

8. OPTIMIZE

8. OPTIMIZE.....	461
8.0 OPTIMIZE – Einführung und Kurzanleitung	461
8.0.1 Einführung in OPTIMIZE	461
8.0.2 OPTIMIZE - Kurzanleitung	462
8.1. OPTIMIZE – Energie und Schall	464
8.1.1 Berechnungsmethoden	464
8.1.2 WindPRO-Objekte für Optimierungsprozess	465
8.1.3 Optimierung eines regelmäßigen Musters (Methode B, automatisch)	476
8.1.4 Optimierung eines freien Layouts (Methode A)	481
8.1.5 Schalloptimierung (Methode C)	490
8.1.6 Optimierung von Schall und Energie (Methode D)	496

8. OPTIMIZE

8.0 OPTIMIZE – Einführung und Kurzanleitung

8.0.1 Einführung in OPTIMIZE

Was ist das optimale Layout für einen Windpark?

Das optimale Layout eines Windparks hängt sehr stark von der individuellen Situation des geplanten Vorhabens ab. Unabhängig von den unterschiedlichen Randbedingungen ist im Wesentlichen der maximale Profit unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Umwelt (u.a. Schall und Schattenwurf) maßgeblich.

Bereits diese Formulierung impliziert einige Fragen. Was ist der maximale Profit? Hier muss der Zeitfaktor berücksichtigt werden. Die höchste Kapitalverzinsung bedeutet z.B. nicht unbedingt den höchsten aktuellen Wert. Parameter wie der Einspeiserlös für die elektrisch erzeugte Energie, die Lebensdauer der WEA oder die Betriebskosten haben eine hohe Bedeutung. Die Größe der WEA lässt sich ebenfalls nicht alleine anhand von Wirtschaftlichkeitskriterien bestimmen – was für Kräne sind verfügbar, wer kann liefern und wann? – die Liste der zu klärenden Fragen lässt sich beliebig fortführen.

Wie lassen sich die Einflüsse auf die Umwelt in einem ausreichenden Maß berücksichtigen? Lohnt es sich, die Fläche hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit so auszureizen, dass die visuelle Beeinträchtigung zu einem verfrühten Ende des Projekts führen kann, noch vor der erwarteten Lebensdauer?

Weiterhin gibt es Situationen, in denen die Pachtverträge bestimmte Aufstellungsmuster diktieren. Die Vorstellungen der Entwickler und Planer müssen mit denen von Eigentümern, Gemeinden und Baubehörden abgestimmt werden.

Es müssen also viele unterschiedliche Aspekte bei der Planung berücksichtigt werden.

Das Module OPTIMIZE ist so strukturiert, dass es dem Anwender ein hohes Maß an Kontrolle beim Optimierungsprozess gewährt. Die aktuelle Implementation von OPTIMIZE kann auf der Basis der zur Verfügung stehenden Fläche, der Windressourcen und des Parkwirkungsgrad einen Layoutvorschlag berechnen. Ergänzend kann in einem zweiten Schritt eine Schalloptimierung des gefundenen Layouts durchgeführt werden. Ein sehr wichtiger Punkt ist aber auch die Unterstützung bei eigenen Layout-Adaptionen.

An der Optimierung sind vier Elemente beteiligt:

- Standort-Einschränkungen in Form eines WEA-Flächen-Objekts, durch das verfügbares Land, Ausschlussflächen und Mindestabstände definiert werden
- Eine Windressourcenkarte, die entweder importiert oder mit dem RESOURCE-Modul berechnet werden kann
- Ein Optimierungsalgorithmus, der, basierend auf den Anforderungen, ein geeignetes Ergebnis liefert
- Ein Navigationsfenster, in dem Ergebnisse dargestellt und nachverfolgt werden.

Der Optimierungsalgorithmus deckt die folgenden vier Situationen ab:

- **Unregelmäßiges Muster:** Wenn die Geometrie des Layouts beliebig sein kann, das Terrain aber deutliche Unterschiede in der Windressource aufweist
- **Regelmäßiges Muster:** Für Offshore- oder vergleichbar unkompliziertes Terrain, wo geometrische Muster verlangt werden
- **Schalloptimierung durch entfernen/reduzieren sichtbarer WEA:** Ein vorhandenes Layout wird durch Schalloptimierte Modi oder Nachtabstimmung so optimiert, dass Schallrichtwerte eingehalten werden
- **Unregelmäßiges Muster mit anschließender Schalloptimierung:** Kombiniert die erste und die dritte Methode. Die Produktionseinbußen aufgrund der Schallreduktion werden zusätzlich dargestellt.

