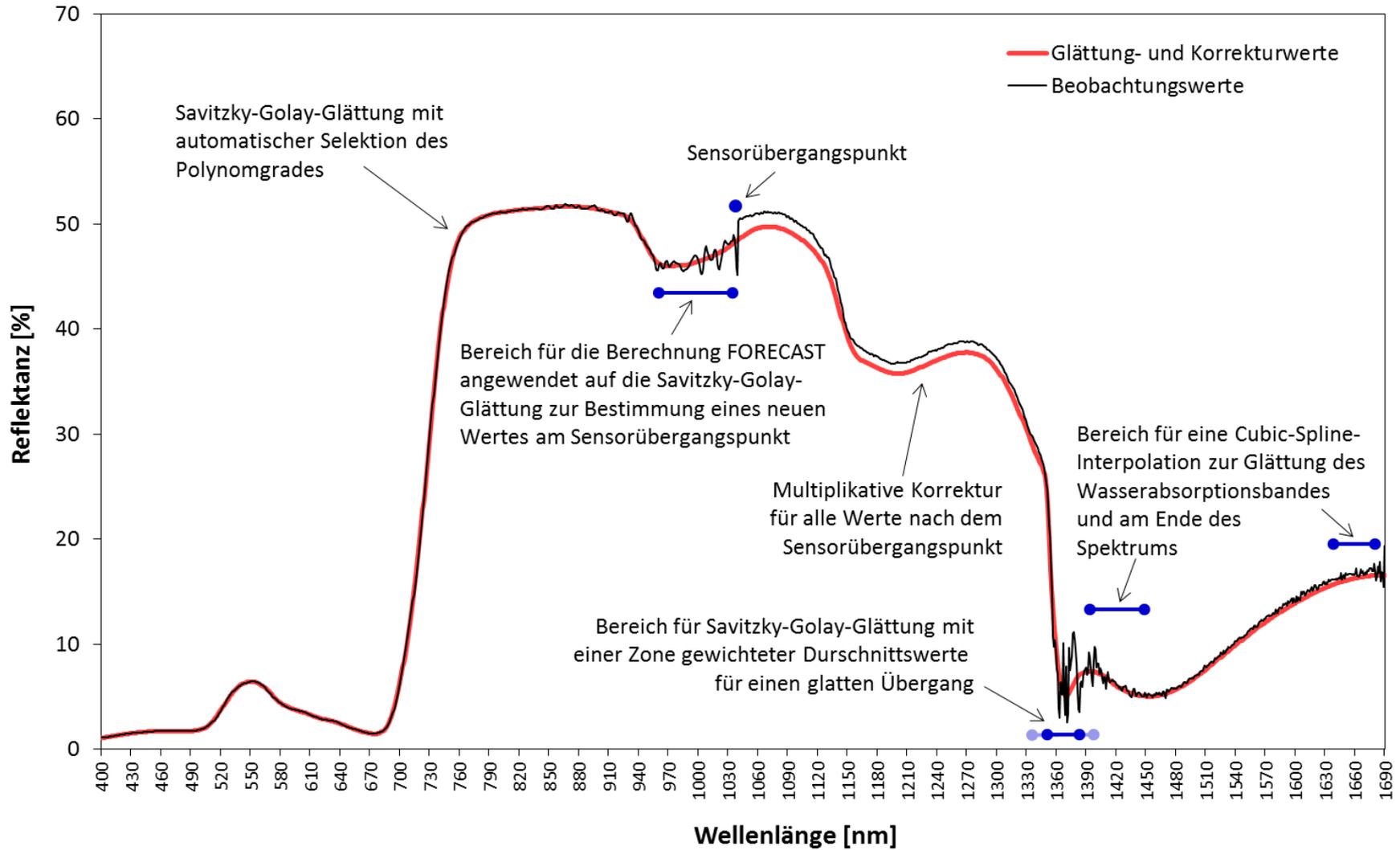


Datenmanagement mit SpectroAnalyst

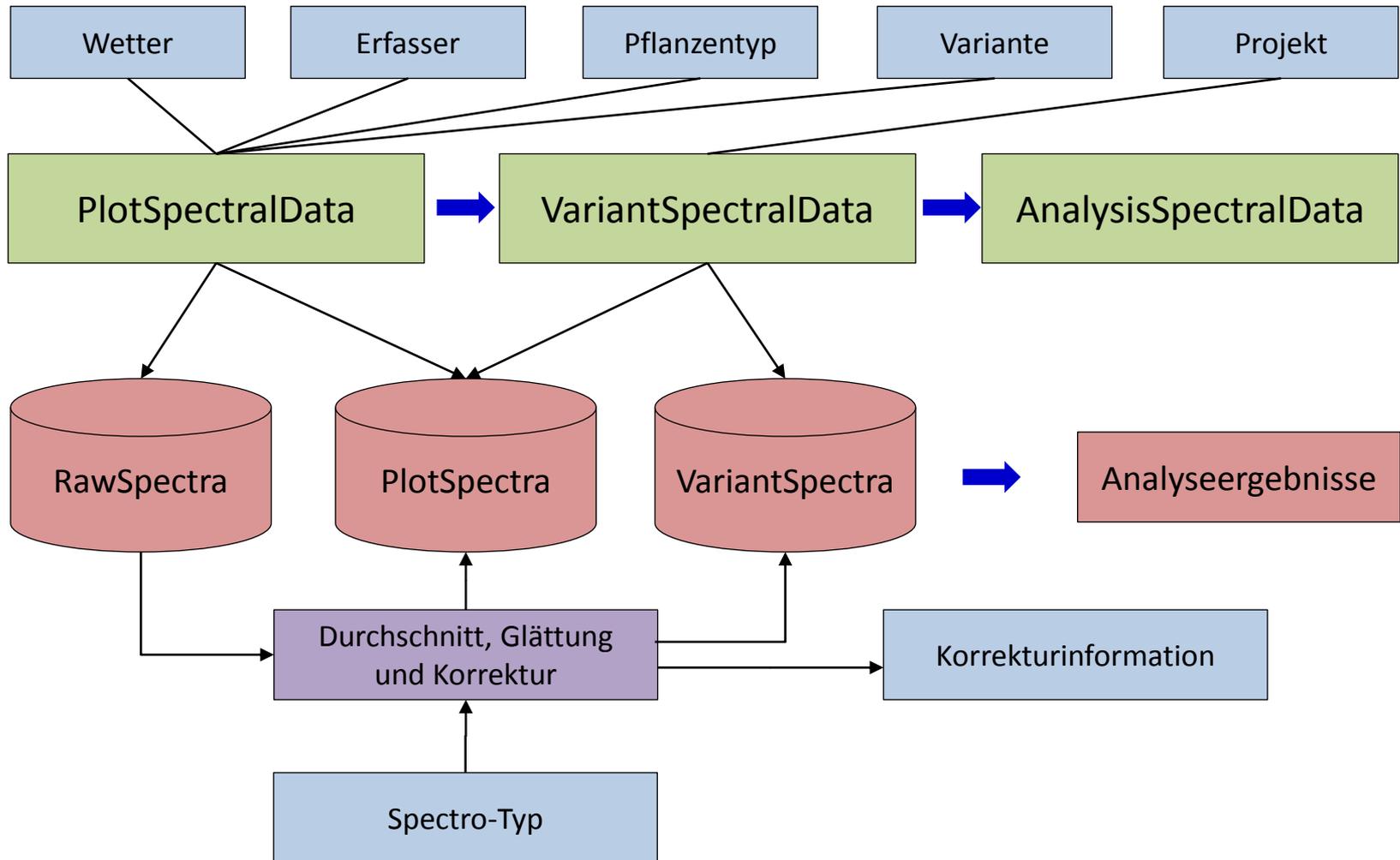
The screenshot displays the SpectroAnalyst software interface. On the left, a data table lists experimental runs with columns for EXP, TRM, Date, NoSpe, and VG. The plot area shows Reflectance [%] on the y-axis (0 to 100) and Nanometer [nm] on the x-axis (400 to 1600). Four data series are plotted: Position 1 (1) in red, Position 2 (2) in blue, Position 3 (3) in yellow, and Position 4 (4) in green. A thick black line represents the Average, and a thin black line represents Smoothing. A vertical red line is at approximately 650 nm, and a horizontal red line is at approximately 35% reflectance. An inset window titled 'Picture' shows a photograph of a grassy field with a white marker. At the bottom, there are control panels for 'Raw Data', 'Processed Data', 'Spectrogram Preprocessing', and 'Spectral Data'. The 'Spectrogram Preprocessing' panel includes options for 'Multiplicative Correction' (VNIR, SWIR, Both), 'Additive Correction', and 'Partial Spline Smoothing' (Waterband, End of Spectrum). The 'Spectral Data' panel shows metadata for experiment ID 977, including description, unit, collector, weather, growth stage, and image path.

