

RUHESOFT

-Ermittlung der Ruhefristen auf Friedhöfen- Version 1.0

The screenshot displays the OpenJUMP GIS software interface with the RUHESOFT application running. The main map shows a cemetery layout with various colored zones. Three configuration windows are overlaid on the map:

- RUHESOFT 1.0 (2011-01-10) - Options:** Shows the 'Ruhesoft-Modell Version' set to 'ruhsoft_6_13.xls' and the 'Excel Verzeichnis' set to 'C:\Programme\RUHESOFT\...'. The 'Excel sichtbar schalten' checkbox is checked.
- RUHESOFT 1.0 (2011-01-10) - Layer Selection:** Shows the 'Layer für Bodenart' set to 'friedhöfe'. It includes fields for 'Attributfeld für Bodenart' (Bodenart) and 'Attributfeld für Ruhefrist' (Ruhefrist). Below is a table of soil types and their corresponding rest periods.
- RUHESOFT 1.0 (2011-01-10) - Calculation Parameters:** Shows input fields for 'Bodenartgruppen', 'Klimabereiche' (set to 'NW5&6'), 'Gewicht Leichnam [kg]' (70), 'Gewicht Sarg [kg]' (50), 'Tiefe Sargoberkante [cm]' (90), 'zusätzl. Bewässerung' (ohne), 'Sargholz' (Fichte/Buche), and 'Abdeckung [%]' (0). A 'Ergebnis:' field is at the bottom.

Bodenart	Gültig?	Bodenartgr...	Ruhefrist [1...	Ruhefrist [...]
s3	true	Reinsande - s...		
lv4	true	Lehme - ll (s...		
tl4	true	Lehmsone - ll...		
sl3	true	Lehmsande - l...		
lr2	true	Lehmschäfte - ...		
sl2	true	Lehmsande - l...		
lr4	true	Tonschäfte - ...		
lv3	true	Lehme - ll (s...		
tl4	true	Schäfte - ...		
sl2	true	Lehmsande - l...		
sl4	true	Sandlehme - ...		
lls	true	Tonlehme - ll...		
lv2	true	Lehme - ll (s...		

Handbuch für RUHESOFT Version 1.0.

1. Auflage, Januar 2011

Erstellt von:

Michael C. Albrecht

Anika Meyer

RUHESOFT ist ein Förderprojekt der DBU, bearbeitet von der Ingenieurgesellschaft *entera* und der *Fachhochschule Osnabrück*

entera

**Ingenieurgesellschaft für Planung
und Informationstechnologie**

Fischerstraße 3
30167 Hannover

www.entera.de

Fachhochschule Osnabrück

**Fakultät Agrarwissenschaften &
Landschaftsarchitektur**

Postfach 1940
49009 Osnabrück

www.al.fh-osnabrueck.de

Ansprechpartner:

Dr. Michael C. Albrecht
Tel: 0511/16789-11

Fax: 0511/16789-99

Email: albrecht@entera.de

Ansprechpartner:

Prof. Dr. H. C. Fründ

Tel: 0541/969-5052

Fax: 0541/969-5170

Email: HC.Fruend@fh-osnabrueck.de

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	5
2. ANWENDUNG UND SYSTEMVORAUSSETZUNGEN	5
2.1 RUHESOFT ALS STANDALONE-ANWENDUNG.....	5
2.1.1 <i>Einstellungen Simulationsparameter.....</i>	<i>6</i>
2.1.2 <i>Einstellungen Optionen.....</i>	<i>8</i>
2.2 RUHESOFT OPENJUMP.....	9
2.2.1 <i>Einstellungen Mehrfachberechnung (GIS).....</i>	<i>10</i>
2.2.2 <i>Einstellung der Simulationsparameter</i>	<i>12</i>
2.2.3 <i>Einstellungen Optionen.....</i>	<i>13</i>
3. GRUNDLAGENDATEN UND MODELLIERUNGSVERFAHREN.....	14
3.1 BODENDATEN	14
3.2 DATENEINGABE BODEN	15
3.3 DATENEINGABE FÜR MEHRFACHBERECHNUNG (GIS)	16
3.4 DATENEINGABE IN RUHESOFT-STANDALONE.....	16
3.5 GEODATEN UND GIS-ANBINDUNG	16
3.6 DIE GRUNDLAGE - OPENJUMP	17
3.7 DAS MODELLIERUNGSKONZEPT.....	18
3.8 ANWENDUNG DER MODELLIERUNG	19
4. DATENGRUNDLAGE DER RANDBEDINGUNGEN	20
4.1 KLIMADATEN.....	20
4.1.1 <i>KWBa.....</i>	<i>20</i>
4.2 BODENWASSERGEHALT/ DIFFUSIONSKOEFFIZIENT	21
4.3 BODENATMUNG	22
4.4 LEICHEN- UND SARGABBAU.....	23
4.5 BEWÄSSERUNG	25
4.6 GRABPLATTEN	26
4.6.1 <i>Technische Anforderungen an Abdeckungen.....</i>	<i>26</i>
4.6.2 <i>Wenn-Dann-Analyse von Grababdeckungen.....</i>	<i>30</i>

5. RUHESOFT IN DER ANWENDUNG	31
5.1 DOWNLOAD	31
5.2 INSTALLATION	31
5.3 PROGRAMMSTART	33
5.3.1 <i>Programmoberfläche RuheSoft als Stand-alone-Anwendung</i>	33
5.3.2 <i>Programmoberfläche RuheSoft OpenJump</i>	33
5.4 ARBEITEN MIT RUHESOFT OPENJUMP	34
5.4.1 <i>Projekte öffnen</i>	35
5.4.2 <i>Vorhandene Geodaten in ein Projekt einfügen</i>	36
5.4.3 <i>Geodaten neu erstellen</i>	36
6. RUHESOFT IM EINSATZ.....	39
6.1 GRUNDLEGENDE BESTIMMUNG DER RUHEFRIST	39
6.1.1 <i>Berechnung in RuheSoft-standalone-</i>	39
6.1.2 <i>Variation der Bodeneigenschaft</i>	41
6.1.3 <i>Berechnung in RuheSoft OpenJump</i>	42
6.2 MÖGLICHKEIT DER RUHEFRISTENVERKÜRZUNG	45
6.3 BEWERTUNG EINER GRABABDECKUNG.....	46
6.3.1 <i>Verwesungsdauer in einem Erdgrab ohne Abdeckung</i>	46
6.3.2 <i>Verwesungsdauer in einem Erdgrab mit Abdeckung (50 %) einer Grabplatte</i> .	47
6.3.3 <i>Verwesungsdauer in einem Erdgrab mit Abdeckung (99 %) einer Grabplatte</i> .	47
6.4 VARIATION DER GRABTIEFE	48
6.4.1 <i>Simulation Erdgrab mit 90 cm Bestattungstiefe</i>	48
6.4.2 <i>Simulation Erdgrab mit 60 cm Bestattungstiefe</i>	49
6.4.3 <i>Simulation Erdgrab mit 200 cm Bestattungstiefe (Tiefengrab)</i>	50
7. LITERATUR:	51

1. EINLEITUNG

RuheSoft ist eine Fachanwendung zur Prognose über die voraussichtliche Dauer des Leichenabbaus unter definierten Rahmenbedingungen und dient somit der Berechnung der Ruhefristen von Sarg-Erdbestattungen auf Friedhöfen.

Diese Anwendung wurde von der Fachhochschule Osnabrück und der Ingenieurgesellschaft **entera** gemeinsam entwickelt und finanziell von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unterstützt.

RuheSoft basiert auf einem mathematischen Modell, in dem der Abbau eines Leichnam unter variablen Bedingungen simuliert wird.

Grundlage des Modells sind Untersuchungen, die im Rahmen des FH3-Forschungsvorhabens *Entwicklung eines Verfahrens zur Abschätzung der Sauerstoffversorgung des Unterbodens als Kenngröße für die Bewertung des Stoffumsetzungspotentials* (FRÜND H.-C.; ANLAUF, R.; MEYER, A., 2010) durchgeführt wurden.

Anhand der dokumentierten Graböffnungen von ALBRECHT (2003, 2004, 2005, 2008) erfolgte eine Validierung des Modells.

RuheSoft kann als Stand-alone-Anwendung zur numerischen Simulation oder als Plugin für das GIS OpenJump (RuheSoft OpenJump) verwendet werden, um so eine räumliche Visualisierung der Ergebnisse zu ermöglichen.

2. ANWENDUNG UND SYSTEMVORAUSSETZUNGEN

RuheSoft wird über START>PROGRAMME>RUHESOFT angesteuert.

Dort stehen optional die Stand-alone-Anwendung oder RuheSoft OpenJump zur Verfügung.

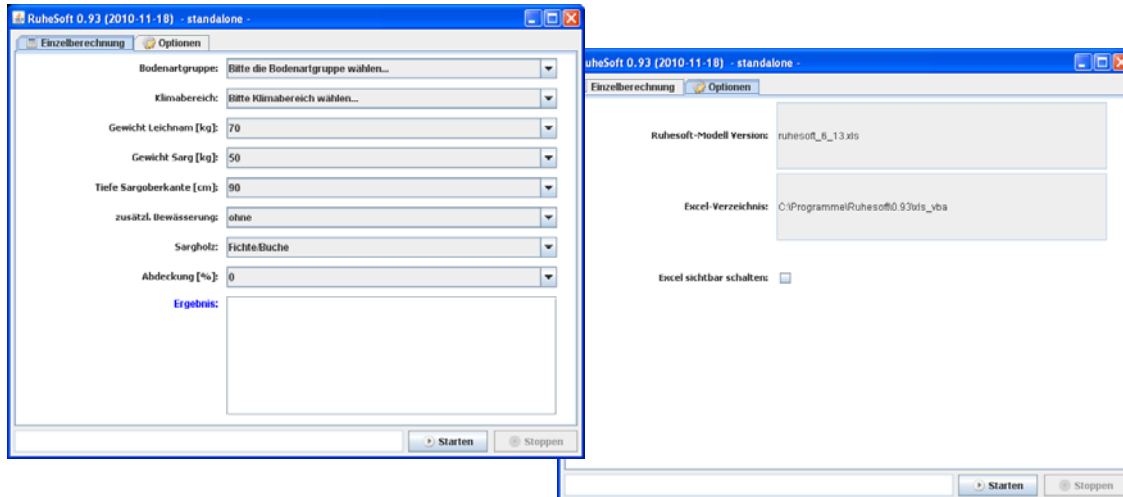
2.1 RUHESOFT ALS STANDALONE-ANWENDUNG

Dem Anwender wird die komplette Anwendung zur Modellierung bereitgestellt. Sie kann lokal von einem USB-Stick gestartet werden oder über Installation. Für die volle Funktionalität ist die Installation von RuheSoft mit den nötigen Zugriffsrechten erforderlich.

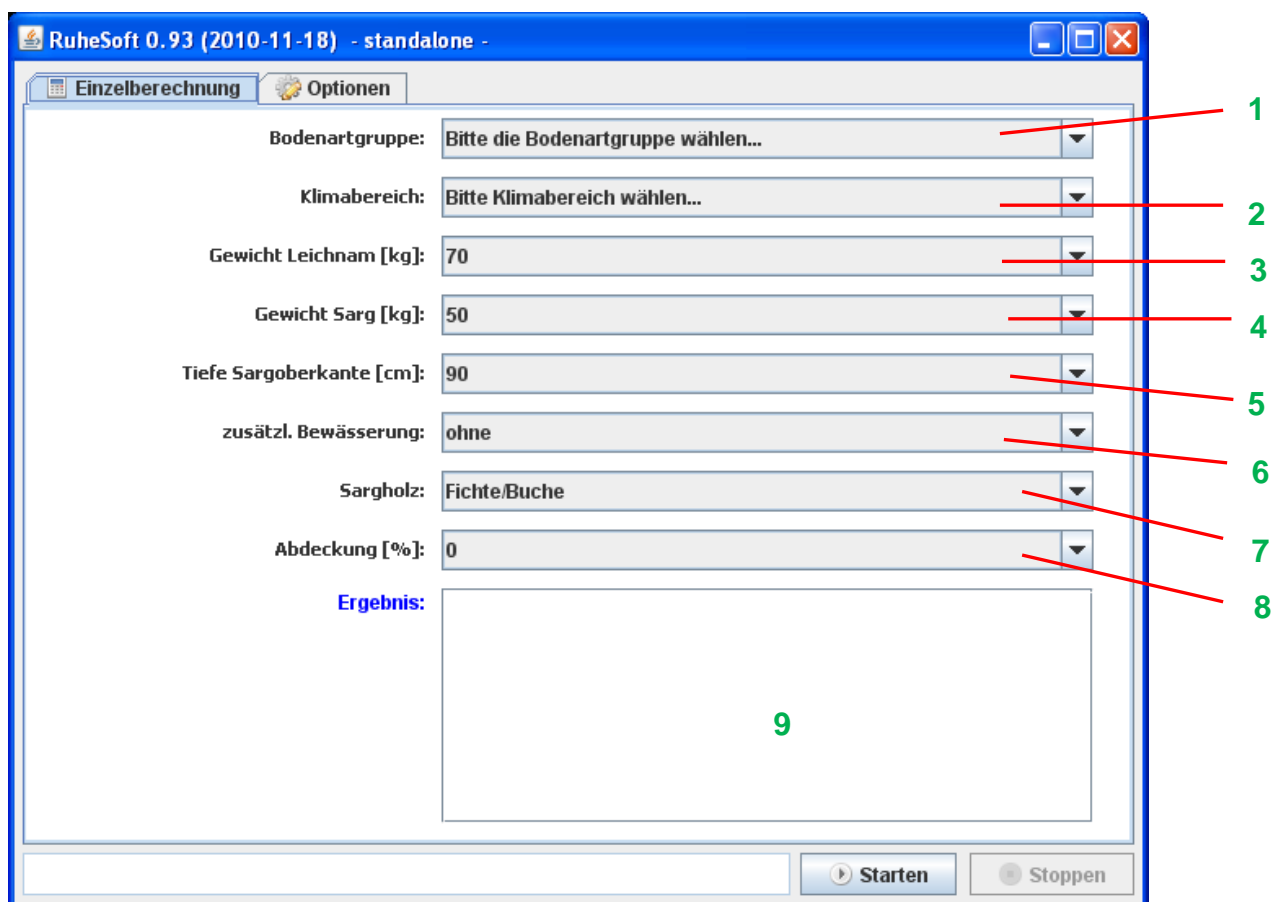
Die Anwendung wurde mit den Betriebssystemen Windows XP und Windows 7 getestet und freigegeben.

RuheSoft bietet als Stand-alone-Anwendung die Möglichkeit, die Ruhefrist für eine Fläche (Friedhof oder eine Teilfläche davon) zu berechnen. Weiterhin können beliebige Variationen von Einzelparametern vorgenommen werden.

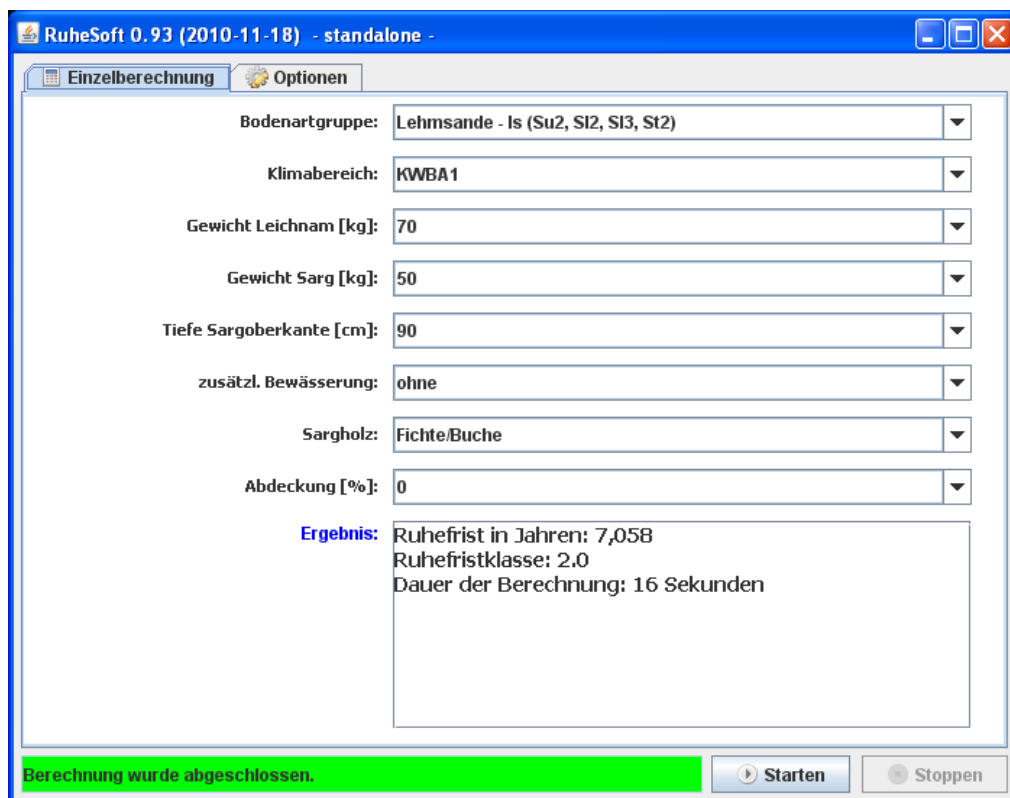
RuheSoft gliedert sich in 2 Reiter, in denen die Rahmenbedingungen für die Berechnung der Ruhefrist vorgenommen werden:



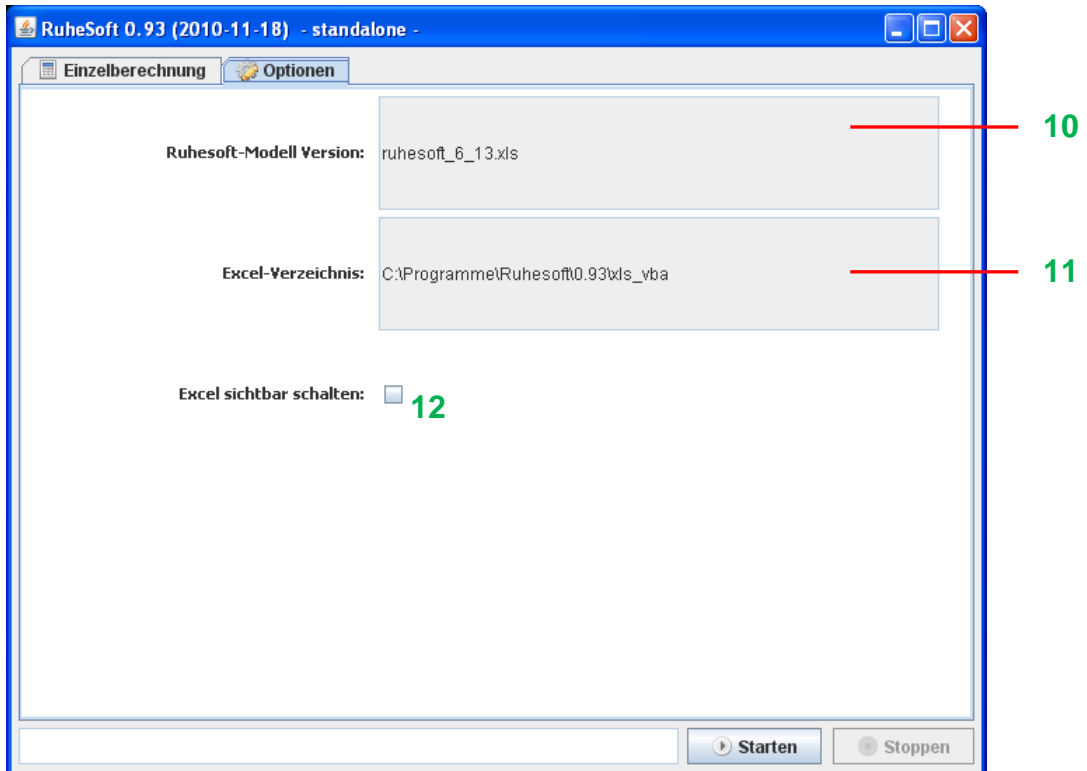
2.1.1 Einstellungen Simulationsparameter



Funktionsbeschreibung Dialog „Simulationsparameter“	
1	Bodenartengruppe-Optionen Auswahl der Bodenartengruppe nach KA5 Anwenderhinweis:
2	Klimabereich-Optionen Auswahl Klimabereich. Anwenderhinweis Klimadaten
3	Gewicht Leichnam [kg]-Optionen Auswahl des Gewichtes des zu Bestattenden. STANDARDWERT: 70 kg.
4	Gewicht Sarg [kg]-Optionen Auswahl des Sarggewichtes. STANDARDWERT: 50 kg.
5	Tiefe Sargoberkante [cm]-Optionen Auswahl der Sarg-Erd-Überdeckung. STANDARDWERT: 90 cm.
6	Zusätzliche Bewässerung Auswahl einer zusätzlichen Bewässerung. STANDARDWERT: ohne.
7	Sargholz Auswahl der verwendeten Sargholzart. STANDARDWERT: Fichte/Buche.
8	Abdeckung [%] Auswahl einer Grababdeckung. STANDARDWERT: 0..
9	Status/Ergebnis Ermittelte Verwesungszeit/erforderliche Ruhefrist.