Die Optimierung eines Windparks mit einem unregelmäßigen Layout findet als iterativer Prozess, der unter sinnvollen Annahmen eine große Menge an möglichen Parkkonfigurationen ausprobiert, statt. Die Optimierung eines Windparks mit einem regelmäßigen Layout variiert bestimmte von Ihnen gewählte Parameter innerhalb

von durch Sie definierten Grenzen, z.B. die Abstände innerhalb einer WEA-Reihe, und findet unter allen möglichen Parameter-Kombinationen die mit dem höchsten Ertrag heraus.

In einfachem Gelände (z.B. auch Offshore) ist die Optimierung als regelmäßiges Layout die bessere Methode, da die Methode des unregelmäßigen Layouts, wenn die verfügbare Energie von Position zu Position nur geringfügig variiert, nur schwer die besten Positionen finden kann. Die energetisch optimale Anordnung in einer derartigen Situation besteht außerdem stets darin, die Abstände zwischen den WEA zu maximieren, was ein regelmäßiges Muster zur Folge hat. Dieses ist überdies auch aus optischen Gesichtspunkten zu bevorzugen.

8.0.2 OPTIMIZE - Kurzanleitung

8.0.2.1 Unregelmäßiges Muster (komplexes Terrain)

- ☒ Etablieren Sie ein WEA-Flächen-Objekt und definieren Sie für die Positionierung der WEA zur Verfügung stehenden Flächen mit ihren Einschränkungen (z.B. WEA-Anzahl, Abstände der WEA) auf der Karte.
- ☒ Definieren Sie gegebenenfalls zusätzlich Ausschlussflächen und Pufferzonen
- ☒ Berechnen Sie eine Windressourcenkarte mit dem Modul RESOURCE (vgl. Kapitel 3) oder wählen Sie eine RSF-Datei einer $WASP$ -Berechnung für das zu untersuchende Gebiet.
- ☒ Laden Sie die RSF-Datei in ein Ergebnis-Layer-Objekt auf der Karte und stellen Sie diese farbig dar.
- ☒ Starten Sie das Modul OPTIMIZE und wählen Sie *Unregelmäßiges Muster*.
- ☒ Definieren Sie die Voraussetzungen für den Optimierungsprozess.
- ☒ Starten Sie die Berechnung. Das Navigationsfenster für den Optimierungsprozess erscheint. Wenn Sie bereits ein Parklayout erstellt haben, starten Sie vom Navigationsfenster aus eine PARK-Berechnung dafür.
- ☒ Führen Sie dann eine Energie-Schnelloptimierung durch. Diese geht schnell, verwendet aber nur einen groben Optimierungsalgorithmus.
- ☒ Starten Sie den Optimierungsprozess. Dieser ist genauer, dauert aber auch länger.
- ☒ Nach evtl. weiteren Schritten: Stellen Sie ihr bevorzugtes Layout wieder her (Rechtsklick auf Zeile im Optimize-Fenster)
- ☒ Schließen Sie das Navigationsfenster mit **Ok** und drucken Sie den Bericht.

8.0.2.2. Regelmäßiges Muster (flaches oder Offshore-Terrain)

- ☒ Etablieren Sie ein WEA-Flächen-Objekt und definieren Sie für die Positionierung der WEA zur Verfügung stehenden Flächen mit ihren Einschränkungen (z.B. WEA-Anzahl, Abstände der WEA) auf der Karte.
- ☒ Definieren Sie gegebenenfalls zusätzlich Ausschlussflächen und Pufferzonen
- ☒ Berechnen Sie eine Windressourcenkarte mit dem Modul RESOURCE (vgl. Kapitel 3), wählen Sie eine RSF-Datei einer $WASP$ -Berechnung für das zu untersuchende Gebiet oder verwenden Sie ein METEO-Objekt, um die Windverhältnisse zu beschreiben.
- ☒ Laden Sie gegebenenfalls die RSF-Datei in ein Ergebnis-Layer-Objekt auf der Karte und stellen Sie diese farbig dar.
- ☒ Erzeugen Sie ein ParkDesign-Objekt und geben Sie dessen Anfangs-Parameter ein.
- ☒ Starten Sie das Modul OPTIMIZE und wählen Sie *Regelmäßiges Muster*.
- ☒ Definieren Sie die Voraussetzungen für den Optimierungsprozess.
- ☒ Starten Sie die Berechnung. Das Navigationsfenster für den Optimierungsprozess erscheint. Starten Sie mit einer PARK-Berechnung für das ParkDesign-Objekt. Setzen Sie danach die zu optimierenden Parameter und deren Grenzen und starten Sie den *Optimierungsprozess*.
- ☒ Passen Sie gegebenenfalls die zu variierenden Parameter noch an und starten Sie die Optimierung erneut, bis das beste Layout gefunden ist. *Realisieren* Sie dieses, indem Sie mit der rechten Maustaste auf das ParkDesign-Objekt klicken und *Realisieren* wählen.
- ☒ Schließen Sie das Navigationsfenster mit **Ok** und drucken Sie den Bericht.