EXP	TRM	Date	NoSpe	VG
55	0	16.04.2015 10:56:52	4	
55	0	16.04.2015 11:02:13	4	
55	0	16.04.2015 11:07:37	4	
55	0	22.04.2015 10:40:35	4	
55	0	22.04.2015 10:44:34	4	
55	0	22.04.2015 10:48:43	4	
55	0	29.04.2015 10:34:54	4	
55	0	29.04.2015 10:39:55	4	
55	0	29.04.2015 10:43:35	4	
55	0	07.05.2015 10:28:53	4	
55	0	07.05.2015 10:32:09	4	
55	0	07.05.2015 10:39:44	4	
55	0	12.05.2015 10:31:45	4	
55	0	12.05.2015 10:36:50	4	
55	0	12.05.2015 10:40:04	4	
55	0	28.05.2015 14:48:28	4	
55	0	28.05.2015 14:51:48	4	
55	0	28.05.2015 15:01:06	4	
56	0	02.06.2015 10:27:15	4	
56	0	02.06.2015 10:31:50	4	
56	0	02.06.2015 10:36:12	4	
56	0	10.06.2015 10:39:06	4	
56	0	10.06.2015 10:42:23	4	
56	0	10.06.2015 10:45:04	4	
56	0	18.06.2015 09:16:12	4	
56	0	18.06.2015 09:18:19	4	
56	0	18.06.2015 09:20:36	4	
56	0	25.06.2015 09:26:05	4	
56	0	25.06.2015 09:32:59	4	
56	0	25.06.2015 09:41:03	4	
56	0	02.07.2015 09:48:10	4	
56	0	02.07.2015 09:51:15	4	
56	0	02.07.2015 09:53:19	4	
56	0	10.07.2015 09:35:46	4	
56	0	10.07.2015 09:40:45	4	
56	0	10.07.2015 09:42:27	4	
56	0	15.07.2015 13:10:28	4	
56	0	15.07.2015 13:22:17	4	
56	0	15.07.2015 13:26:40	4	
56	0	21.07.2015 10:52:52	4	
56	0	21.07.2015 10:54:46	4	
56	n	21.07.2015 10:56:39	4	