2.1.2 Einstellungen Optionen



Funktionsbeschreibung Dialog „Simulationsparameter“	
10	RuheSoft-Model-Version Einstellung der aktuellen Ruhesoft-Version
11	Excel-Verzeichnis Angabe Arbeitsverzeichnis Excel
12	Excel sichtbar schalten-Optionen Die Berechnung in Excel kann sichtbar geschaltet werden.

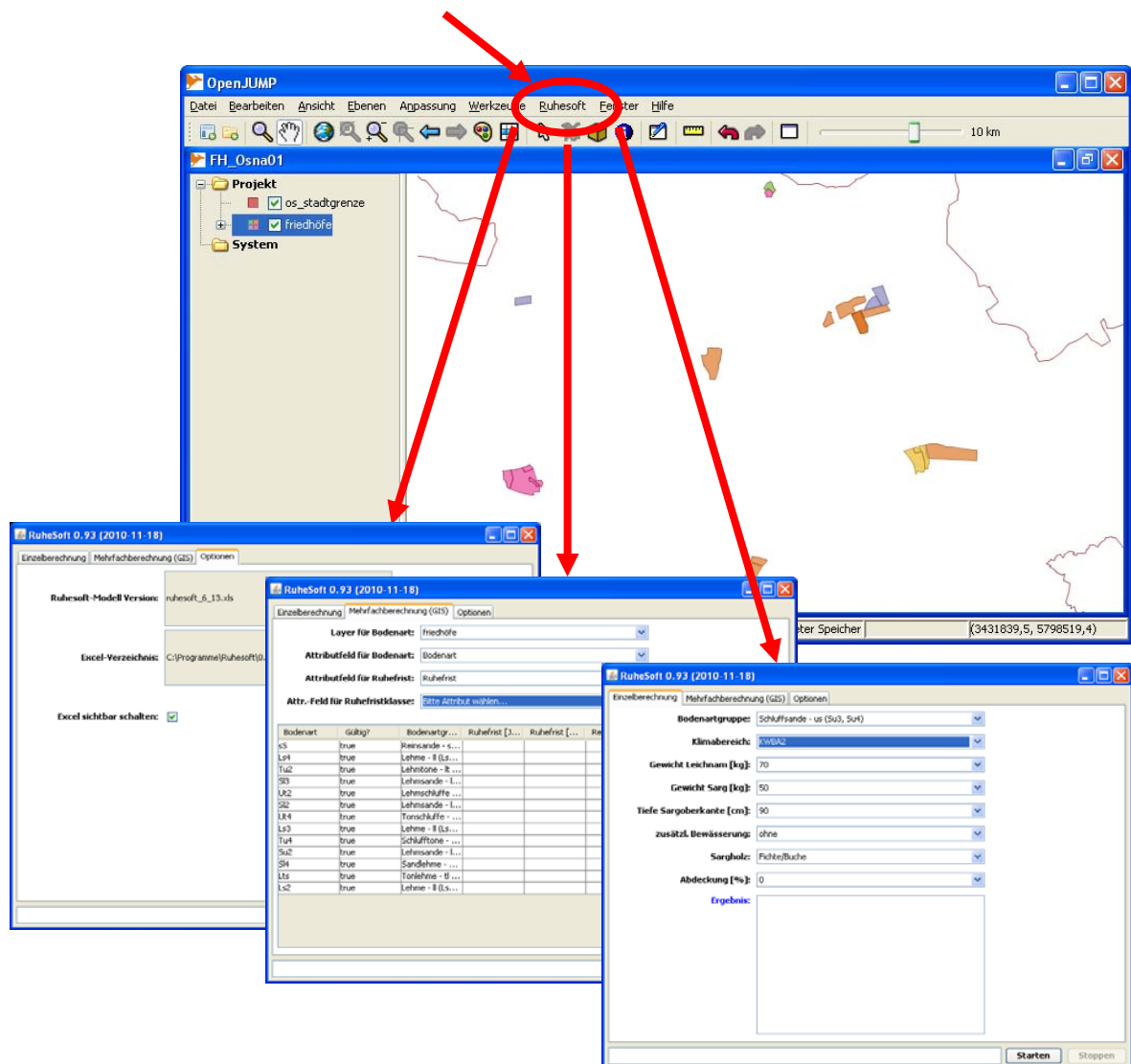
2.2 RUHESOFT OPENJUMP

RuheSoft kann als sogenanntes Plugin für das GIS OpenJump 1.3 eingesetzt werden.

Dem Anwender wird die komplette Anwendung (Modellierung und GIS) bereitgestellt. Sie kann lokal von einem USB-Stick gestartet werden oder über Installation. Für die volle Funktionalität ist die Installation von RuheSoft mit den nötigen Zugriffsrechten erforderlich.

Die Anwendung wurde mit den Betriebssystemen Windows XP und Windows 7 getestet und freigegeben.

Der Zugang des Programms geschieht über den Menüpunkt RuheSoft von OpenJump. Das Menü RuheSoft gliedert sich in 3 Reiter, in denen die Einstellungen für die Berechnung der Ruhefrist vorgenommen werden:



RuheSoft als Plugin bietet den Vorteil, dass die Ergebnisse der Modellierung nicht nur als Werte und Diagramme dargestellt werden können, sondern im Rahmen der Mehrfachberechnung (GIS) auch eine räumliche Darstellung im GIS erfolgt.

Über die Auswahl der Eingangsparameter im Menüpunkt RuheSoft erfolgt die Auswahl der Grundlagendaten und die Festlegung der Rahmenbedingungen für die Modellierung einer Einzelberechnung oder einer Mehrfachberechnung.

Einzelberechnung bedeutet die Simulation für einen Friedhof oder eine Fläche/Bodeneinheit.

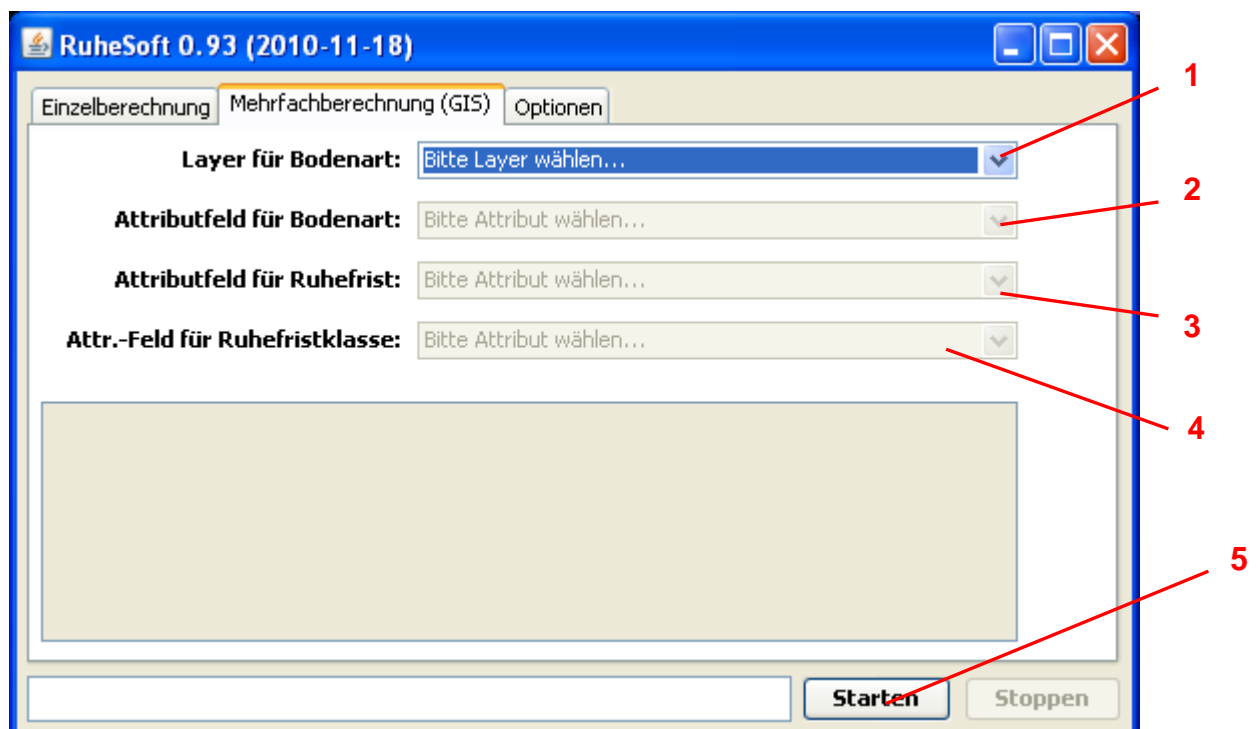
Mehrfachberechnung (GIS) bedeutet die Simulation für eine beliebig große Anzahl von Friedhöfen oder Flächen/Bodeneinheiten. Dabei kann ein Friedhof aus verschiedenen Bodeneinheiten bestehen, die durch unterschiedliche Substrate/Bodenarten gekennzeichnet sind. Dies legt der Anwender durch die Anzahl der Datensätze im GIS OpenJump fest.

2.2.1 Einstellungen Mehrfachberechnung (GIS)

Hierzu muss vorab ein bestehendes Projekt geöffnet oder ein Geodatensatz mit Bodeninformationen eingeladen werden (siehe Kapitel 5).

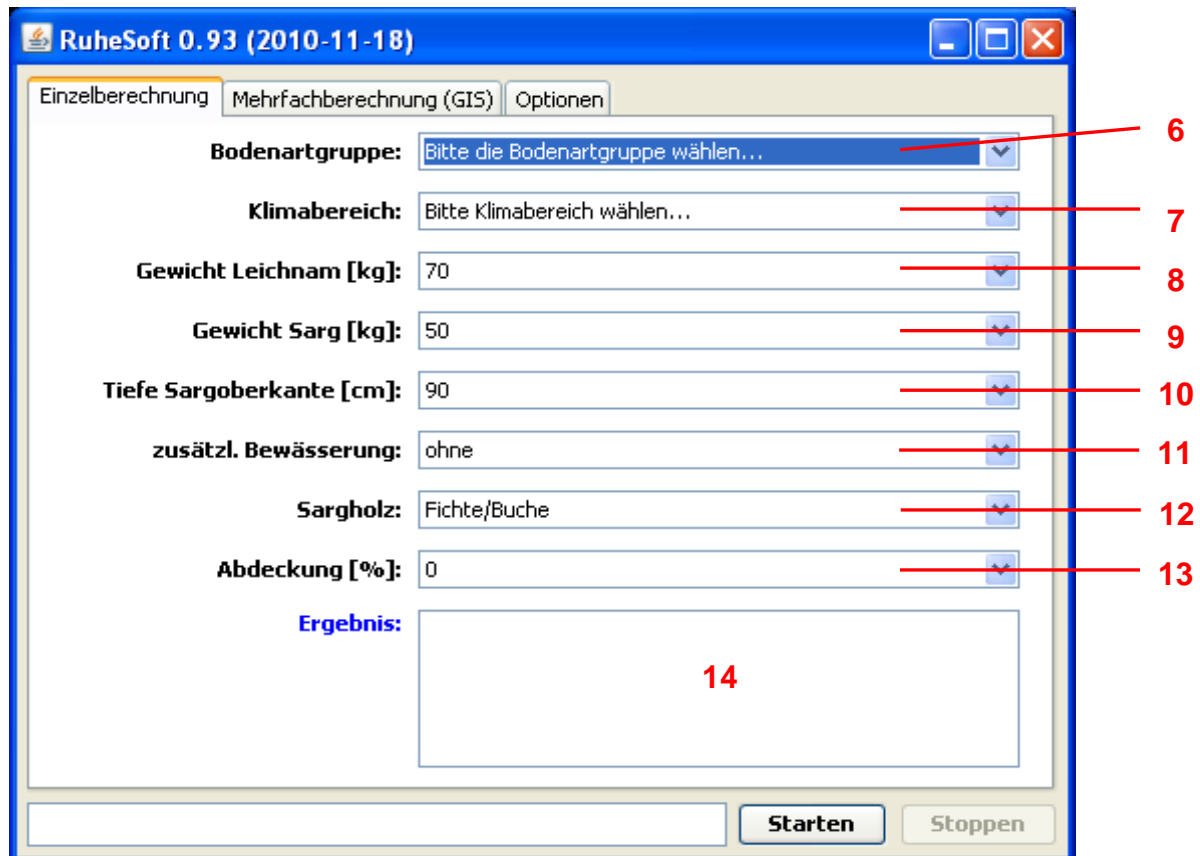
Die erforderlichen Eingangsdaten für die Simulation werden wie folgt festgelegt:

- Die Bodeninformation wird aus dem Geodatensatz entnommen. Durch die Auswahl des entsprechenden Layer steuert RuheSoft entsprechende Attributfelder an, die der Anwender eingerichtet hat. (siehe Funktionsbeschreibung Dialog „Mehrfachberechnung“)
- Im Reiter Einzelberechnung (Kapitel 2.2.2) muss zusätzlich der Klimabereich gewählt werden, während alle anderen Parameter als Standard voreingestellt sind, aber natürlich verändert werden können.



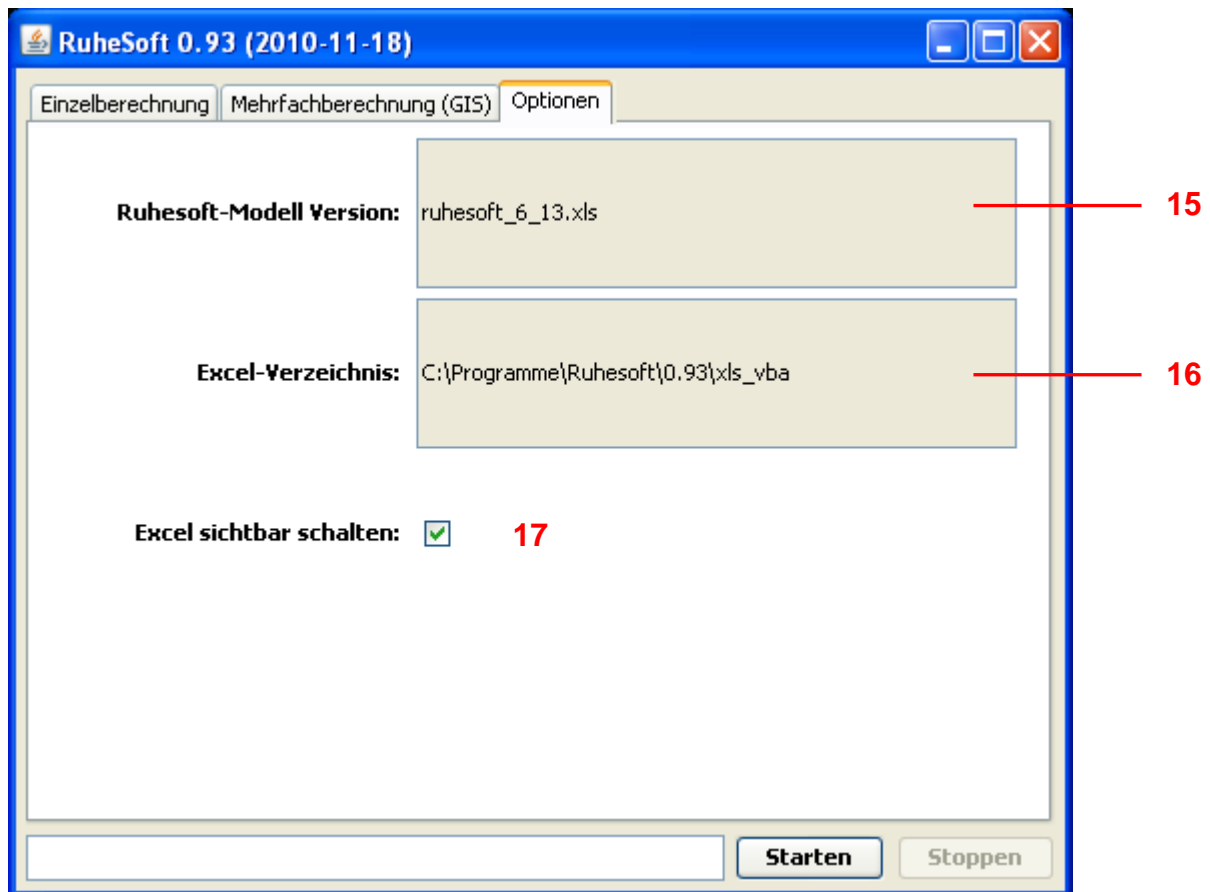
Funktionsbeschreibung Dialog „Mehrfachberechnung (GIS)“	
1	Layer für Bodenart-Optionen Es ist ein Layer/Thema in OpenJump auszuwählen, in dem bodenkundliche Informationen zum Friedhof hinterlegt sind.
2	Attributfeld für Bodenart-Optionen Hier ist das Datenfeld mit den Bodeninformationen auszuwählen. Beachten: Wird das Attributfeld für die Bodenart als Eingangsparameter der Ruhefrist-Berechnung ausgewählt, dann erfolgt für jeden Datensatz (Geometrie) eine individuelle Berechnung der Ruhefrist. Die Dateneingabe hat nach den Vorgaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 zu erfolgen. Ohne GIS-Anbindung ist die Auswahl der Bodenartengruppe im Reiter Einzelberechnung zu verwenden.
3	Attributfeld für Ruhefrist-Optionen Hier ist das Datenfeld für die zu berechnende Ruhefrist auszuwählen.
4	Attributfeld für Ruhefrist-Klasse-Optionen Die berechnete Ruhefrist wird in Klassen umgesetzt. Der Wert wird in das gewählte Feld eingetragen.
5	Berechnung starten nach Dateneingabe in den Reitern <i>Einzelberechnung</i> und <i>Optionen</i>

2.2.2 Einstellung der Simulationsparameter



Funktionsbeschreibung Dialog „Einzelberechnung“	
6	Bodenartengruppe-Optionen Auswahl der Bodenartengruppe nach KA5
7	Klimabereich-Optionen Auswahl Klimabereich. Anwenderhinweis Klimadaten
8	Gewicht Leichnam [kg]-Optionen Auswahl des Gewichtes des zu Bestattenden. STANDARDWERT: 70 kg
9	Gewicht Sarg [kg]-Optionen Auswahl des Sarggewichtes. STANDARDWERT: 50 kg.
10	Tiefe Sargoberkante [cm]-Optionen Auswahl der Sarg-Erd-Überdeckung. STANDARDWERT: 90 cm
11	Zusätzliche Bewässerung Auswahl einer zusätzlichen Bewässerung. STANDARDWERT: ohne
12	Sargholz Auswahl der verwendeten Sargholzart. STANDARDWERT: Fichte/Buche
13	Abdeckung [%] Auswahl einer Grababdeckung. STANDARDWERT: 0
14	Status/Ergebnis Ermittelte Verwesungszeit/erforderliche Ruhefrist

2.2.3 Einstellungen Optionen



Funktionsbeschreibung Dialog „Optionen“	
15	RuheSoft-Model-Version Einstellung der aktuelle Ruhesoft-Version
16	Excel-Verzeichnis Angabe Arbeitsverzeichnis Excel
17	Excel sichtbar schalten-Optionen Die Berechnung in Excel kann sichtbar geschaltet werden.