8.0.2.3 Schalloptimierung durch entfernen/reduzieren sichtbarer WEA

- ☒ Etablieren Sie ein WEA-Flächen-Objekt und definieren Sie für die Positionierung der WEA zur Verfügung stehenden Flächen mit ihren Einschränkungen (z.B. WEA-Anzahl) auf der Karte.
- ☒ Definieren Sie Schall-Immissionsorte (siehe Kapitel 4) und geben Sie die Immissionsrichtwerte an
- ☒ Definieren Sie ein WEA-Layout und erstellen Sie eventuell Schalldatensätze für den WEA-Typ
- ☒ Starten Sie das Modul OPTIMIZE und wählen Sie *Schalloptimierung durch entfernen/reduzieren sichtbarer WEA*
- ☒ Wenn Sie dem Layout neue WEA hinzufügen möchten, wählen Sie einen WEA-Typ aus und wählen Sie ein Schallberechnungs-Modell
- ☒ Starten Sie die *Schall-Optimierung*
- ☒ Wählen Sie alternativ *Automatisch füllen* aus, um ein sehr dichtes Layout zu erzeugen und danach die Schalloptimierung zu nutzen, um solange WEA zu entfernen, bis die Richtwerte eingehalten werden.
- ☒ Schließen Sie das Navigationsfenster mit **Ok** und drucken Sie den Bericht.

8.0.2.4 Unregelmäßiges Muster mit anschließender Schalloptimierung

- ☒ Folgen Sie den Vorbereitungsschritten der Optimierung für *Unregelmäßiges Muster* sowie denen der *Schalloptimierung durch entfernen/reduzieren von WEA*
- ☒ Im OPTIMIZE-Navigationsfenster können sowohl Energie-Optimierungen (Schnelloptimierung/ausführliche Optimierung) durchgeführt werden als auch danach eine Schalloptimierung, um das gefundene Layout so lange zu reduzieren, bis die Schallrichtwerte eingehalten werden. Mit der Parkberechnung lässt sich leicht überprüfen, wie sich die Schallreduktionen auf den Ertrag auswirken.

8.1. OPTIMIZE – Energie und Schall

8.1.1 Berechnungsmethoden

Das WindPRO-Modul OPTIMIZE optimiert ein Windpark-Layout nach drei fundamental unterschiedlichen Methoden.

Bei allen Methoden ist die Voraussetzung, dass auf der Karte mit Hilfe des WEA-Flächen-Objekts diejenigen Flächen markiert werden, die zur Verfügung stehen (gegebenenfalls parzellenscharf; es können auch mehrere Teilflächen angegeben werden). Weiterhin können für diese Flächen oder Teilflächen Voraussetzungen angegeben werden, z.B. wie viele WEA minimal oder maximal dort platziert werden sollen, und es können Ausschlussflächen definiert werden.

Für die Energie-Optimierungen (A und B) wird eine vorher erstellte Windressourcenkarte des Areals benötigt. Bei einfachem Terrain mit einheitlichen Windbedingungen, für die ein regelmäßiges Layout mit Methode A erstellt werden soll (z.B. bei Offshore-Projekten) kann auch mit einer Weibull-Verteilung gearbeitet werden.

Methode A: Parkauslegung für regelmäßige Layouts (gerade parallele Linien mit gleichen Abständen zwischen WEA oder Bogen-Layout)

Dazu wird das ParkDesign-Objekt benutzt; es kann eine automatische oder eine manuelle Optimierung durchgeführt werden.