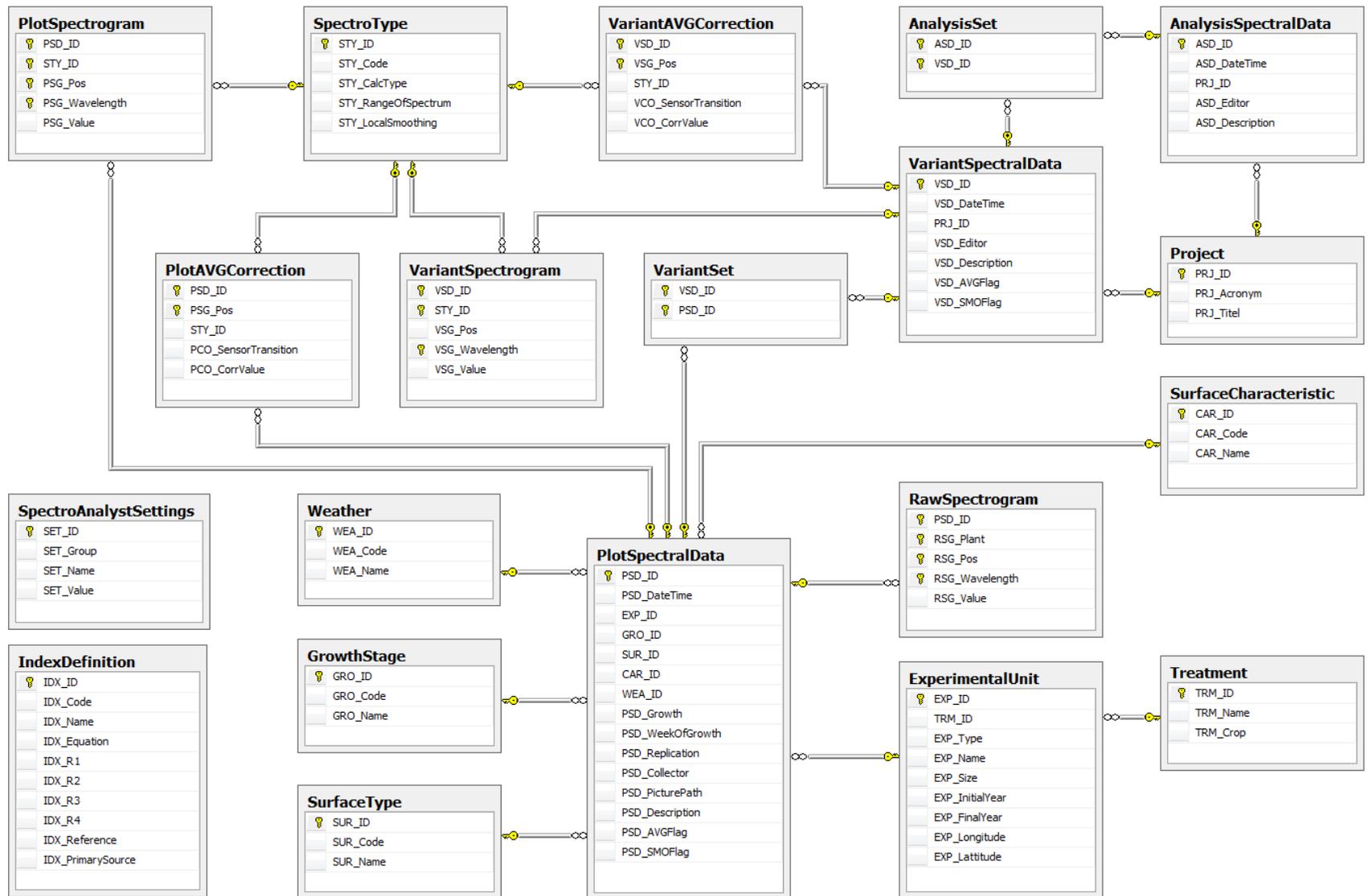
Rohdatenverarbeitung mit dem SpectroAnalyst



Datenmanagement mit dem SpectroAnalyst



Relationales Modell der Datenbasis des SpectroAnalyst



- Beschreibung von Entwicklungsdynamiken in einem Grünlandbestand
 - Beziehung zu Wetter und Klima
 - Bildung von Modellen mit Klimaparametern
 - Anwendung der Modelle mit Klimaszenarien
 - Abschätzung von Klimafolgen im Grünland → Anpassungsstrategien
- Ausrichtung der Feldspektroskopie hin zu bildgebenden Sensoren
 - Bessere Differenzierung im heterogenen Grünlandmischbestand
 - Querverbindung zur satellitengestützten Fernerkundung
 - Übertragung lokal entwickelter Modelle auf großflächige Anwendungen (Satelliten- und Luftbilder mit hyperspektraler Auflösung)
- Methodische Weiterentwicklung im Rahmen der Forschung als Grundlage für den Einsatz der Spektroskopie in der landwirtschaftlichen Praxis