3. GRUNDLAGENDATEN UND MODELLIERUNGSVERFAHREN

Um RuheSoft für die Berechnung der Ruhefrist nutzen zu können, müssen vom Anwender zunächst einige Grundlagendaten für das System bereitgestellt werden.

In RuheSoft sind 2 unterschiedliche Datentypen erforderlich:

- Bodendaten
- Geodaten

3.1 BODENDATEN

Für den Friedhof sollten Bodeninformationen vorliegen, aus denen hervorgeht, ob

- es innerhalb der Friedhofsfläche Unterschiede in der Horizont- und Substratabfolge gibt.
- es eine räumliche Differenzierung in Bodeneinheiten gibt.
- Wassereinfluss auf dem Friedhof vorhanden ist. Hierbei ist eine Differenzierung in Grund-, Stau- oder Haftwasser sinnvoll.

Sofern ein bodenkundliches Gutachten vorliegt, können die entsprechenden Bodendaten meist direkt übertragen werden.

Liegen keine Information über Boden und Wassersituation auf dem Friedhof vor, so sollte zunächst versucht werden, mit einfachen Mitteln Grundlagen zu erarbeiten.

Da in den meisten Fällen schon einmal Grufte für die Erdbeisetzung angelegt wurden, sollte auch eine gewisse Kenntnis über unterschiedliche Böden auf dem Friedhof vorhanden sein. Handelt es sich um einheitliche Böden, die ein immer wiederkehrendes Muster erkennen lassen, so könnte die nächste Anlage einer Grufte die Möglichkeit bieten, aus verschiedenen Tiefen eine Bodenprobe zu entnehmen und diese als Grundlage für die Bewertung der Ruhefrist zu verwenden.

Hierzu wird z.B. aus den Tiefen 60 cm, 90 cm, 120 cm, 150 cm und 180 cm jeweils ca. 50 bis 100 g Boden entnommen und getrennt in Plastiktüten (z.B. Gefrierbeutel) verpackt.

Über die Ingenieurgesellschaft **entera** kann dann anschließend eine Bestimmung der Bodenart erfolgen und die Berechnung der Ruhefrist durchgeführt werden.

Sofern es sich um sehr wechselhafte Boden- und Wasserverhältnisse handelt, wird die Erstellung eines bodenkundlichen Gutachtens empfohlen.

Die Verwendung von Bodenkarten im Maßstab 1:50.000 und größer hingegen liefert nicht die erforderliche räumliche Auflösung, so dass entsprechende Details nicht erfasst werden können.

3.2 DATENEINGABE BODEN

Die Einteilung der Bodenarten erfolgt nach der "Bodenkundlichen Kartieranleitung" (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 5. Auflage, Hannover 2005).

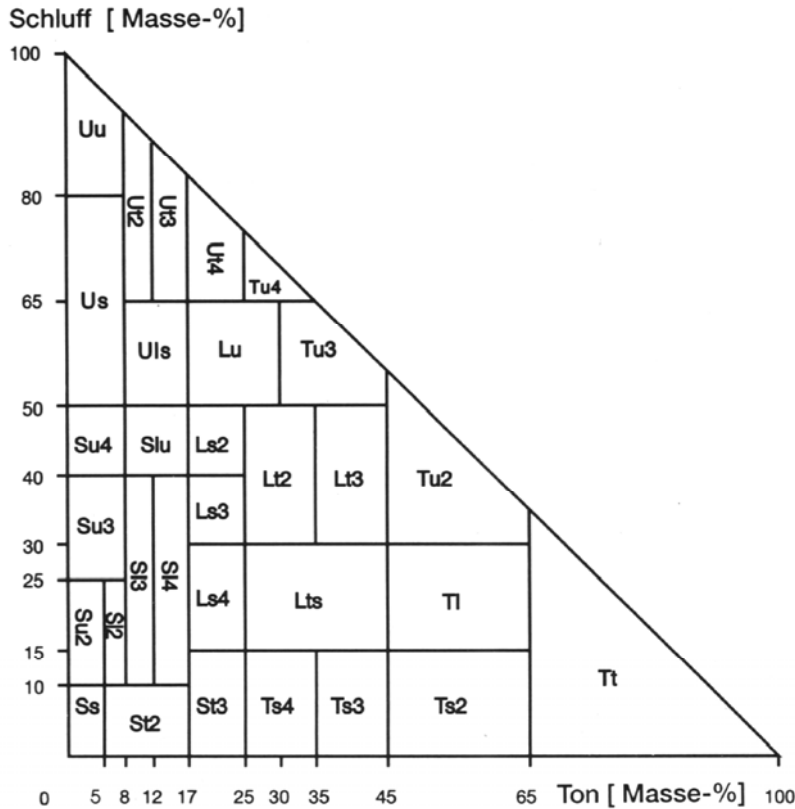
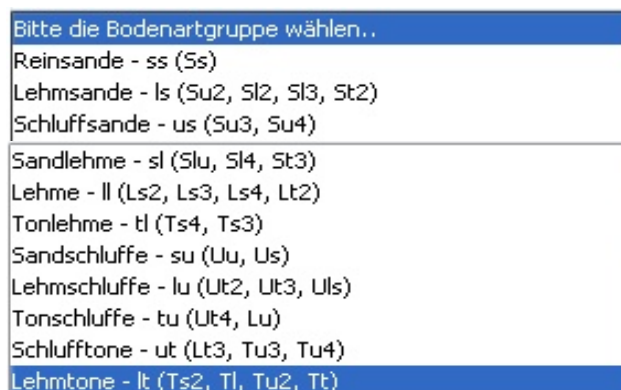


Abbildung 1: Bodenartendiagramm der Bodenartenuntergruppen des Feinbodens (nach KA5, 2005)

Nach den Vorgaben der KA5 (S. 142 ff) können Bodenarten zu Bodenartengruppen aggregiert werden.

In RuheSoft wird die Bodenartengruppe im Reiter **Einzelberechnung** ausgewählt.



Mit der Auswahl der **Bodenartengruppe** erfolgt eine Einzelfallberechnung basierend auf dieser Bodenartengruppe. Das Ergebnis wird im Reiter **Einzelberechnung** im Feld **Ergebnis** angezeigt.

3.3 DATENEINGABE FÜR MEHRFACHBERECHNUNG (GIS)

Die Berücksichtigung von Bodendaten kann in RuheSoft an 2 verschiedenen Stellen erfolgen.

Über **RuheSoft** > **Mehrfachberechnung (GIS)** > **Attributfeld für Bodenart** erfolgt ein Verweis auf datensatzspezifische Bodeninformationen, die in der Shape-Datei hinterlegt sind. Durch die Simulation in RuheSoft erfolgt somit auch eine individuelle Berechnung der Ruhefrist. Es sind hierzu die entsprechenden Kürzel der Bodenart nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 zu verwenden (3.2.1)

Das Ergebnis der Berechnung wird über die definierte GIS-Anbindung in die Shape-Datei geschrieben

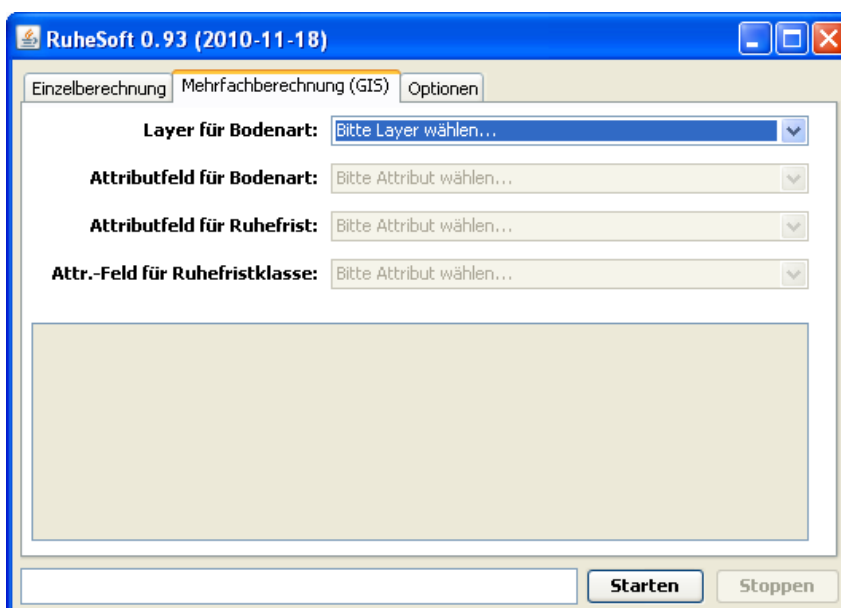
Erfolgt keine Auswahl bei den Optionen **GIS-Anbindung**, dann muss eine Auswahl der **Bodenartengruppe** über den Reiter **Einzelberechnung** erfolgen. In diesem Falle wird eine Einzelfallberechnung ohne GIS-Anbindung durchgeführt.

3.4 DATENEINGABE IN RUHESOFT-STANDALONE

Über den Reiter Einzelberechnung erfolgt die Eingabe der Einzelparameter.

3.5 GEODATEN UND GIS-ANBINDUNG

Für die Nutzung von Geodaten in RuheSoft wird das Format shape verwendet, weil über die Datenbankfunktion (Attributtabelle) beliebige Sachdaten angebunden werden können. So wird dann auch das Ergebnis der Ruhefristenberechnung in das festgelegte Wertefeld übertragen.



3.6 DIE GRUNDLAGE - OPENJUMP

OpenJUMP ist ein Geografisches Informationssystem.

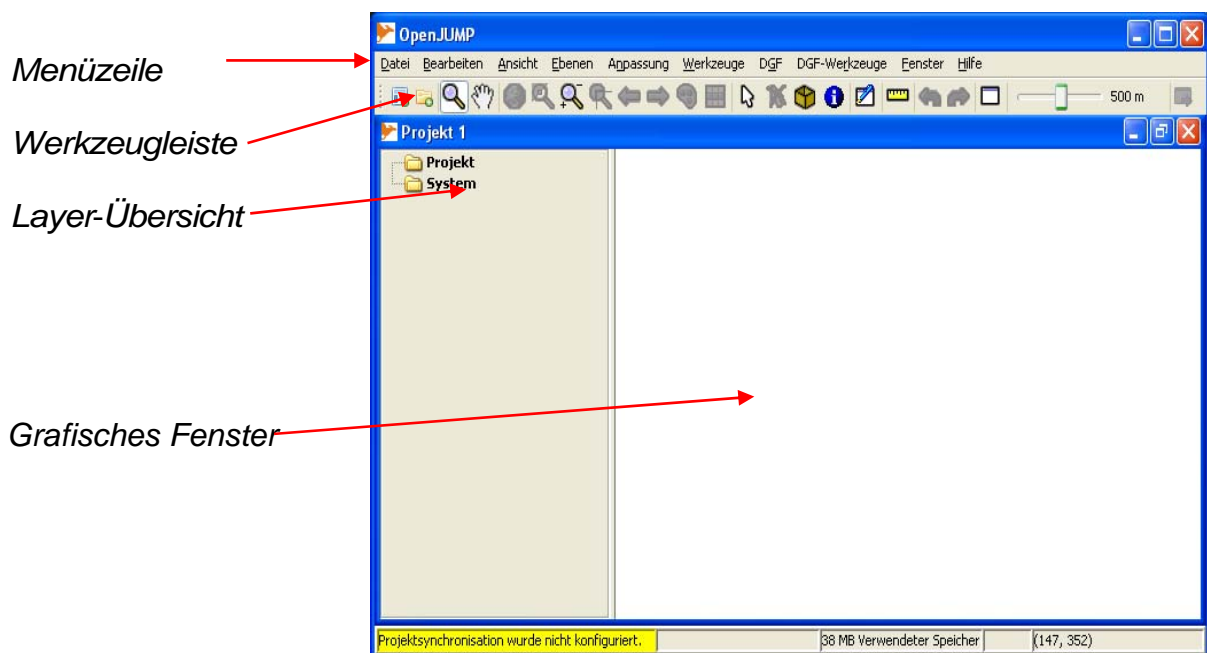
Der Name JUMP ist die Abkürzung für Unified Mapping Platform; das „J“ deutet auf die zugrunde liegende Programmiersprache „Java“ hin. Das „Open“ steht für „Open Source“ (Quelloffen), was bedeutet, dass der Quellcode des Programms jedermann zugänglich ist.

Es handelt sich bei OpenJUMP um ein vektorbasiertes GIS, dass durch verschiedene freie Zusatzmodule (Plugins) ergänzt werden kann.

Der Bildschirmaufbau von OpenJUMP

Nach dem Start von OpenJUMP erscheint zunächst ein leeres Projektfenster, das in mehrere Bereiche aufgeteilt ist:

- Layer-Übersicht (Layer List)
- Das grafische Fenster, in dem die Layer oder Informationsebenen dargestellt werden.
- Weiterhin sind eine horizontal verlaufende Menüzeile und eine Werkzeugleiste vorhanden



Die Grundfunktionen von OpenJump werden im Kapitel 5 erläutert.

Eine ausführliche Darstellung ist ansonsten das **OpenJUMP 1.2 Tutorial** von DALUGUE.

3.7 DAS MODELLIERUNGSKONZEPT

Mit dem Modell wird die eindimensionale O₂-Diffusion durch den Boden zum Sarg nachgebildet. Im Bereich des Sarges (Sargoberkante zwischen 60 cm bis 200 cm) wird ein temperaturabhängiger maximaler Sauerstoffverbrauch angenommen, der nach TIBETT UND CARTER (2008) berechnet wurde. In den obersten 30 cm wird ein O₂-Verbrauch durch die Bodenatmung vorausgesetzt (14, 10 und 8 mg O₂ m⁻² h⁻¹ cm⁻¹), welcher ebenso wie der Sauerstoffverbrauch bei der Verwesung temperaturabhängig ist.

Die Diffusion wird wieder mit der Diffusionsgleichung 1 beschrieben.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_S \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \pm S(z, t) \quad \text{Gleichung 1}$$

- mit c: Konzentration (cm³ cm⁻³)
t: Zeit (h)
D_S: scheinbarer Diffusionskoeffizient des betreffenden Gases (m² s⁻¹)
z: Tiefe (cm)
S: Senken-/Quellenterm (m⁻² h⁻¹ cm⁻¹)

Hierbei wird der Diffusionskoeffizient nach Gleichung 2 berechnet:

$$D_S = D_A \cdot 0.66 \cdot f \cdot \left(\frac{\varepsilon}{f} \right)^{\frac{12-m}{3}} \quad \text{Gleichung 2}$$

- mit DS: scheinbarer Diffusionskoeffizient des betreffenden Gases im Boden (m² s⁻¹)
DA: Diffusionskoeffizient des betreffenden Gases in Luft (m² s⁻¹)
f: Porosität (=Gesamtporenvolumen; m³ m⁻³)
ε: Luftgehalt (m³ m⁻³)
m=3: ungestörtes natürliches Porensystem
m=6: gestörtes Porensystem gepackter Proben

Für die numerische Lösung der Gleichungen werden folgende Anfangs- und Randbedingungen verwendet:

- Anfangsbedingungen: O₂-Konzentrationen für alle Tiefen von 21 Vol% an der Bodenoberfläche bis 0% an der Unterkante des Profils in 300 cm.
- obere Randbedingung: Konzentration der angrenzenden Atmosphäre (c = const = 0.21 cm³O₂ cm⁻³ Luft = 21 Vol% O₂)
- untere Randbedingung in 4 m Tiefe: Konzentration = 0.

Die O₂-Diffusion zum Sarg ist im Wesentlichen vom Verbrauch und den Diffusionskoeffizienten im Boden abhängig. Die Luftgehalte wurden aus den Wassergehalten und den Gesamtporenvolumina im Boden berechnet. Dabei wurden die Wassergehalte als Monatsmittelwerte aus Klimadaten des DWD (Jahr) und der FAO (Jahr) berechnet

Für jeden Monat rechnet das Modell so lange, bis ein quasi-stationärer Zustand erreicht ist, die O₂-Konzentration in Abhängigkeit von Diffusionskoeffizient und Verbrauch sich also zeitlich nicht mehr ändert. Für diesen Zeitpunkt wird der jeweilige O₂-Fluss zum Sarg ermittelt. Für jeden der 12 Monate gibt es somit einen Wert für den O₂-Fluss zum Sarg. Aus der Summe der Flüsse hochgerechnet auf ein Jahr ergibt sich der jährliche O₂-Fluss zum Sarg.

Der Gesamtverbrauch für die Verwesung eines 70 kg schweren Leichnams wurde mit 50 kg O₂ angenommen (WESTPHAL 2004, SCHOENEN UND ALBRECHT 2003). Aus den jährlichen O₂-Flüssen zum Sarg kann dann als Verwesungsdauer der Zeitraum abgeschätzt werden, in dem 50 kg O₂ zum Sarg diffundiert sind.

Der Einfluss der Bewässerung eines Grabes kann über zwei Bewässerungsklassen (mittel und hoch) abgeschätzt werden. Hierzu wurden Bewässerungsmengen auf Friedhöfen aus Praxis und Literatur recherchiert und neue Monatsmittelwerte der Wassergehaltsverteilung wurden berechnet. Durch die Wassergehaltserhöhung kommt es zur Reduzierung des Diffusionskoeffizienten und die Verwesungszeit wird neu berechnet.

Die Frage des Einfluss von Grababdeckungen wird indirekt durch die Festlegung von Mindestanforderungen für Grababdeckungen an einem berechneten Standort gegeben. Hierbei wird die notwendige diffusionsoffene Fläche, die eine Grababdeckung bieten muss, damit keine Beeinflussung des Verwesungsprozesses zu erwarten ist, abgeschätzt. Danach erfolgt eine Einordnung der zusätzlichen Gefährdung der schädlichen Beeinträchtigung des Verwesungsprozesses durch Grababdeckung für den berechneten Standort.

3.8 ANWENDUNG DER MODELLIERUNG

Mithilfe des Modells *Hydrus* wurde der Jahresgang des Bodenwassergehaltes hinsichtlich der Tiefenverteilung vorberechnet.

Dabei wurden verschiedene Szenarien in Abhängigkeit von klimatischer Wasserbilanz (klassifiziert) und Bodenartengruppe vorberechnet, die der RuheSoft-Anwender über die Auswahl der Simulationsparameter abrufen kann.

4. DATENGRUNDLAGE DER RANDBEDINGUNGEN

4.1 KLIMADATEN

Niederschlag und Verdunstung entscheiden über die Bodendurchfeuchtung und beeinflussen somit den Bodenwasser- und Bodenwärmehaushalt.

Als Kenngröße wird die klimatische Wasserbilanz verwendet.

4.1.1 KWBa

Die klimatische Wasserbilanz (KBWa) ist definiert als Differenz zwischen von Niederschlagshöhe und Höhe der potentiellen Verdunstung (ETP). Dazu werden langjährige (möglichst 30 Jahre) Daten der nächstgelegenen Klimastation verwendet.

Eine positive klimatische Wasserbilanz an einem Ort zeigt an, dass mehr Niederschlag fällt, als durch Verdunstung abgegeben wird. Bei einer negativen Bilanz hingegen wird mehr Wasser verdunstet als in Form von Niederschlägen zugeführt wird.

Die KWBa wird wie folgt klassifiziert:

KWBa	Kurzzeichen	Bezeichnung
[mm]	KWBa	
<0	0	extrem gering
0 bis < 100	1	sehr gering
100 bis < 200	2	gering
200 bis < 300	3	mittel
300 bis < 400	4	hoch
400 bis < 600	5	sehr hoch
>600	6	extrem hoch

Für 80 Standorte in Deutschland wurde durch den Deutschen Wetterdienst bereits eine Berechnung der KWBa durchgeführt (Abbildung 1).