Der *manuelle* Weg besteht darin, auf der Karte in den festgelegten WEA-Flächen mit Hilfe des ParkDesign-Objekts Windenergieanlagen-Felder zu erzeugen und durch Drehung, Verschiebung und Veränderung der Abstände zu modifizieren. Das Programm verfolgt währenddessen Anzahl und Leistung der innerhalb des Gebiets befindlichen WEA. Wenn das erwünschte Layout vorliegt, kann es *realisiert* werden, d.h. es wird automatisch ein neuer Layer erzeugt, in den die innerhalb der WEA-Flächen befindlichen WEA als *Neue-WEA*-Objekte kopiert werden. Es können nacheinander mehrere Varianten auf verschiedenen Layern erzeugt werden, die dann Grundlage für weitere WindPRO-Berechnungen (z.B. Energie, Schall) sind.

Die *automatische* Optimierung eines regelmäßigen Layouts wird über das OPTIMIZE-Modul gestartet. Dort kann ein minimaler Parkwirkungsgrad (bzw. maximale Parkverluste) definiert werden, um sicherzustellen, dass Konfigurationen, die dieses Minimum nicht erfüllen, nicht berücksichtigt werden. Beim Start der Optimierung werden die Parameter sowie die Minima und Maxima, zwischen denen variiert werden soll, angegeben (z.B. Abstand zwischen WEA in einer Reihe). Der Optimierungsprozess besteht darin, dass sämtliche Parametervariationen und -kombinationen durchgespielt werden und die Konfiguration mit dem maximalen Ertrag ermittelt wird.

Methode B: Automatische Energie-Optimierung eines unregelmäßigen Windpark-Layouts: OPTIMIZE ermittelt iterativ die Parkauslegung mit dem höchsten Energieertrag sowie unter Berücksichtigung der für die zu beplanenden WEA-Flächen angegebenen Einschränkungen.

Ein WEA-Typ, für den die Optimierung durchzuführen ist, kann aus dem Bestand des WEA-Katalogs ausgewählt werden oder neu definiert werden. Um eine Optimierung mit unterschiedlichen WEA zu ermöglichen, können diese vor dem Start der Optimierung auch direkt in die unterschiedlichen Areale eingegeben werden. Bestehende WEA können zur Berechnung des Parkwirkungsgrads bzw. in Hinsicht auf die Einhaltung der definierten Bedingungen bezüglich Anzahl, Einspeisekapazität und Abständen in die Berechnung einbezogen werden.

Die WEA können auf drei verschiedene Weisen platziert werden:

- **Automatisch Füllen:** WindPRO versucht, so viele WEA wie möglich in der Fläche unterzubringen. Es wird an einer Ecke begonnen und dann einfach am nächstgelegenen Punkt, an dem aufgrund der Abstandsanforderungen WEA möglich sind die nächste WEA platziert, und so weiter.
- **Energie-Schnelloptimierung:** WindPRO verwendet die beste Position (entsprechend der Windressourcenkarte) für die erste WEA. Die nächste WEA kommt an die nächstbeste geeignete Fläche und so weiter. Der Parkwirkungsgrad wird hierbei nicht berücksichtigt.
- **Energieoptimierung:** Wie bei der Schnelloptimierung werden die energetisch besten Standorte verwendet, es wird dabei jedoch auch auf den Parkwirkungsgrad geachtet. Nachdem die zweite WEA

platziert wurde, wird die erste WEA unter Berücksichtigung der Wake der zweiten WEA neu positioniert – dies wiederholt sich für jede neue WEA.

Methode C: Schalloptimierung

Die Schalloptimierung benötigt ein existierendes WEA-Layout und eine Anzahl definierte WEA-Betriebsmodi. Die Betriebsmodi der WEA werden in den WEA-Eigenschaften festgelegt als Level 0 (Standard), Level 1, Level 2 etc, wobei die Schallemissionen, aber auch die Produktion mit den höheren Levels abnimmt. Es müssen weiterhin Schall-Immissionsorte in der Umgebung der Windfarm definiert werden.

In den Optimierungseinstellungen wird für die Schalloptimierung das Ausbreitungsmodell ausgewählt (s. Kapitel 4).

Zunächst werden alle WEA maximal schallreduziert und eine Schallberechnung wird durchgeführt. Wenn an einem Immissionsort Richtwerte überschritten werden, wird die WEA mit dem dort höchsten Schallbeitrag aus dem Layout entfernt. Dieser Prozess wird so lange wiederholt, bis alle Immissionsrichtwerte eingehalten werden.