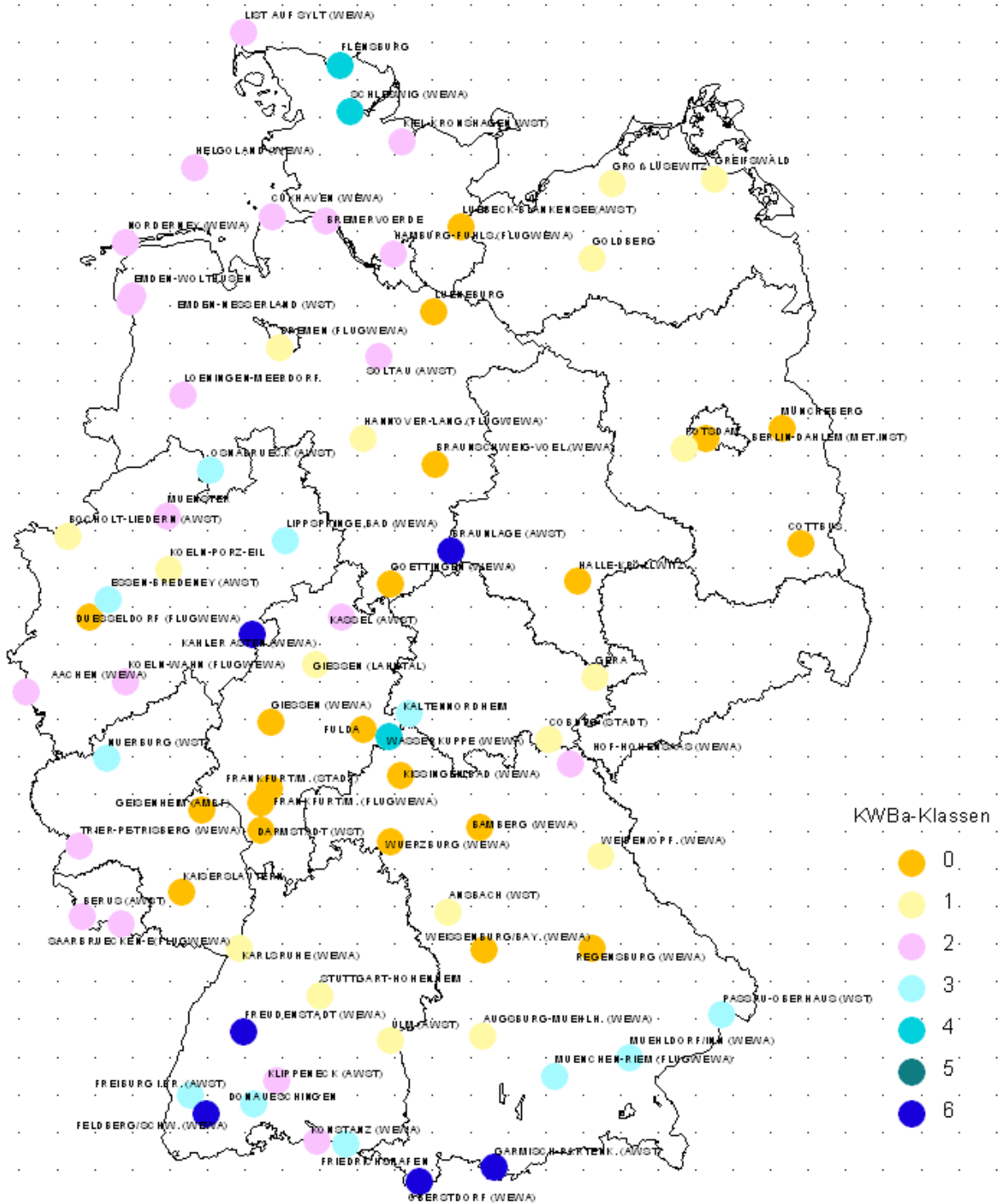


Abb. 1: Klimatische Wasserbilanz an 80 Standorten in Deutschland (EIGENE DARSTELLUNG)

4.2 BODENWASSERGEHALT/ DIFFUSIONSKOEFFIZIENT

Aus der klimatischen Wasserbilanz ist in Abhängigkeit von der Bodenart eines Standortes die Tiefenverteilung des Jahresganges des Bodenwassergehaltes als Monatsmittelwert berechnet werden. Diese Daten fließen in das Modell ein und sind für die programmierten Standortbedingungen in RuheSoft hinterlegt.

Alle Daten sind für die Hauptbodenarten nach KA5 (2005) ermittelt worden. Diese umfassen:

- Sande (ss)
- Lehmsande (ls)
- Schluffsande (us)
- Sandlehme (sl)
- Lehme (ll)
- Tonlehme (tl)
- Sandschluffe (su)
- Lehmschluffe (lu)
- Tonschluffe (tu)
- Schlufftone (ut)
- Lehmtone (lt)

Die Textur des Bodens wird hierbei von Sanden zu Lehmtönen immer feiner.

Die Daten werden dann auf ein standardisiertes Bodenprofil eines Friedhofsbodens angewendet. Dieses Profil wurde aus bodenkundlichen Profilaufnahmen verschiedenster Friedhofsboden gemittelt, wobei dies durch die Charakterisierung nach Lagerungsdichte (Ld) und Humusgehalt (h) durchgeführt wurde. Es ergibt sich ein Boden mit folgender Beschreibung:

- Horizont 1: 0 – 10 cm, h4 und Ld 2
- Horizont 2: 10 – 30 cm, h3 und Ld 2
- Horizont 3: 30 – 50 cm, h2 und Ld 3
- Horizont 4: 50 – 140 cm, h1 und Ld 3
- Horizont 5: 140 – 300 cm, h0 und Ld 3

Die Horizonte werden jeweils mit der gleichen Bodenartenhauptgruppe angenommen.

Aus den Wassergehaltsdaten wird für das Standardprofil die Verteilung des luftgefüllten Porenvolumens berechnet und aus diesem errechnet sich nach MOLDRUP (1997) der Diffusionskoeffizient, der ein essenzieller Parameter für die Berechnung der Diffusion ist.

4.3 BODENATMUNG

Wichtig für die Sauerstoffmenge, die in der Sargtiefe ankommt, ist auch der Sauerstoffverbrauch im Boden über dem Sarg. Hierbei ist v. a. die Bodenatmung zu betrachten, da sie signifikante Mengen an Sauerstoff verbraucht.

Die Bodenatmung beruht auf dem Abbau organischer Bodensubstanz durch Mikroorganismen sowie der Atmung der Pflanzenwurzeln unter Sauerstoffverbrauch. Um diese Prozesse zu berücksichtigen, wurde das Ausmaß der Bodenatmung abgeschätzt: Hierbei ergab sich, dass eine standortabhängige Abschätzung der Bodenatmung nicht sinnvoll ist, dass die Auswirkungen auf die Verwesungszeit irrelevant werden. Daher wurde aus Literaturdaten eine durchschnittliche Bodenatmung für die geographische Lage Deutschlands ermittelt und für die obersten 30 cm des Profils angenommen.

4.4 LEICHEN- UND SARGABBAU

Der Abbau von Leichnam und Sarg ist v. a. von zwei Faktoren abhängig: Zum einen bestimmt die Temperatur die maximal mögliche Abbaurate, falls keine Einschränkung der Sauerstoffnachlieferung vorliegt, und zum anderen verringert die Einschränkung der Nachlieferung die maximal mögliche Abbaurate.

Die Temperaturabhängigkeit des Leichenabbaus wurde nach TIBBETT UND CARTER (2008) abgeschätzt. Hierbei ergibt sich, dass die höchste maximale Abbaurate für einen 68 kg schweren Leichnam, ausgedrückt als Sauerstoffverbrauch, im Mai mit $67 \text{ g O}_2 \text{ d}^{-1}$ erreicht wird und die niedrigste im November mit $8,4 \text{ g d}^{-1}$.

Hierbei ist die maximale Abbaurate zusätzlich noch abhängig vom Körpergewicht des Bestatteten. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 2 verdeutlicht.

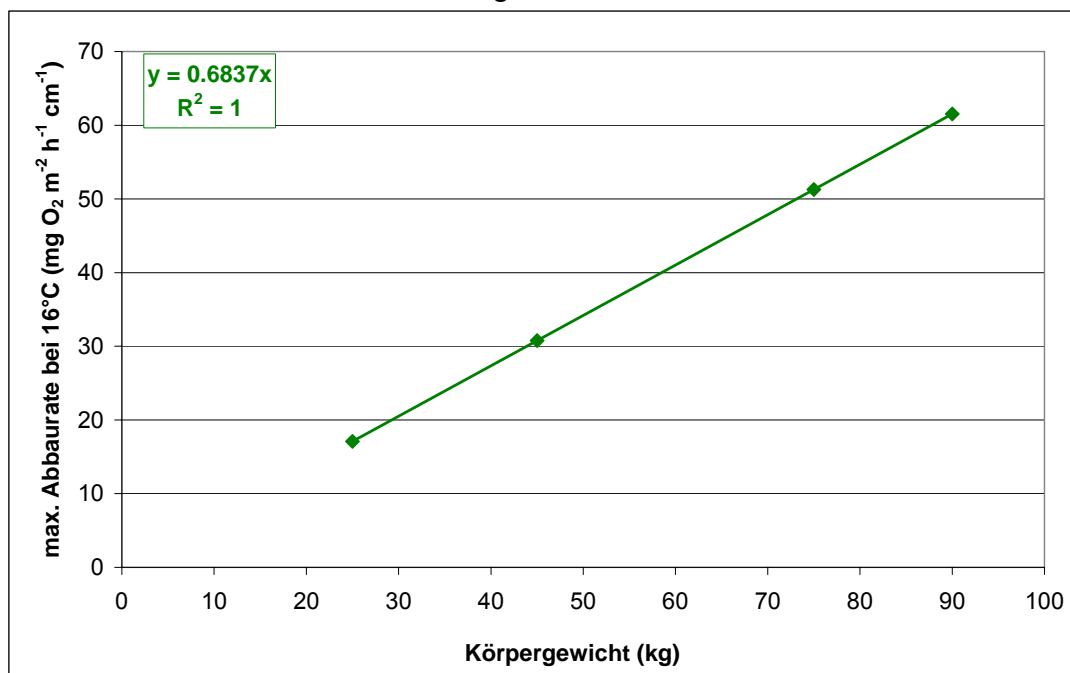


Abb. 2: Abhängigkeit der Abbaurate eines Leichnams in Abhängigkeit vom Gewicht des Leichnams (EIGENE DARSTELLUNG)

Hier zeigt sich, dass je schwerer ein Leichnam ist, desto höher ist die mögliche maximale Abbaurate. Insgesamt benötigt der Abbau eines schwereren Leichnams trotz dieses Zusammenhangs mehr Zeit als der Abbau eines leichteren Leichnams.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass, falls durch den Boden eines Standortes diese Menge Sauerstoff nachgeliefert wird, die dem Sauerstoff entsprechende Menge an organischer Substanz (Leiche) abgebaut wird. Falls jedoch der Boden weniger Sauerstoff nachliefert wie benötigt wird, dann wird maximal die Menge an organischer Substanz abgebaut, die der Menge an nachgeliefertem Sauerstoff entspricht.

Die Berechnungen zum Holzabbau erfolgen analog zu den Berechnungen zum Leichenabbau. Der Zusammenhang zwischen Sarggewicht und maximaler Abbaurrate ist in Abb. 3 dargestellt, wobei die maximale Abbaurrate für 2 Holzklassen ermittelt wurde. Die Klasse Lärche/Kiefer/Eiche steht hierbei für schwerer abbaubare Hölzer und die Klasse Fichte/Buche für leichter abbaubare.

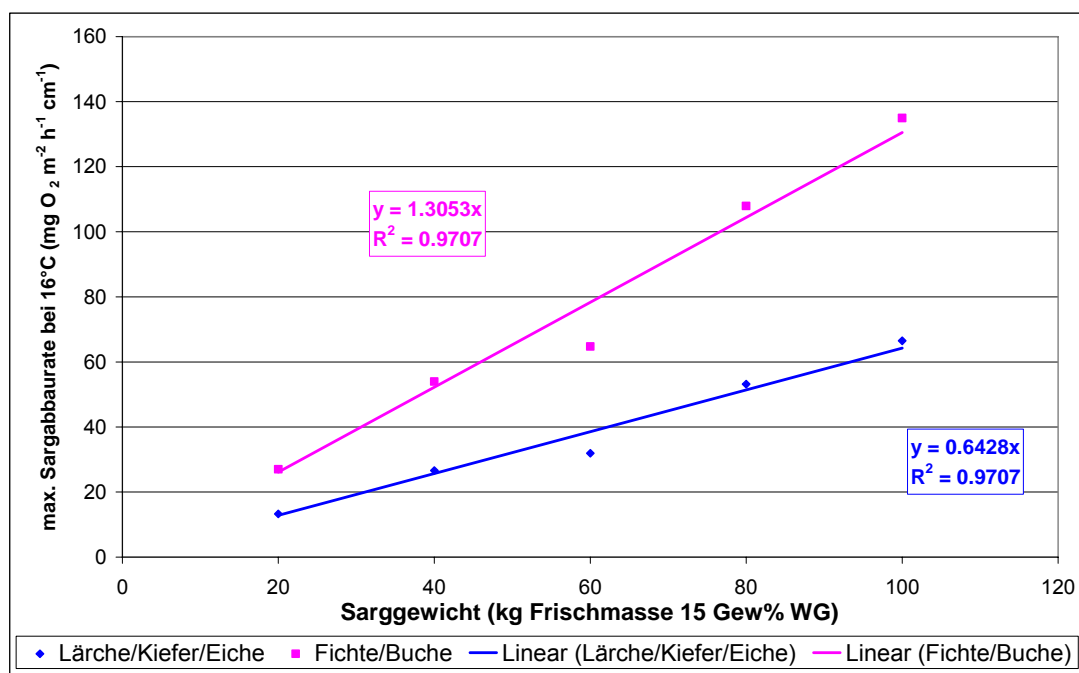


Abb. 3: Abhängigkeit der Abbaurrate eines Leichnams in Abhängigkeit vom Gewicht des Leichnams (EIGENE DARSTELLUNG)

Auch hier zeigt sich eine Zunahme der maximalen Abbaurrate mit dem Gewicht des Sarges, aber die Gesamtabbauzeit ist trotz der höheren maximalen Abbaurrate bei schwereren Särgen länger.

4.5 BEWÄSSERUNG

Die Bewässerung auf Friedhöfen wurde aus Daten aus Literatur und Praxis abgeschätzt. Die verwendeten Daten sind in Tab. 1 aufgeführt.

Quelle	Bewässerungsmenge (mm)	Jahr (falls angegeben)
Abteilung Friedhöfe und Bestattung des OsnabrückerServiceBetriebs der Stadt Osnabrück	74	2008
Abteilung Friedhöfe und Bestattung des OsnabrückerServiceBetriebs der Stadt Osnabrück	100	2009
Abteilung Friedhöfe und Bestattung des OsnabrückerServiceBetriebs der Stadt Osnabrück (Bewässerung jedes 3. Grabes)	222	2008
Abteilung Friedhöfe und Bestattung des OsnabrückerServiceBetriebs der Stadt Osnabrück (Bewässerung jedes 3. Grabes)	300	2009
Energiekonzept-Gutachten für den Hauptfriedhof der Stadt Frankfurt am Main	290	2003
VIEHWEG (1995) in TASPO	188	
Funebris (2010) (http://funebris.de/CYCLO_ARBOVIT.php)	900	
WOURTZAKIS (2002)	50, 100, 500, 1000	

Tab. 1: Daten aus Literatur und Praxis zur Bewässerung von Grabflächen auf Friedhöfen.

Aus den Bewässerungsmengen konnten zwei Bewässerungsklassen ermittelt werden. Zum einen die Klasse „mittlere Intensität“, die durch eine Bewässerung von 250 mm im Sommerhalbjahr zusätzlich zum Niederschlag definiert ist und zum anderen die Klasse „hohe Intensität“, die durch eine Bewässerungsmenge von 1000 mm im Sommerhalbjahr zusätzlich zum Niederschlag definiert ist. Bei den Neuberechnungen

der Bodenwassergehaltsverteilung wird hierbei davon ausgegangen, dass sich die Bewässerung über die Monate April bis September gleichmäßig verteilt.

Der Einfluss von Grabbewässerung kann also für die drei Stufen keine Bewässerung, Bewässerung mit mittlerer und hoher Intensität geprüft werden.

4.6 GRABPLATTEN

Der Faktor der Grababdeckung wird im Programm von zwei Seiten betrachtet. Zum einen wird betrachtet, unter welchen technischen Voraussetzungen (Ausmaß der Undichtigkeit) eine Grababdeckung voraussichtlich keine negativen Auswirkungen auf den Verwesungsprozess hätte.

Zum anderen wird betrachtet, wie sich die potentielle Einschränkungen des Sauerstoffflusses durch eine Grababdeckung auf die Verwesungszeit an einem Standort auswirken würde. Dies geschieht jeweils als Wenn-Dann-Analyse. Die Ergebnisse sind in diesem Sinne wie folgt zu verstehen: Falls ein Standort die Eigenschaften X aufweist und falls eine Grababdeckung den Sauerstofffluss in den Boden um Y % einschränkt, dann würde sich eine Verwesungszeit von Z Jahren ergeben.

4.6.1 Technische Anforderungen an Abdeckungen

Die vollständige Abdeckung eines Grabes stellt eine Versiegelung der Oberfläche dar. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass eine Grababdeckung gasundurchlässig ist. Sauerstoff kann also nur durch gewollte oder herstellungsabhängige Undichtigkeiten unter die Abdeckung diffundieren (z. B. eine Fuge zwischen der aufliegenden Grabplatte und der Grabeinfassung). Weiter wird davon ausgegangen, dass unter der Grababdeckung ein Hohlraum vorhanden ist, in dem sich der durch die Abdeckung diffundierende Sauerstoff gleichmäßig über die gesamte Grabfläche verteilen kann. Ein direktes Aufliegen der Abdeckung auf dem Boden wird also nicht berücksichtigt.

Da keine Messungen vorliegen und auch keine Literatur existiert, kann an dieser Stelle die Einschränkung des Flusses durch eine Grababdeckung nur abgeschätzt werden:

Hierzu wird angenommen, dass ein Grab eine Fläche von 2 m x 1 m (2m²) umfasst und die Grababdeckung das Grab zu 100 % bedeckt. Des Weiteren wird eine umlaufende Fuge zwischen Grabeinfassung und Grabplatte angenommen. Weiter beträgt die Sauerstoffkonzentration der Atmosphäre 21 Vol % O₂ (0,21 m³ O₂ m⁻³ Luft) und die Sauerstoffkonzentration direkt unter der Grabplatte wird mit 10 Vol% O₂ (0,10 m³ O₂ m⁻³ Luft) angenommen. Die Konzentrationsdifferenz beträgt also 11 Vol % O₂. Die Breite der Grabeinfassung wird nach TA GRABMAL (2009) mit min. 4 und max. 10 cm festgelegt, sie entspricht der Diffusionsstrecke Δz. Mit diesen Annahmen kann nach

Gleichung 3 der mögliche O₂-Fluss durch Lücken in der Grababdeckung berechnet werden.

$$q(O_2)_G = D_L \cdot \frac{(c_{\text{au\ss}en} - c_{\text{innen}})}{\Delta z} \quad \text{Gleichung 3}$$

mit $q(O_2)_G$: möglicher O₂-Fluss [mg O₂ cm⁻² h⁻¹] durch Lücken in der Grababdeckung
 D_L : Diffusionskoeffizient von O₂ in Luft [712,8 cm² h⁻¹ nach HILLEL, 1998]
 $c_{\text{au\ss}en}$: Luftsauerstoffkonzentration [21 Vol% O₂ ⇔ 161,28 mg O₂ cm⁻³]
 c_{innen} : O₂-Konzentration direkt unter der Grababdeckung [10 Vol% O₂ ⇔ 76,8 mg O₂ cm⁻³]
 Δz : Diffusionsstrecke bzw. Dicke der Grabeinfassung [cm]

Dieser Fluss muss dann zu dem Fluss in Bezug gesetzt werden, der ohne Grababdeckung an einem Standort möglich ist. Die Berechnung erfolgt intern in RuheSoft. Das Jahresmittel des berechneten Sauerstoffflusses muss hierbei auf die Grabfläche bezogen werden, so dass Q(O₂) (vgl. Gleichung 4) berechnet wird.

$$Q(O_2) = q(O_2) \cdot A_{\text{Grab}} \quad \text{Gleichung 4}$$

mit $Q(O_2)$: berechnete O₂-Menge [mg O₂ h⁻¹], Jahresmittel
 $q(O_2)$: berechneter O₂-Fluss [mg O₂ m⁻² h⁻¹]; Jahresmittel aus RuheSoft
 A_{Grab} : Grabfläche [m²]

Aus dem Quotienten der in den Gleichungen 3 und 4 berechneten Werten $q(O_2)_G$ und $Q(O_2)$ (vgl. Gleichung 5) ergibt sich die Fläche der Grababdeckung, die diffusionsoffen sein muss, damit rechnerisch eine Beeinflussung des Verwesungsprozesses ausgeschlossen werden kann.

$$A_D = \frac{Q(O_2)}{q(O_2)_G} \quad \text{Gleichung 5}$$

mit A_D : Fläche der Grababdeckung, die diffusions-offen ist [cm²]: Loch-, Fugenfläche
 $Q(O_2)$: berechnete O₂-Menge [mg O₂ h⁻¹]; Jahresmittel
 $q(O_2)_G$: möglicher O₂-Fluss [mg O₂ cm⁻² h⁻¹]

Aus dem Quotienten von A_D und dem Umfang des Grabes ergibt sich dann die Breite des notwendigen Belüftungsspalt.

In Tab. 2 sind einige Beispiele für die Abschätzung des notwendigen Belüftungsspalt, den eine Grababdeckung haben müsste, für verschiedene Standorteigenschaften (Bodenart, KWBA) aufgeführt.

Bodenart	KWBA	Ruheklasse	mm Spalt bei 10 cm Breite der Grabeinfassung
ss	KWBA0	2	7.6
ss	KWBA3	2	7.1
ss	KWBA6	2	5.5
ll	KWBA0	4	2.4
ll	KWBA3	4	2.1
ll	KWBA6	7	1.1
ut	KWBA0	5	1.7
ut	KWBA3	6	1.3
ut	KWBA6	8	0.6
lt	KWBA0	8	0.1
lt	KWBA3	8	0.1
lt	KWBA6	8	0.1

Tab. 2: Einfluss von Bodenart und KWBA auf die notwendige Spaltbreite bei Grababdeckungen (Beispiele)

Hier zeigt sich, dass der notwendige Spalt mit zunehmend feinerer Textur kleiner wird. Die Einschränkung der Diffusion hat bei leichteren Böden und in trockeneren Klimabereichen also stärker Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung für die Verwesung als bei schwereren Böden und feuchteren Klimabereichen, da hier die Standorteigenschaften an sich schon teilweise stärkste Einschränkungen der Diffusion nach sich ziehen.

In weiteren abschätzenden Berechnungen mit RuheSoft wurde ermittelt, dass ab etwa 80 bis 90 % Einschränkung des Sauerstoffflusses in den Boden eine Auswirkung der geringeren Sauerstoffanlieferung auf den Verwesungsprozess zu erwarten ist.

Insgesamt wurde festgestellt, dass eine standortbezogene Einschätzung der Auswirkung von Grabplatten unverzichtbar ist, da je nach Gegebenheiten die Auswirkungen stark variieren können.

In erster Annäherung wird Einteilung in Grababdeckungsgefährdungsklassen vorgeschlagen:

Hierbei wird zugrunde gelegt, dass eine Spaltgröße von < 0.2 mm vernachlässigbar ist, da diese aufgrund der natürlichen Mess- und Verarbeitungstoleranz immer vorhanden sein müsste. Des Weiteren wird angenommen, dass die Gefährdung mit zunehmender notwendiger Spaltgröße steigt und dass in Ruheklasse 1 und 2 (< 10 Jahre) eine Grababdeckung keine Rolle spielt, da das Abbauverhalten hier optimal ist und auch stärkste Einschränkungen der Diffusion immer noch gute Resultate in der Ruhezeit ergeben. Ebenso kann die Gefährdung der Verwesung in den Ruheklassen 7 und 8 (> 30 Jahre) vernachlässigt werden, da eine Grababdeckung hier zu keiner wesentlichen Verschlechterung führt, da das Abbauverhalten aufgrund der natürlichen Gegebenheiten an solchen Standorten schon extrem schlecht ist.

In Tab. 3 wird eine Einstufung der zusätzlichen Gefährdung einer ordnungsgemäßen Verwesung durch eine Grababdeckung vorgeschlagen.

Ruheklasse \ notwendige Spaltbreite	1 < 5 Jahre	2 5 - 10 Jahre	3 10 - 15 Jahre	4 15 - 20 Jahre	5 20 - 25 Jahre	6 25 - 30 Jahre	7 30 - 50 Jahre	8 > 50 Jahre
< 0.2 mm	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2 - 1 mm	0	0	0	1	1	1	0	0
1 - 2 mm	0	0	1	2	2	2	1	0
2 - 4 mm	0	1	2	3	3	3	1	0
4 - 6 mm	0	1	3	3	3	3	2	0
> 6 mm	0	1	3	3	3	3	2	0

Tab. 3: Zusätzliche Gefährdung einer ordnungsgemäßen Verwesung durch eine Grababdeckung (0: keine zusätzliche Gefährdung; 3: hohe zusätzliche Gefährdung) 0 bedeutet keine zusätzliche Gefährdung, 1 geringe zusätzliche Gefährdung, 2 mittlere zusätzliche Gefährdung und schließlich 3 hohe zusätzliche Gefährdung.

4.6.2 Wenn-Dann-Analyse von Grababdeckungen

Bei der Wenn-Dann-Analyse der Auswirkungen von Grababdeckungen auf die Verwesungszeit eines spezifischen Standortes wird wie folgt vorgegangen:

Grundlegend für die Berechnungen ist hier die Annahme, dass eine Grababdeckung den Sauerstofffluss in den Boden einschränkt. Da hierzu keine Messergebnisse existieren wird von Einschränkungen des Flusses durch die Bodenoberfläche zwischen 50 und 99 % des Flusses ausgegangen.

Eventuelle Veränderungen der Bodenatmung, der Bodenwassergehalt, der Trockenrohdichte (durch die Verdichtung des Bodens für eine ausreichende Standfestigkeit der Abdeckung) und weitere denkbare Veränderungen der Bestattungsfaktoren werden nicht berücksichtigt. Insgesamt kann die Berechnung also Anhaltspunkte für die Auswirkung von Grababdeckung auf die Verwesungszeit geben, sie kann jedoch eine standortspezifische bodenkundliche Einschätzung nicht ersetzen.

Beispiel I:

Falls für einen Friedhofsstandort folgende Rahmenbedingungen gelten:

- KWBA 1
- Lehmsande
- 70 kg Leiche
- 50 kg Sarg (Fichte/ Buche)
- ohne Bewässerung

, dann würde eine Einschränkung des O₂-Flusses in den Boden von 80 % zu einer Verlängerung der Verwesungszeit von 0,5 Jahren (gleiche Ruheklasse) im Vergleich zum vollständigen Fluss führen. Eine Einschränkung des Flusses von 99 % würde in einer Verlängerung um 8 Jahre (Steigerung um 2 Ruheklassen) resultieren.

Beispiel II:

Falls für einen Friedhofsstandort folgende Rahmenbedingungen gelten:

- KWBA 3
- Lehme
- 70 kg Leiche
- 50 kg Sarg (Fichte/ Buche)
- ohne Bewässerung

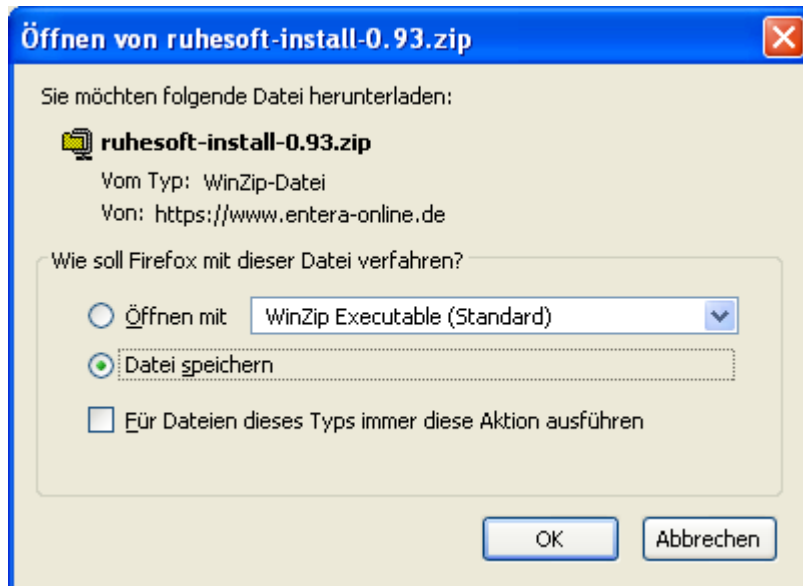
, dann würde eine Einschränkung des O₂-Flusses in den Boden von 80 % zu einer Verlängerung der Verwesungszeit von 1,5 Jahren (gleiche Ruheklasse) im Vergleich zum vollständigen Fluss führen. Eine Einschränkung des Flusses von 99 % würde in einer Verlängerung um 16 Jahre (Steigerung um 3 Ruheklassen) resultieren.

5. RUHESOFT IN DER ANWENDUNG

Mit der folgenden Anleitung wird in Einzelschritten erläutert, wie die Software installiert und eingerichtet wird.

5.1 DOWNLOAD

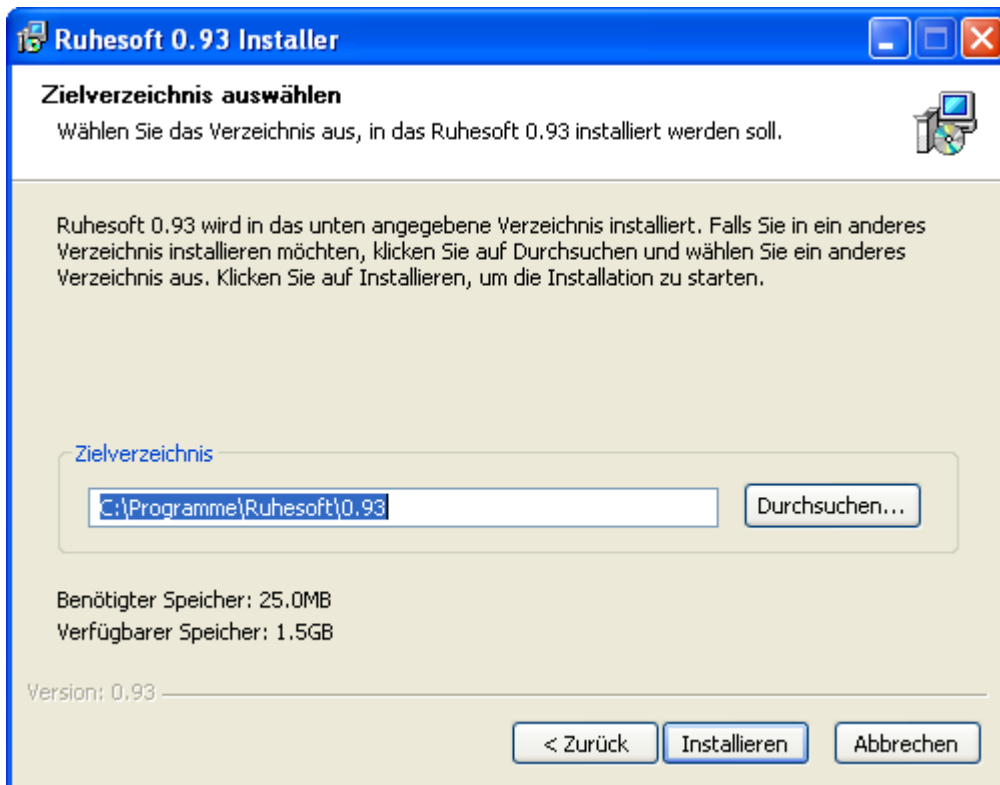
Die Installation wird als Download-Datei bereitgestellt



5.2 INSTALLATION



Bei Lokalanwendungen wird die Installation unter C:\Programme empfohlen.

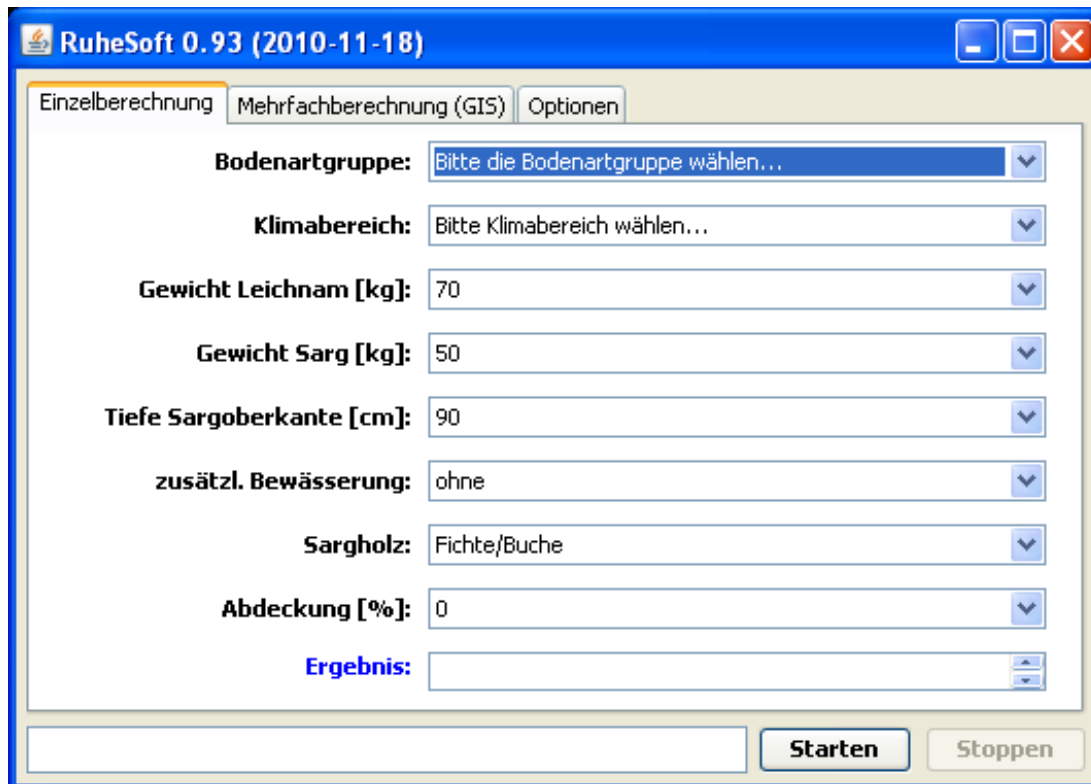


5.3 PROGRAMMSTART

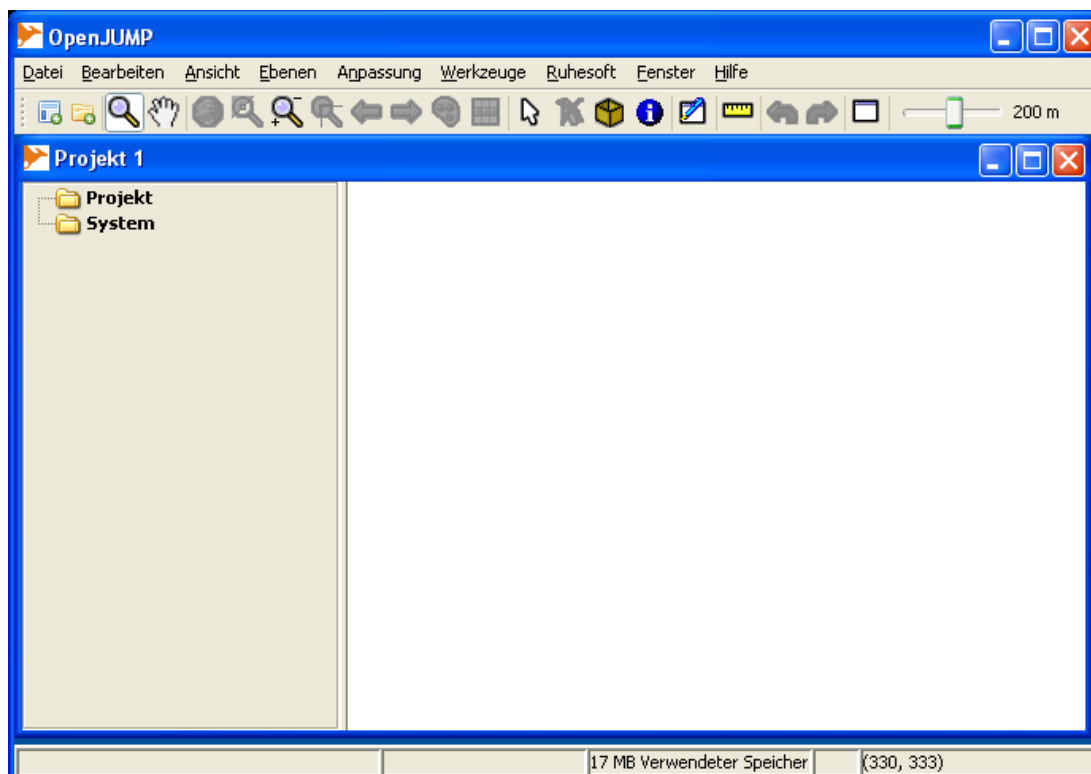
RuheSoft wird über START>PROGRAMME>RUHESOFT angesteuert.

Dort stehen die Stand-alone-Anwendung oder die GIS-Anwendung zur Verfügung.

5.3.1 Programmoberfläche RuheSoft als Stand-alone-Anwendung



5.3.2 Programmoberfläche RuheSoft OpenJump



5.4 ARBEITEN MIT RUHESOFT OPENJUMP

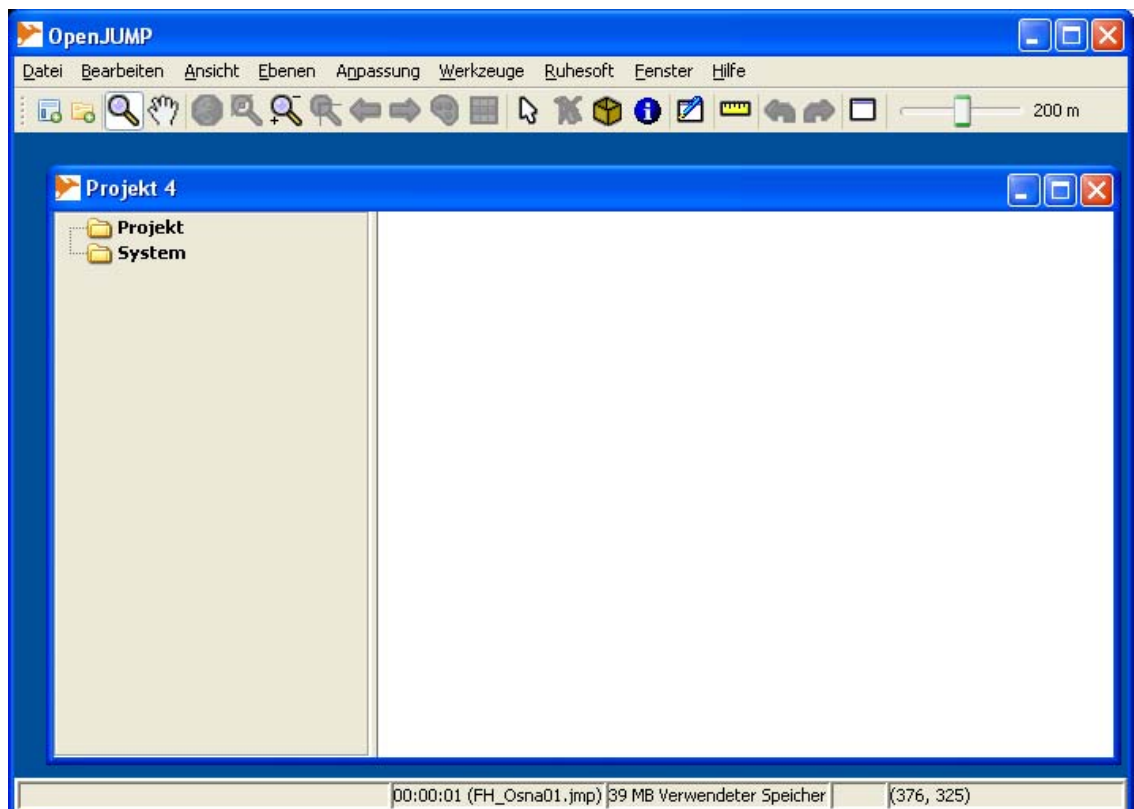
In OpenJump können mehrere Projekte gleichzeitig verwaltet und geöffnet werden.