Die verbliebenen WEA werden dann auf den lautesten Schallmodus gesetzt und die Immissionen für die Rezeptoren werden berechnet. Finden Überschreitungen statt, werden die lautesten WEA um eine Stufe reduziert. Dies wird fortgeführt, bis alle Immissionsrichtwerte eingehalten werden.

Wird die Kombination aus Energie- und Schalloptimierung gewählt, wird zuerst das Energieoptimierte Layout gefunden und dieses dann durch Entfernen und Reduzieren einzelner WEA schalloptimiert.

8.1.2 WindPRO-Objekte für Optimierungsprozess

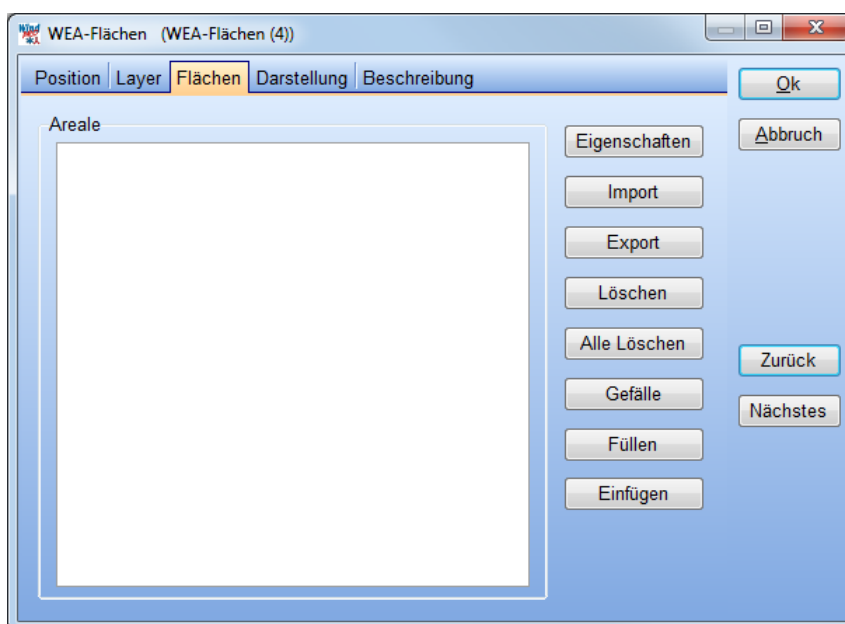
8.1.2.1 WEA-Flächen-Objekt



Das **WEA-Flächen-Objekt** (Symbol drei Rhomben) wird verwendet, um die Flächen zu definieren, die für die Platzierung von WEA zur Verfügung stehen. Ebenso können damit Flächen definiert werden, die nicht zur Verfügung stehen oder zu denen bestimmte Mindestabstände eingehalten werden müssen.

Es kann sich sowohl um eine einzige große Fläche als auch um mehrere kleinere Teilflächen – ggf. parzellenscharf – handeln. Alle Flächen werden in *einem einzigen* WEA-Flächen-Objekt definiert.

Wo genau auf der Hintergrundkarte das WEA-Flächen-Objekt platziert wird, spielt keine Rolle. Nach dem Setzen des Objekts auf der Karte öffnet sich das Eigenschaftsfenster:



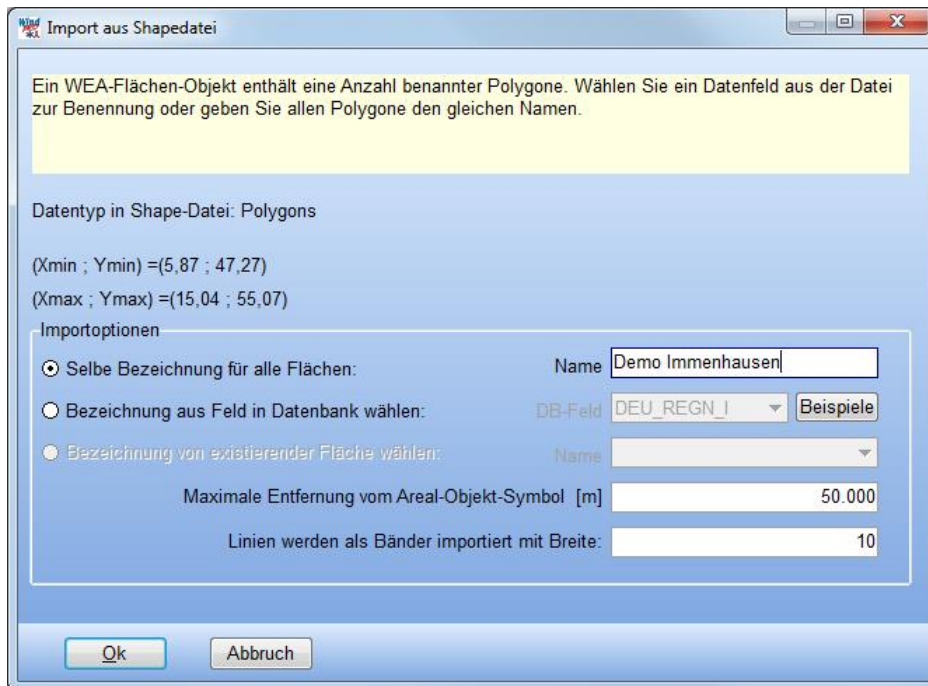
Die Flächen können auf der Hintergrundkarte digitalisiert oder aus DXF- oder SHP-Dateien eingeladen werden.