Um ein neues Projekt anzulegen, gehen Sie wie folgt vor:

1. Sie starten OpenJump/DGF4; es erscheint ein leeres grafisches Fenster

Über das Menü **Datei>Neu>Neues Projekt** oder über das Werkzeug  wird ein neues Projektfenster angelegt.

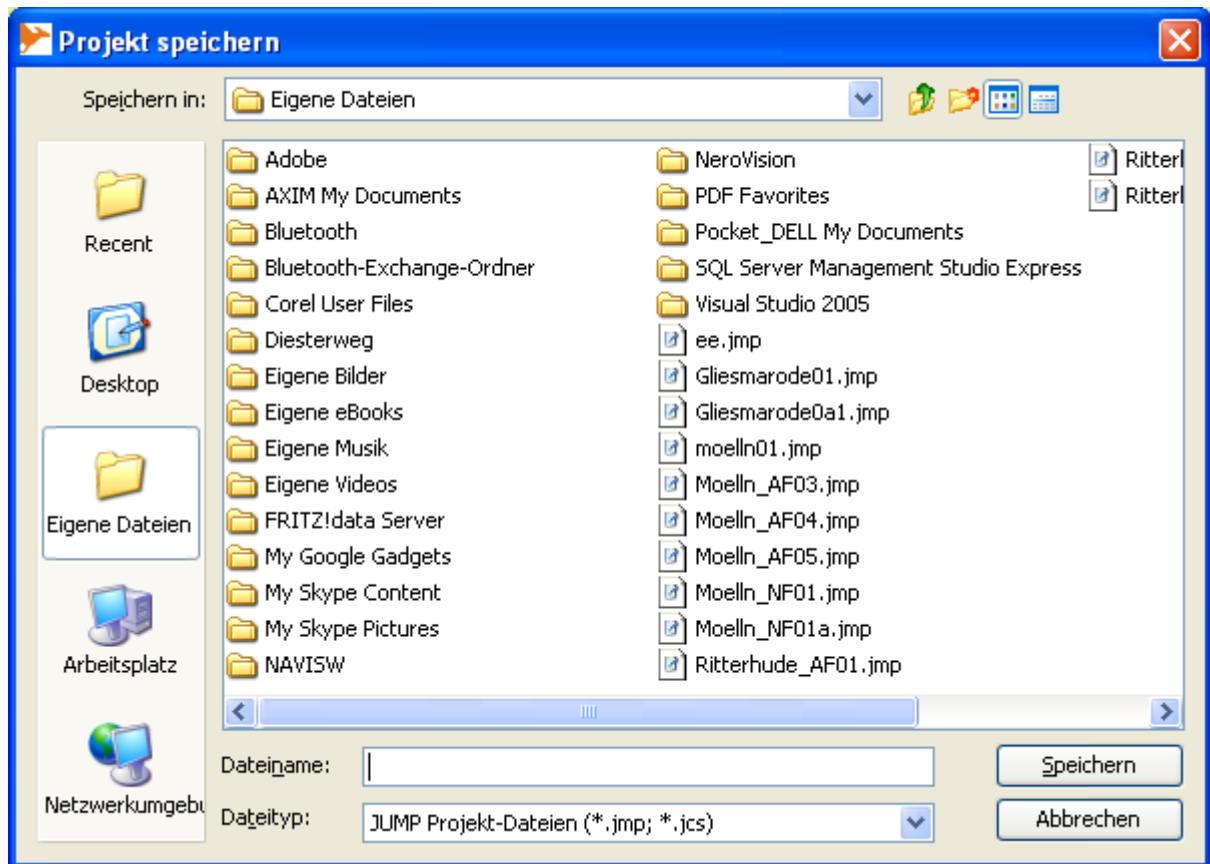
Das neue Projektfenster bekommt den Namen Projekt und eine laufende Nummer.



Unter **Datei>Projekt speichern als** sollte das Projekt gesichert werden.

Standardmäßig werden die Projekte unter Eigene Dateien abgelegt.

2. Dem Dateinamen sollte die **Endung .jmp** angefügt werden



5.4.1 Projekte öffnen

Unter **Datei > vor kurzem geöffnet** werden alle Projekte und Einzeldateien angezeigt, die bisher verwendet wurden.

5.4.2 Vorhandene Geodaten in ein Projekt einfügen

Vorhandene Geodaten können über **Datei>Datei öffnen** in ein Projekt eingeladen werden. Für die Erstellung eines DGF4-Projektes empfehlen wir die Verwendung von shape-Dateien.

Für ein DGF4-Projekt wird anschließend die Projektumgebung (Friedhof, Grabstellen-Thema und Grabstätten-Thema) über den Menüpunkt **DGF-Einstellungen>Projektumgebung einrichten** definiert.

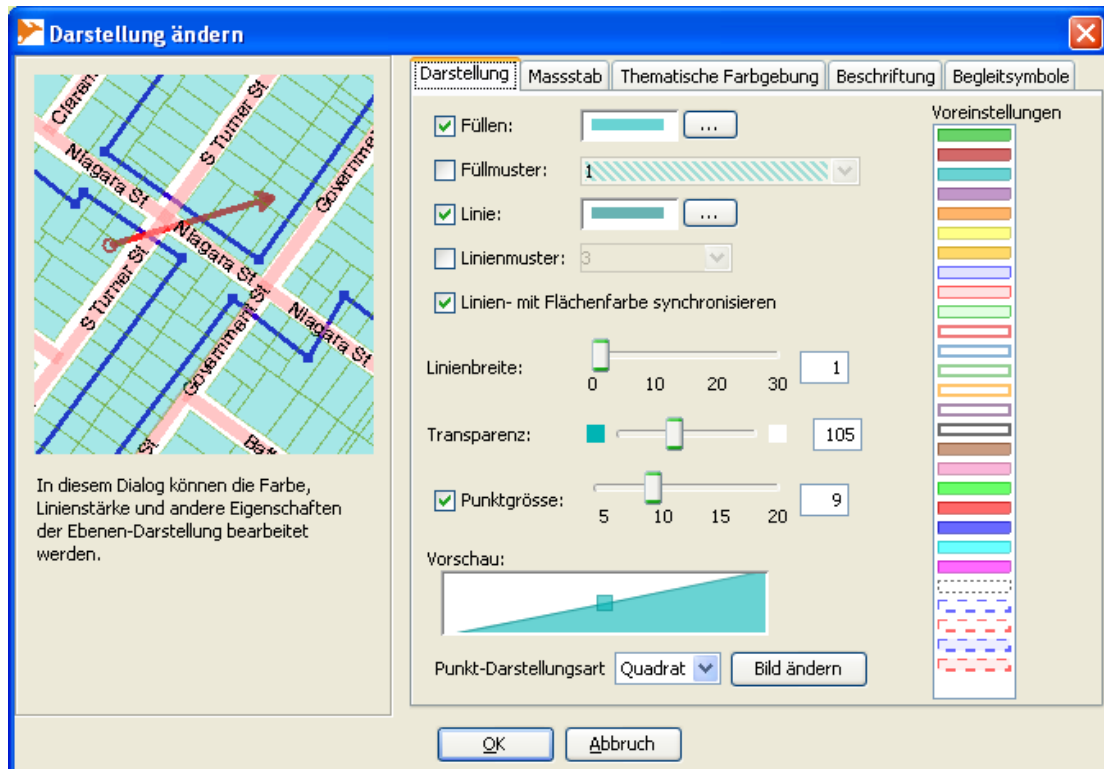
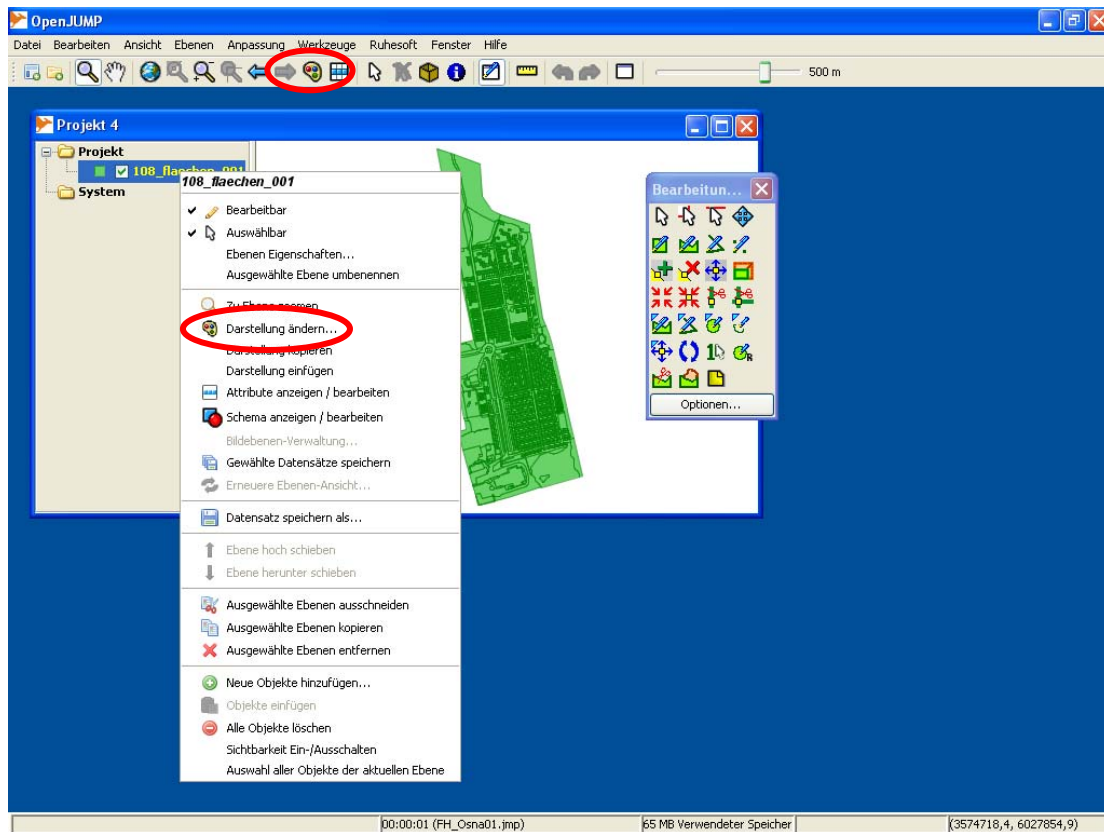
5.4.3 Geodaten neu erstellen

Über das Menü **Datei>Neu>Ebene** können Geodaten in einem neuen Thema neu erstellt werden.

Wenn z.B. Grabsteine oder Bäume als Punkte hinzugefügt werden sollen, kann wie folgt verfahren werden:

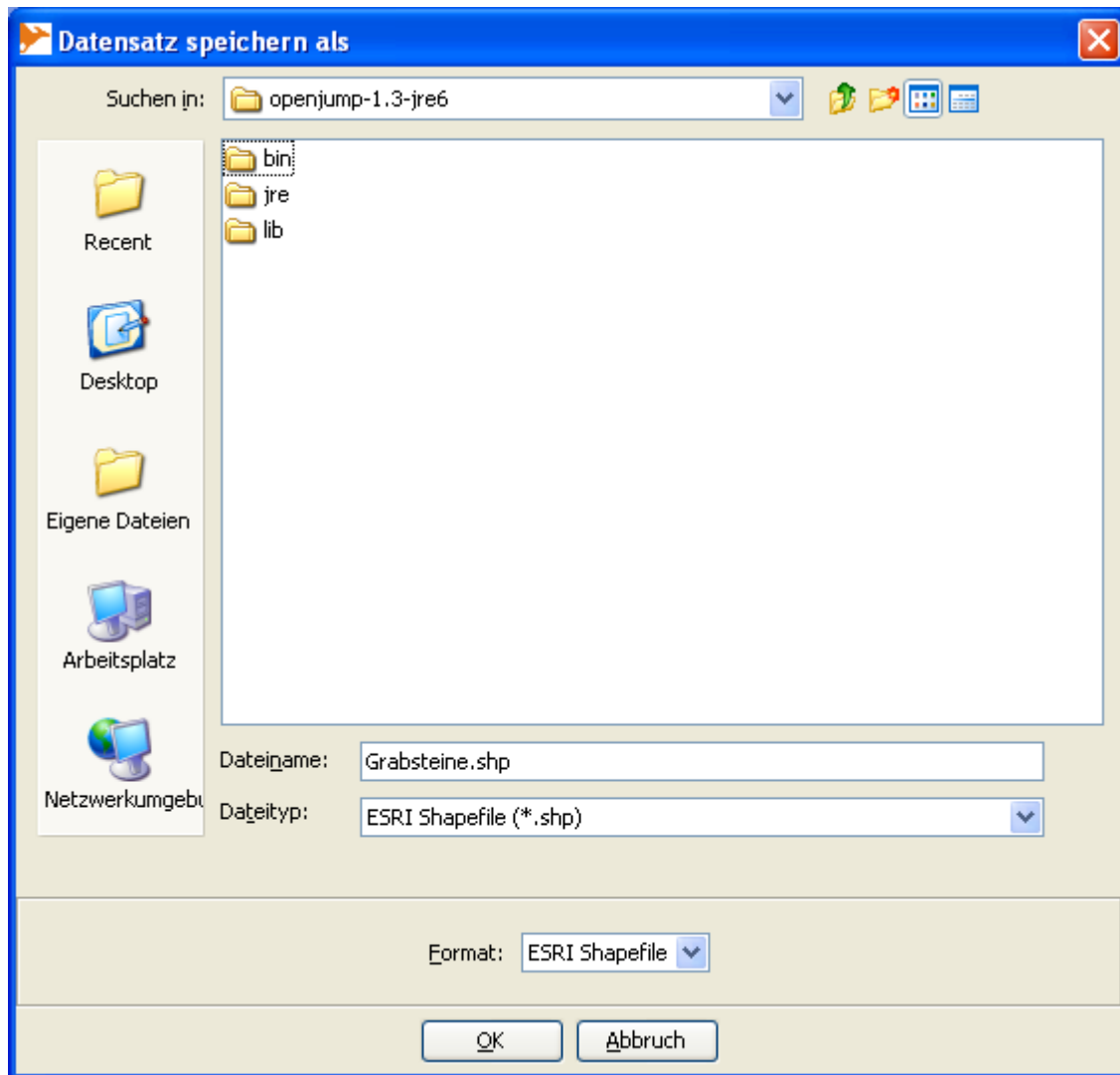
1. Neue Ebene anlegen (wird in der legende links angezeigt (Name = **Neu** kann durch Doppelklick in **Grabsteine** geändert werden).
2. Mit Hilfe der Bearbeitungswerkzeuge steht die Erstellung der Geometriearten Linie, Punkt oder Polygon zur Verfügung.
3. Es sollte jeweils nur eine Geometrieart in einer Ebene verwendet werden.
4. Um Punkte zu erstellen, wird in den Bearbeitungswerkzeugen das **Werkzeug>Erzeuge Punkt** ausgewählt.
5. Durch Linksklick wird jeweils ein Punkt gesetzt.
6. Die Darstellung der Punkte kann geändert werden über das **Werkzeug Darstellung ändern** oder durch Rechtsklick mit der Maus auf die Ebene und dann **Darstellung ändern**





Die Datenerfassung und Änderungen sollten alsbald wie möglich gespeichert werden.

Unter **Datei>Datensatz speichern als** sollte die Datei in das entsprechende Dateiverzeichnis abgelegt werden. Als Dateityp empfehlen wir das shape-Format.



6. RUHESOFT IM EINSATZ

Anhand von verschiedenen Fallbeispielen soll gezeigt werden, wie RuheSoft eingesetzt werden kann.

6.1 GRUNDLEGENDE BESTIMMUNG DER RUHEFRIST

Für eine Erweiterungs- oder Neuanlage eines Friedhofes ist die Bestimmung der Ruhefrist eine wesentliche Information für den Genehmigungsantrag.

So muss im Rahmen einer bodenkundlichen Sondierung geklärt werden, ob diese Fläche hinsichtlich der Bodeneigenschaft, Grundwasserstand oder einem Stauwasservorkommen homogen beschaffen ist.

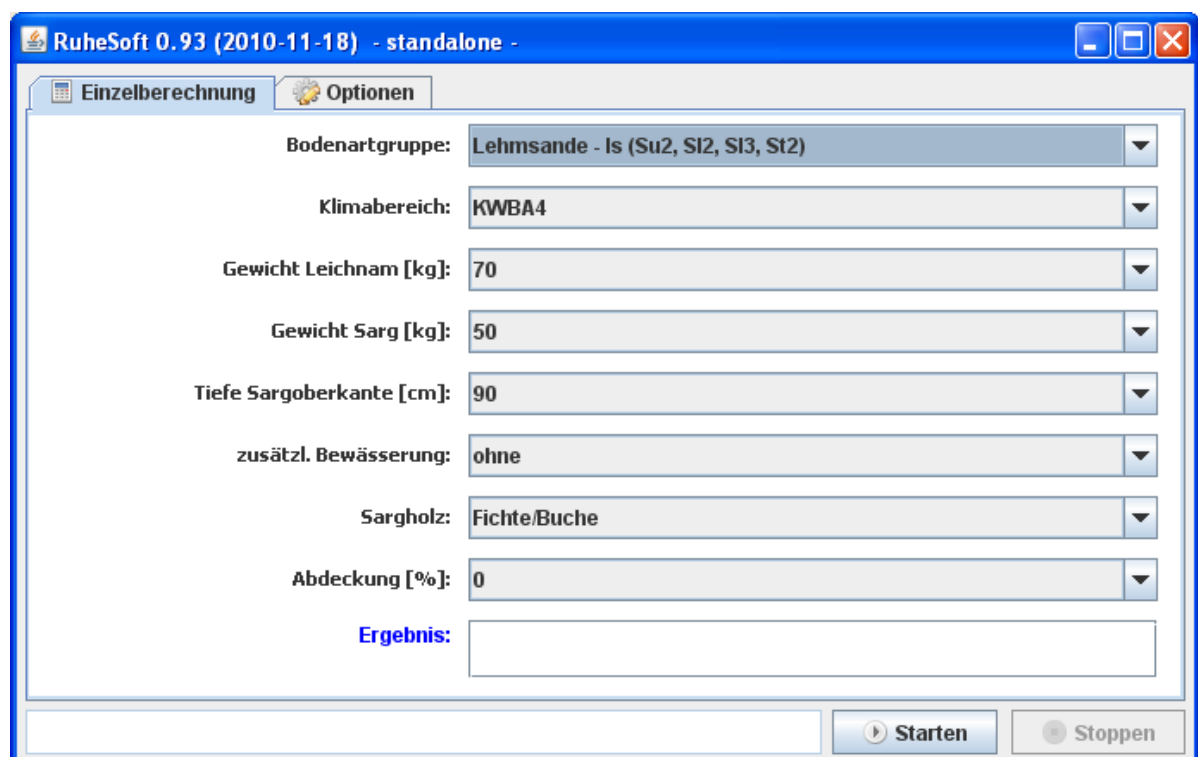
Sofern diese Information vorliegt, wird für den Aushubbereich des Grabes eine Mischbodenart ermittelt. Sofern eine Bodenmischung oder ein kompletter Bodenaustausch geplant ist, muss dies berücksichtigt werden.

Im vorliegenden Beispiel handelt es sich um einen schwach lehmigen Sand (SI2) der Bodenartengruppe Lehmsande.

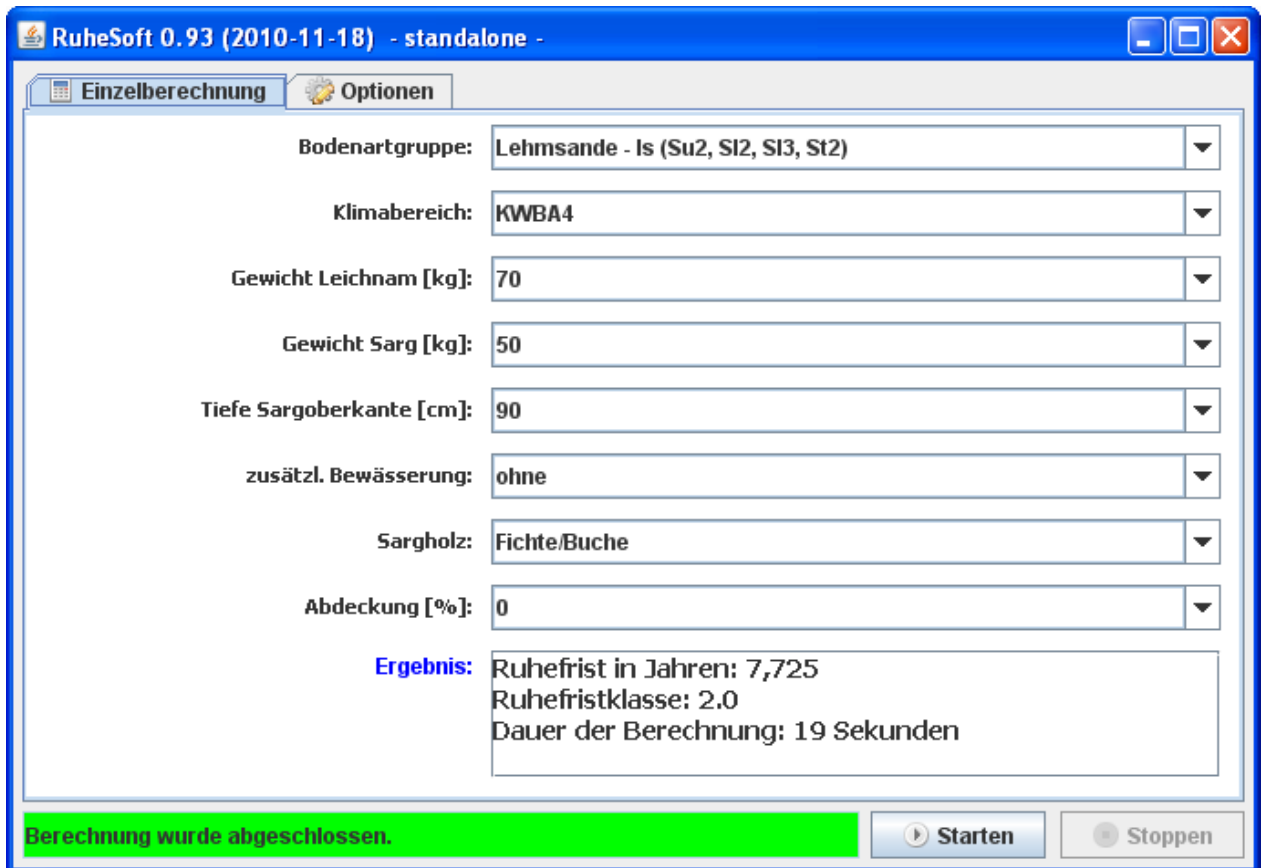
6.1.1 Berechnung in RuheSoft-standalone-

Die Standarddaten Gewicht Leichnam (70 kg), Gewicht Sarg (50 kg), Tiefe Sargoberkante (90 cm), zusätzliche Bewässerung (nein), Sargholz (Fichte/Buche), Grababdeckung (0 %) müssen durch folgende Parameter ergänzt werden:

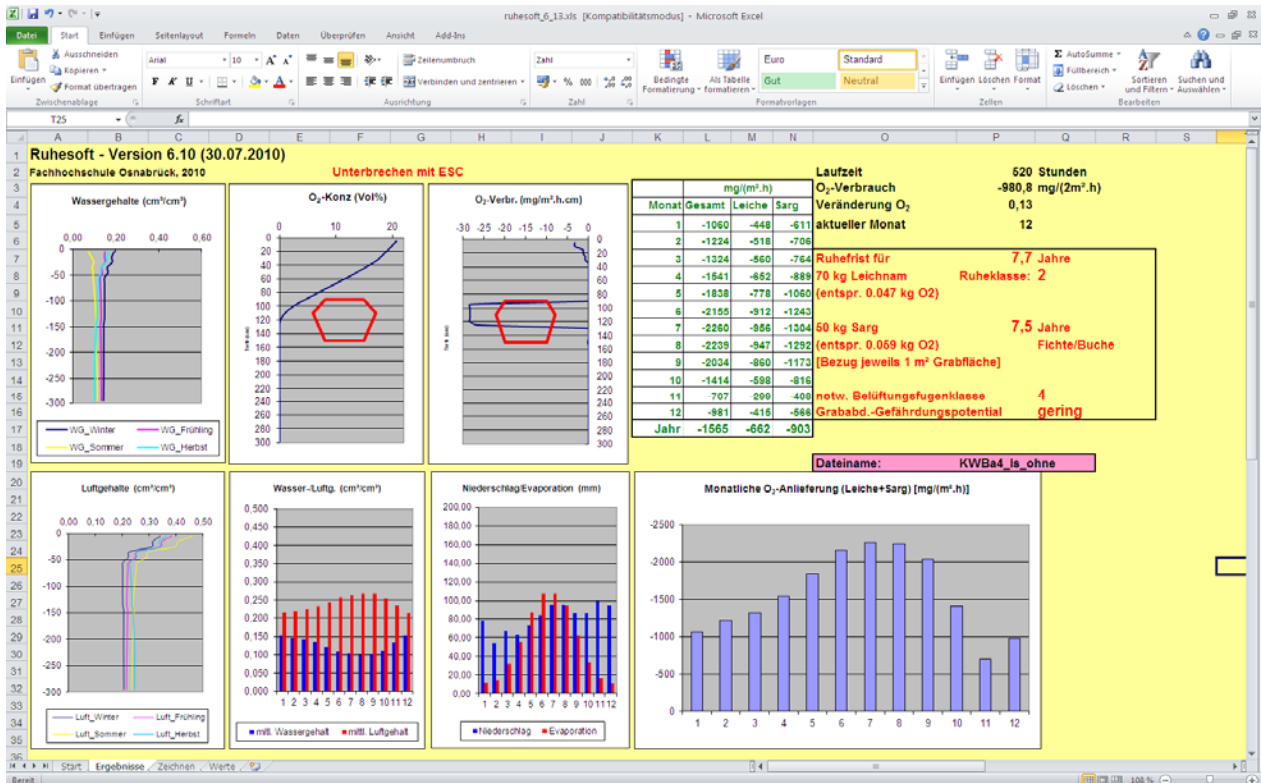
- Bodenartengruppe: **Lehmsande**
- Klimabereich: hier **KWBA4**



Nach dem Rechenlauf wird das Ergebnis wie folgt dargestellt:



Über die Option *Excel sichtbar schalten*, wird die Berechnung in Excel sichtbar gemacht und es können zusätzliche Deatilinformation zu den Leichenzersetzungsbedingungen dargestellt werden.



6.1.2 Variation der Bodeneigenschaft

Da bei der bodenkundlichen Sondierung neben schwach lehmigem Sand (Sl2) auch schluffig-lehmiger Sand (Slu= Bodenartengruppe Sandlehme) und sandiger Ton (Ts3 = Bodenartengruppe Tonlehme) ermittelt wurden, kann in einem nächsten Arbeitsschritt die Bodenartengruppe variiert werden.

Berechnung für Slu:

The screenshot shows the 'Einzelberechnung' (Individual Calculation) window of RuheSoft 0.93. The 'Bodenartengruppe' (Soil type) is set to 'Sandlehme - sl (Slu, Sl4, St3)'. Other parameters include 'Klimabereich: KWBA4', 'Gewicht Leichnam [kg]: 70', 'Gewicht Sarg [kg]: 50', 'Tiefe Sargoberkante [cm]: 90', 'zusätzl. Bewässerung: ohne', 'Sargholz: Fichte/Buche', and 'Abdeckung [%]: 0'. The 'Ergebnis' (Result) section displays: 'Ruhefrist in Jahren: 40,877', 'Ruhefristklasse: 7.0', and 'Dauer der Berechnung: 18 Sekunden'. A green status bar at the bottom indicates 'Berechnung wurde abgeschlossen.' (Calculation completed).

Berechnung für Ts3

The screenshot shows the 'Einzelberechnung' (Individual Calculation) window of RuheSoft 0.93. The 'Bodenartengruppe' (Soil type) is set to 'Tonlehme - tl (Ts4, Ts3)'. Other parameters are identical to the previous screenshot: 'Klimabereich: KWBA4', 'Gewicht Leichnam [kg]: 70', 'Gewicht Sarg [kg]: 50', 'Tiefe Sargoberkante [cm]: 90', 'zusätzl. Bewässerung: ohne', 'Sargholz: Fichte/Buche', and 'Abdeckung [%]: 0'. The 'Ergebnis' (Result) section displays: 'Ruhefrist in Jahren: 19,418', 'Ruhefristklasse: 4.0', and 'Dauer der Berechnung: 17 Sekunden'. A green status bar at the bottom indicates 'Berechnung wurde abgeschlossen.' (Calculation completed).

In der Variation der Bodenarten zeigen sich somit deutliche Unterschiede für die erforderliche Verwesungsdauer.

6.1.3 Berechnung in RuheSoft OpenJump

Das gleiche Berechnungsverfahren kann auch in RuheSoft OpenJump durchgeführt werden. Dies macht insbesondere dann Sinn, wenn eine größere Anzahl von unterschiedlichen Flächen bewertet werden sollen.

In RuheSoft OpenJump wurde hierzu ein Geodatenatz mit entsprechender Attributtabelle eingeladen.

In der Attributtabelle müssen Daten-Felder (Typ=String) für Bodenart, Ruhefristberechnung Ruhefrist-Klasse vorhanden sein:

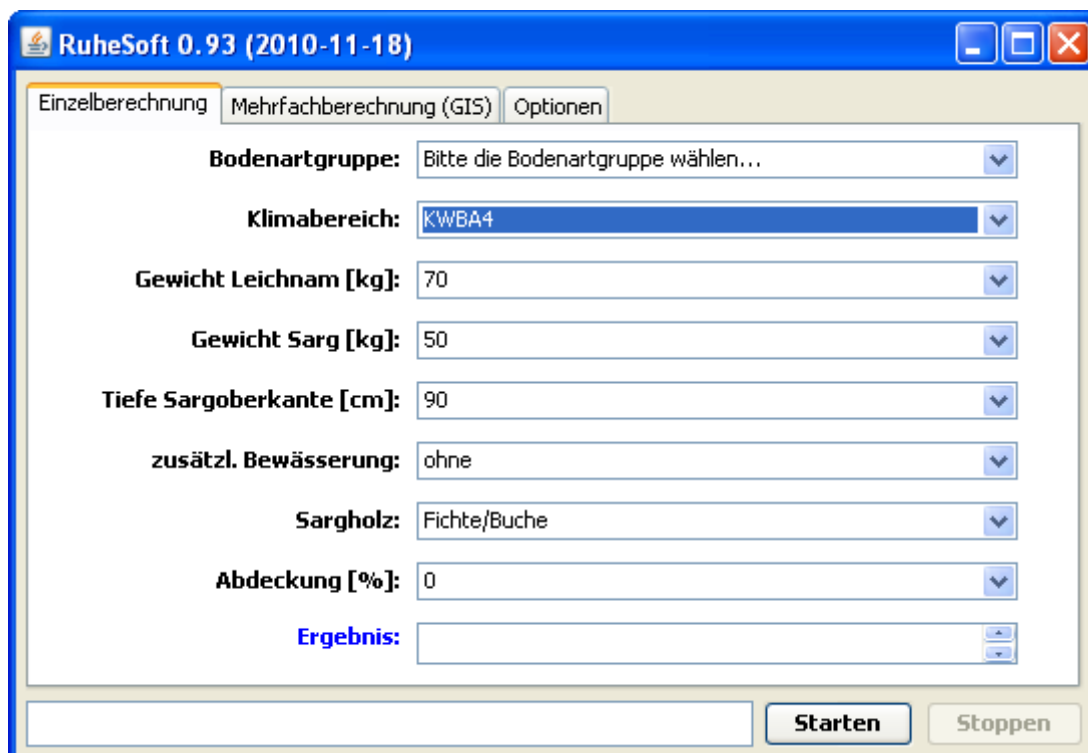
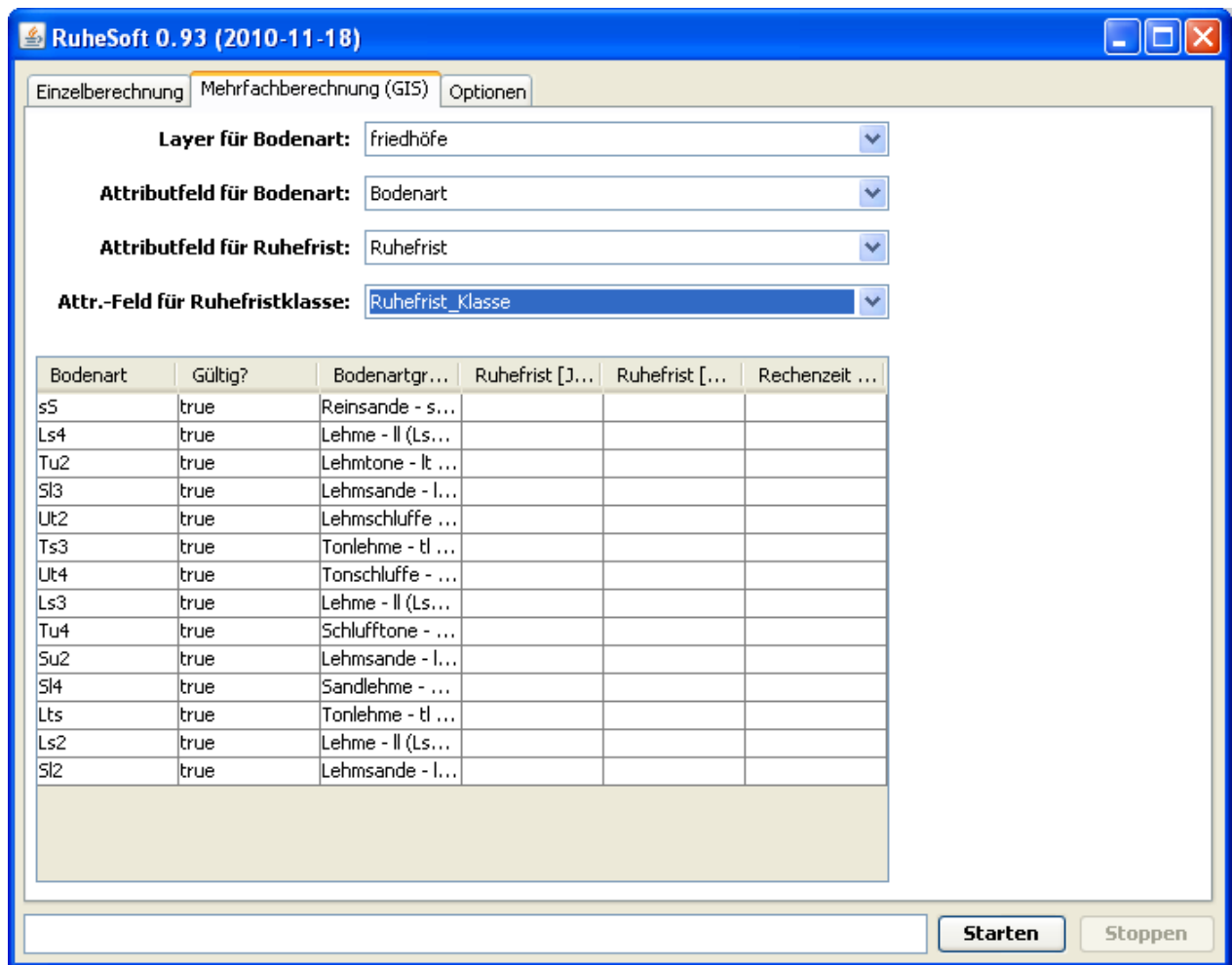
Im Feld Bodenart sind Angaben zur Bodenart enthalten.

The screenshot shows the OpenJUMP software interface. The main window displays a map with several colored polygons representing cemetery plots. A legend on the left lists various soil types (Ls2, Ls3, Ls4, Lts, Sl2, Sl3, Sl4, Su2, Tu2, Tu4, Ut2, Ut4, m5, ms). The 'friedhöfe' layer is selected. Below the map, the 'Objekt-Information: FH_Osna01' window shows a table with 7 objects.

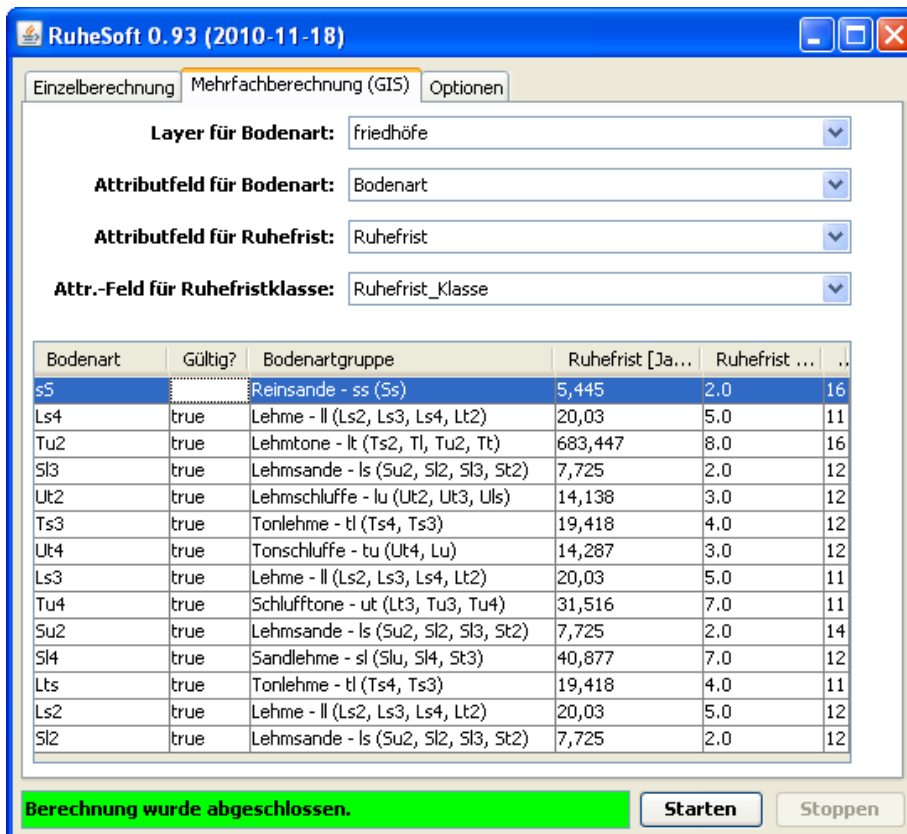
friedhöfe (7 Objekte)								
...	...	...	...	ERSTBELEGU	FLAECHE	BODENKUNDL	Bodenart	..
29	0	...	...	0	0	Ja		
8	0	...	857	0	47428	Ja	Sl3	...
30	0	...	4229	0	0	Ja	Ls2	...
18	0	...	3717	0	77874	Ja	Sl4	...
17	0	...	3717	0	23808	Ja	Ut4	...
24	0	...	0	1967	31770	Nein	Sl2	...
7	0	...	282	1967	46144	Ja	Ts3	...

At the bottom of the window, it shows '44 MB Verwendeter Speicher' and coordinates '(3437142,1, 5797082,3)'.

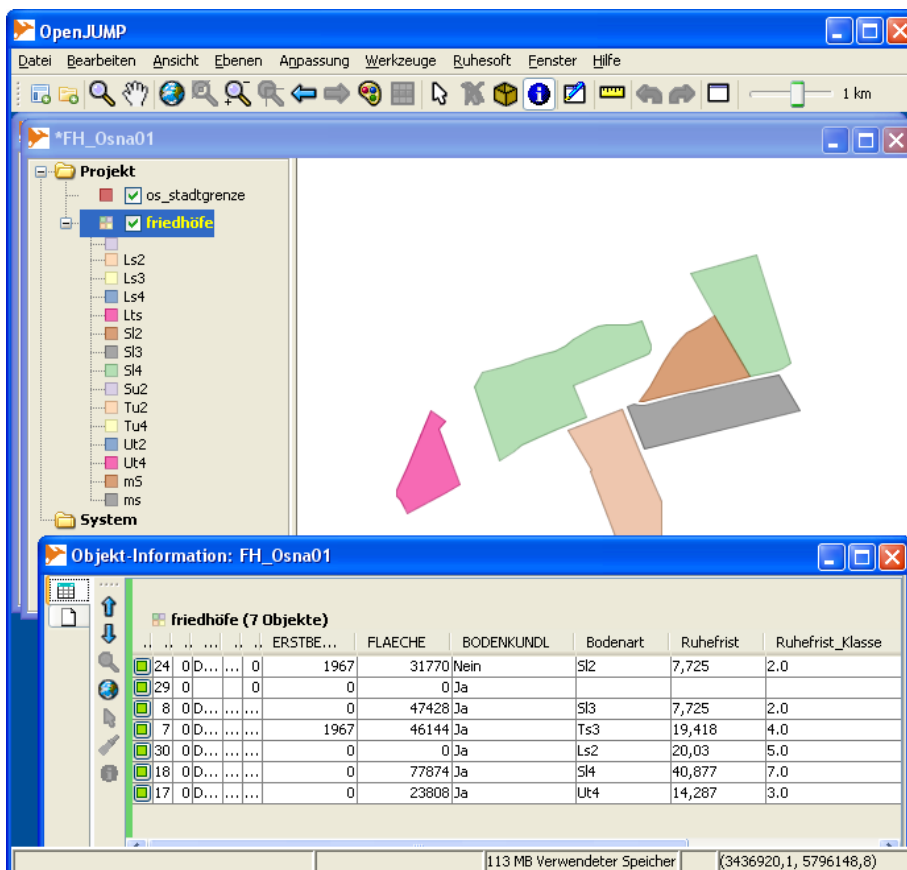
Über den Reiter **Mehrfachberechnung (GIS)** werden die erforderlichen Parameter eingestellt und anschließend tabellarisch angezeigt.



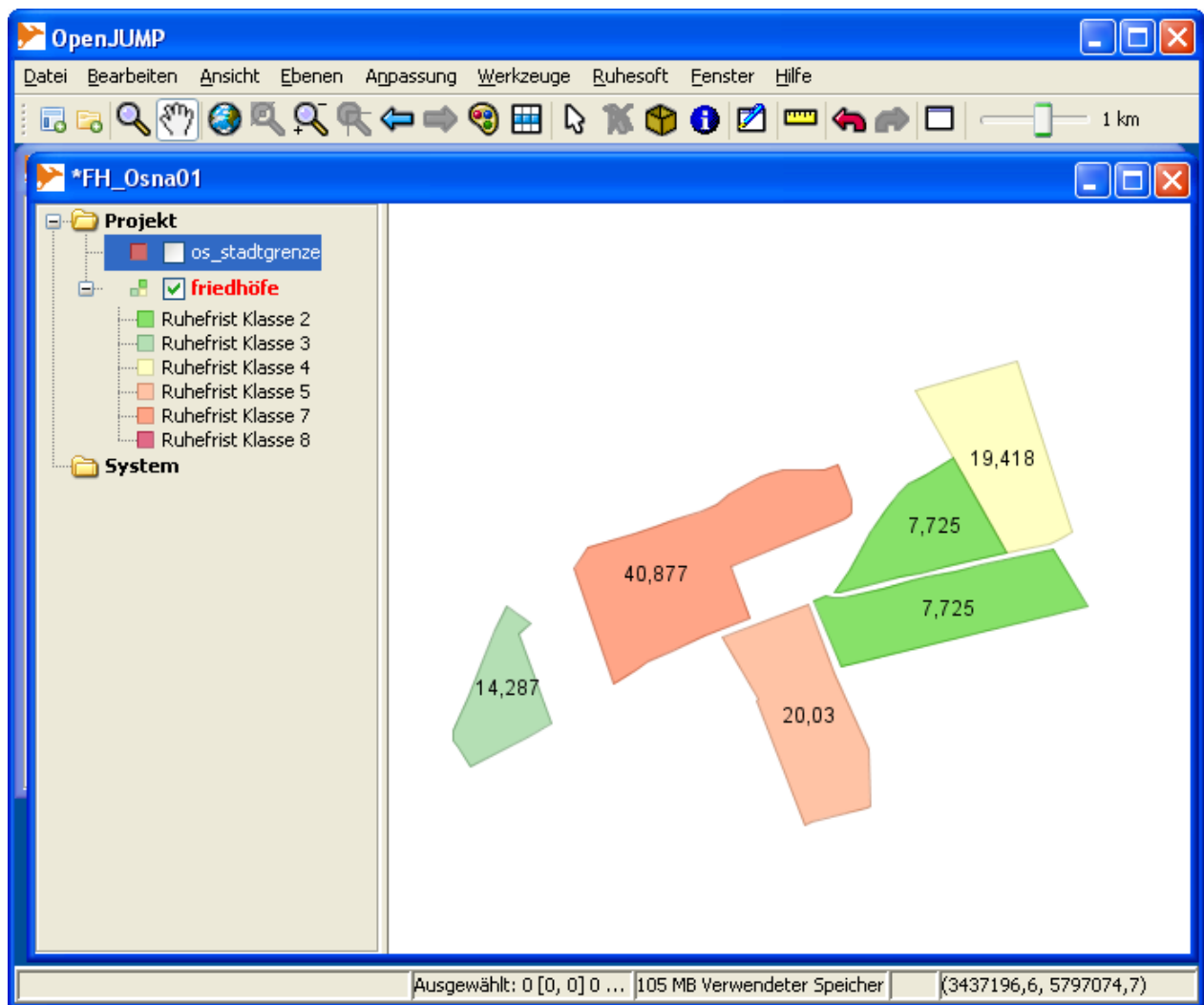
Über den Reiter Einzelberechnung muss anschließend die Auswahl des Klimabereiches (KWBa4) erfolgen und die Berechnung kann gestartet werden.



Als Ergebnis wird tabellarisch die berechnete Ruhefrist als Zeitdauer in Jahren und als klassifizierter Wert dargestellt.



Diese Werte stehen dann auch in der Attributtabelle des Geodatensatzes zur Verfügung und können grafisch dargestellt werden.



6.2 MÖGLICHKEIT DER RUHEFRISTENVERKÜRZUNG

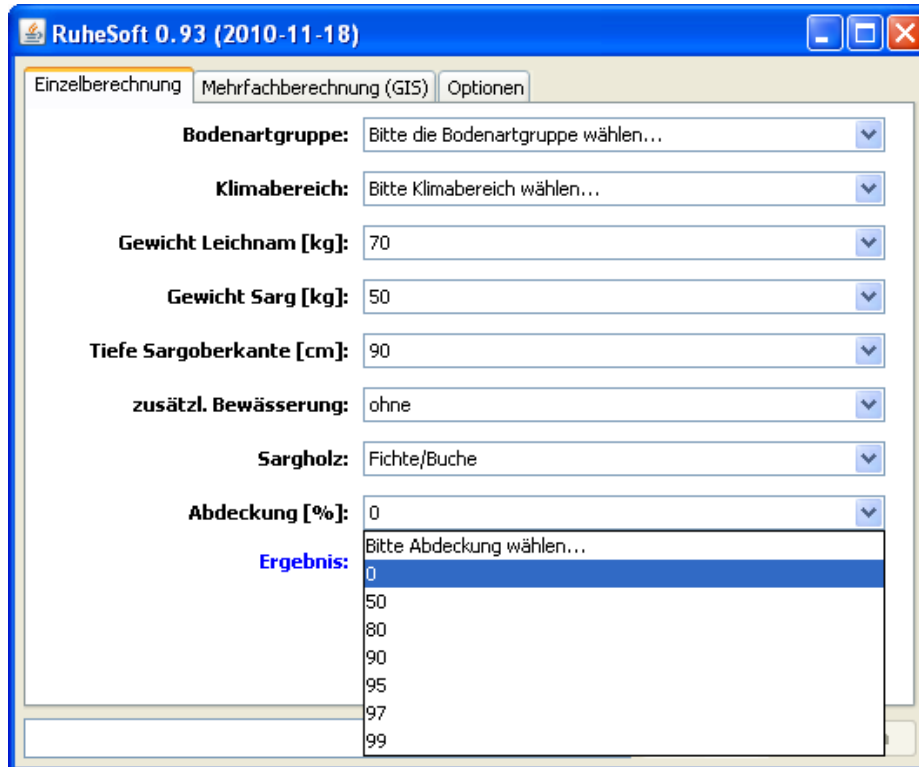
Sofern auf einem bestehenden Friedhof die Frage der Ruhefristenverkürzung gestellt wird, kann RuheSoft eine wichtige Entscheidungsgrundlage liefern und den Mindestzeitraum für die Leichenumsetzung berechnen.

Für die Interpretation der Ergebnisse müssen auch die Einschränkungen der modellhaften Berechnung berücksichtigt werden:

- Berechnet wird hierbei die Verwesungsdauer der Leiche und des Holzsarges, unter der Maßgabe, dass nur biologisch abbaubare Bekleidung und Sargauskleidung verwendet wird.
- Die Verwendung von Sargauskleidungen mit Folien oder Bitumen, ebenso wie der Einsatz von Polyesterdecken oder Kunstfaserbekleidung wird nicht berücksichtigt.

6.3 BEWERTUNG EINER GRABABDECKUNG

Sofern die Frage hinsichtlich der Bewertung von Grababdeckungen gestellt wird, RuheSoft standalone und RuheSoft OpenJump die Möglichkeit, die Flächenabdeckung zu variieren. In RuheSoft wird der Parameter Abdeckung verändert, und kann bis zu einer 99-% Abdeckung eingestellt werden.



Um die Auswirkungen auf die erforderliche Verwesungszeit zu verdeutlichen, kann die Excel-Darstellung zu Hilfe genommen werden.

6.3.1 Verwesungsdauer in einem Erdgrab ohne Abdeckung

Klimabereich:	KWBa4_Is_ohne		
Bodenart:	Lehmsande - Is (Su2, SI2, SI3, St2)		
Gewicht Leichnam:	70 kg		
Gewicht Sarg:	50 kg	Fichte/Buche	
Bestattungstiefe:	90 cm		
mittl. Wassergehalt:	0,126 cm ³ /cm ³ =	12,6 Vol%	
mittl. Luftgehalt:	0,242 cm ³ /cm ³ =	24,2 Vol%	
mittl. O ₂ -Anlieferung	-1565 mg/(m ² .h)		
Ruhefrist:	7,7 Jahre	Klasse:	2
notw. Belüftungsfugenklasse	4		
Grababd.-Gefährdungspotential	gering		

6.3.2 Verwesungsdauer in einem Erdgrab mit Abdeckung (50 %) einer Grabplatte

Klimabereich:	KWBa4_Is_ohne		
Bodenart:	Lehmsande - Is (Su2, Sl2, Sl3, St2)		
Gewicht Leichnam:	70 kg		
Gewicht Sarg:	50 kg	Fichte/Buche	
Bestattungstiefe:	90 cm		
mittl. Wassergehalt:	0,126 cm ³ /cm ³ =	12,6	Vol%
mittl. Luftgehalt:	0,242 cm ³ /cm ³ =	24,2	Vol%
mittl. O ₂ -Anlieferung	-1546 mg/(m ² .h)		
Ruhefrist:	7,8 Jahre	Klasse:	2
Berechnung mit Abdeckung auf			0,5

6.3.3 Verwesungsdauer in einem Erdgrab mit Abdeckung (99 %) einer Grabplatte

Klimabereich:	KWBa4_Is_ohne		
Bodenart:	Lehmsande - Is (Su2, Sl2, Sl3, St2)		
Gewicht Leichnam:	70 kg		
Gewicht Sarg:	50 kg	Fichte/Buche	
Bestattungstiefe:	90 cm		
mittl. Wassergehalt:	0,126 cm ³ /cm ³ =	12,6	Vol%
mittl. Luftgehalt:	0,242 cm ³ /cm ³ =	24,2	Vol%
mittl. O ₂ -Anlieferung	-632 mg/(m ² .h)		
Ruhefrist:	19,1 Jahre	Klasse:	4
Berechnung mit Abdeckung auf			0,01

Durch die Verwendung einer Grabplatte mit ganzflächiger Bedeckung (99%) des Grabes verringert sich die Luftanlieferung von 1565 mg/(m².h) auf 632 mg/(m².h)

Die erforderliche Verwesungsdauer beträgt dann 19,1 Jahre statt 7,7 Jahre.

Bei einer 50%-Abdeckung wird die Verwesungsdauer hingegen nur geringfügig (auf 7,8 Jahre) verlängert.

Bei der Ergebnisinterpretation müssen die Modellrahmenbedingungen (siehe Kapitel 6.3.1) berücksichtigt werden

6.4 VARIATION DER GRABTIEFE

Abweichend von der üblichen Bestattungstiefe (1,80 m) und einer Überdeckung von 0,90 m kann eine Veränderung der Grabtiefe zu einer deutlichen Verbesserung der Sauerstoffversorgung führen und somit den biologischen Abbauprozess positiv beeinflussen.

Hierzu bieten RuheSoft standalone und RuheSoft OpenJump die Möglichkeit, die Tiefe Sargoberkante zu variieren.

6.4.1 Simulation Erdgrab mit 90 cm Bestattungstiefe

Klimabereich:	KWBa4_sl_ohne		
Bodenart:	Sandlehme - sl (Slu, Sl4, St3)		
Gewicht Leichnam:	70 kg		
Gewicht Sarg:	50 kg		Fichte/Buche
Bestattungstiefe:	90 cm		
mittl. Wassergehalt:	0,308 cm ³ /cm ³ =		30,8 Vol%
mittl. Luftgehalt:	0,144 cm ³ /cm ³ =		14,4 Vol%
mittl. O ₂ -Anlieferung	-296 mg/(m ² .h)		
Ruhefrist:	40,9 Jahre		Klasse: 7
notw. Belüftungsfugenklasse	1		
Grababd.-Gefährdungspotential	sehr gering		

6.4.2 Simulation Erdgrab mit 60 cm Bestattungstiefe

RuheSoft 0.93 (2010-11-18)

Einzelberechnung | Mehrfachberechnung (GIS) | Optionen

Bodenartgruppe: Sandlehme - sl (Slu, Sl4, St3)

Klimabereich: KWBA4

Gewicht Leichnam [kg]: 70

Gewicht Sarg [kg]: 50

Tiefe Sargoberkante [cm]: 60

zusätzl. Bewässerung: ohne

Sargholz: Fichte/Buche

Abdeckung [%]: 0

Ergebnis: Ruhefrist in Jahren: 19,584

Berechnung wurde abgeschlossen. Starten Stoppen

Klimabereich:	KWba4_sl_ohne		
Bodenart:	Sandlehme - sl (Slu, Sl4, St3)		
Gewicht Leichnam:	70 kg		
Gewicht Sarg:	50 kg		Fichte/Buche
Bestattungstiefe:	60 cm		
mittl. Wassergehalt:	0,308 cm ³ /cm ³ =		30,8 Vol%
mittl. Luftgehalt:	0,144 cm ³ /cm ³ =		14,4 Vol%
mittl. O ₂ -Anlieferung	-617 mg/(m ² .h)		
Ruhefrist:	19,6 Jahre	Klasse:	4
notw. Belüftungsfugenklasse	2		
Grababd.-Gefährdungspotential	mittel		

6.4.3 Simulation Erdgrab mit 200 cm Bestattungstiefe (Tiefengrab)

RuheSoft 0.93 (2010-11-18)

Einzelberechnung | Mehrfachberechnung (GIS) | Optionen

Bodenartgruppe: Sandlehme - sl (Slu, Sl4, St3)

Klimabereich: KWBA4

Gewicht Leichnam [kg]: 70

Gewicht Sarg [kg]: 50

Tiefe Sargoberkante [cm]: 200

zusätzl. Bewässerung: ohne

Sargholz: Fichte/Buche

Abdeckung [%]: 0

Ergebnis: Ruhefrist in Jahren: 142,411

Berechnung wurde abgeschlossen. Starten Stoppen

Klimabereich:	KWBA4_sl_ohne		
Bodenart:	Sandlehme - sl (Slu, Sl4, St3)		
Gewicht Leichnam:	70 kg		
Gewicht Sarg:	50 kg		Fichte/Buche
Bestattungstiefe:	200 cm		
mittl. Wassergehalt:	0,308 cm ³ /cm ³ =		30,8 Vol%
mittl. Luftgehalt:	0,144 cm ³ /cm ³ =		14,4 Vol%
mittl. O ₂ -Anlieferung	-85 mg/(m ² .h)		
Ruhefrist:	142,4 Jahre	Klasse:	8
notw. Belüftungsfugenklasse	1		
Grababd.-Gefährdungspotential	sehr gering		

7. LITERATUR:

ALBRECHT, M. C, 2008: Bodenkundlich-hygienische Untersuchung von Friedhofsflächen. Verwesungsstörungen auf dem Friedhof. Dokumentation und Ursachenermittlung.

Promotion an der Naturwissenschaftlichen Naturwissenschaftlichen Fakultät der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover., HORIZONTE, Band 22. Der andere Verlag. ISBN: 978-3-89959-825-4

ALBRECHT, M. C, 2008: Ewige Ruhe?

Ergebnisse von Graböffnungen anlässlich der Wiederbelegung von Gräbern, Bestattung-Fachzeitschrift des VDZB, Band 2, S. 20-27, Bonn.

ALBRECHT, M. C., FRÜND, H.-C. & WESTPHAL, A., 2005: Bodenkundlich-hygienische Untersuchungen zur Ermittlung der Verwesung auf einem Friedhof unter besonderer Berücksichtigung durchgeführter technischer Verbesserungsmaßnahmen, Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 107/I, S. 293-294, Oldenburg.

ALBRECHT, M. C., 2005: Definition und Aspekte von Verwesungsstörungen auf dem Friedhof. Fachgespräch "Leichenumsetzung auf dem Friedhof unter besonderer Berücksichtigung technischer Systeme" am 30. Juni 2005 bei der Stadt Osnabrück

ALBRECHT, M. C. 2004: Die Neufestlegung von Ruhefristen. Was ist zu beachten bei Graböffnungen und den Rückschlüssen für die Neubestimmung der Ruhefrist?, Der Hygieneinspektor, S. 39-43. Zeitschrift des Bundesverbandes der Hygieneinspektoren, 6. Jg., Nr. 2.

ALBRECHT, M. C. 2004: Graböffnungen dokumentieren, Friedhofskultur, Band 2, S. 21-23. Braunschweig. Thalacker-Verlag

ALBRECHT, M. C. 2003: Ruhefristen festlegen, Friedhofskultur, Band 11, S. 37-38. Braunschweig. Thalacker-Verlag

SCHOENEN, D. & ALBRECHT, M. C. 2003: Die Verwesung aus hygienischer und bodenkundlicher Sicht, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Band 113.

FRÜND H.-C. ; ANLAUF, R.; MEYER, A., 2010: Entwicklung eines Verfahrens zur Abschätzung der Sauerstoffversorgung des Unterbodens als Kenngröße für die Bewertung des Stoffumsetzungspotentials. Schlussbericht zum FH3-Forschungsprojekt, Osnabrück

KA5, 2005: Bodenkundlichen Kartieranleitung. AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 5. Auflage, Hannover 2005.

MOLDRUP, P., 1997: Modelling diffusion and reaction in soils: VII. Predicting gas and ion diffusivity in undisturbed and sieved soils, Soil Sciences, Band 162, S. 632-640.

MÜLLER-WESTERMEIER, G., 1990: Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland.

TA GRABMAL, 2009: Technische Anleitung zur Standsicherheit von Grabmalanlagen. Deutsche Naturstein Akademie e.V.

TIBBETT, M; CARTER, DO (2008): Soil analysis in forensic taphonomy, 2008: Soil analysis in forensic taphonomy. CRC Press, , CRC Press, Boca Raton.

WESTPHAL, A., 2004: Bodenkundliche Untersuchungen zur Verwesung auf einem Friedhof und zur Wirksamkeit von Verbesserungsmaßnahmen.- Diplomarbeit Studiengang Bodenwissenschaften FH Osnabrück, Osnabrück.

WOURTSAKIS, A., 2002: Bodenkundliche und hydrogeologische Anforderungen an die Erdbestattung. In: Unterlagen zur 2. Friedhofstagung Konfliktfeld Friedhof am 10. April 2002 in Mainz, S. 19-34, Mainz.