Import von Flächen aus einer Datei

Klicken Sie in den WEA-Flächen-Objekt-Eigenschaften auf den Knopf **Import**, um eine .dxf- oder .shp-Datei mit Flächendefinitionen zu laden. Beachten Sie, dass .dxf-Dateien im AutoCAD12-ASCII-Format vorliegen müssen.

Nach Auswahl der .dxf- oder .shp-Datei müssen Sie das Koordinatensystem auswählen, das in der Datei verwendet wird. Achtung: Dieser Schritt ist auch notwendig, wenn zur .shp-Datei eine .prj-Datei vorliegt!

.dxf-Dateien werden daraufhin eingeladen. Bei Shape-Dateien öffnet sich ein zusätzliches Importfenster:



Selbe Bezeichnung für alle importierten Flächen: Alle Teilflächen tragen dieselbe Bezeichnung

Bezeichnung aus Feld in Datenbank wählen: In einer Shapedatei kann es mehrere Datenfelder zu jedem Polygon geben – wählen Sie eines davon für die Benennung der Teilflächen. Im Ausklappmenü werden die verfügbaren Datenfelder angezeigt. Mit dem **Beispiele**-Knopf können Sie die ersten Datensätze anschauen.

Bezeichnung von existierender Fläche wählen: Wählen Sie den Namen einer der Flächen aus, die bereits im WEA-Flächen-Objekt vorhanden sind – wenn Sie z.B. schon einige Straßen als Ausschlussflächen definiert haben und nun weitere aus einem Shapefile importieren.

Maximale Entfernung vom Areal-Objekt-Symbol: Limitiert den Import auf den angegebenen Radius

Linien werden als Bänder mit folgender Breite importiert: Einige Shapedateien enthalten Linien anstatt Polygone. Das WEA-Flächen-Objekt kann mit Linien nicht umgehen, wird diese aber in Flächen der angegebenen Breite konvertieren.

Mit OK werden die Flächen importiert und entsprechend der getroffenen Wahl benannt.

Digitalisieren von WEA-Flächen

Wenn Sie die Eigenschaften des WEA-Flächen-Objekts verlassen, gelangen Sie in den Bearbeitungsmodus, angezeigt durch eine rote gestrichelte Linie um das Objekt (Sie können den Bearbeitungsmodus auch durch Rechtsklick auf das Symbol einleiten).

Rechtsklicken Sie auf einen Eckpunkt einer Fläche, die Sie digitalisieren möchten:



Wählen Sie **Neues Polygon erzeugen**. Es erscheint das Eigenschaftsfenster für die Fläche, die Sie erzeugen. Geben sie einen Namen ein und definieren Sie passende Eigenschaften:

Leistung: Setzen Sie eine Unter- und eine Obergrenze für die Installierte Leistung. OPTIMIZE wird dann versuchen, diese Bedingungen einzuhalten.

Anzahl WEA: Wie **Leistung**, aber für die Anzahl WEA.

Min. Abstand zw. WEA: **Kreisförmig** definiert einen Abstandskreis um die WEA, **Elliptisch** eine Abstandsellipse (definiert durch große und kleine Halbachse sowie einen Winkel – üblicherweise die Hauptwindrichtung).

Wenn eine WEA innerhalb der Fläche steht, werden in diesem Abstand von OPTIMIZE keine anderen WEA platziert.

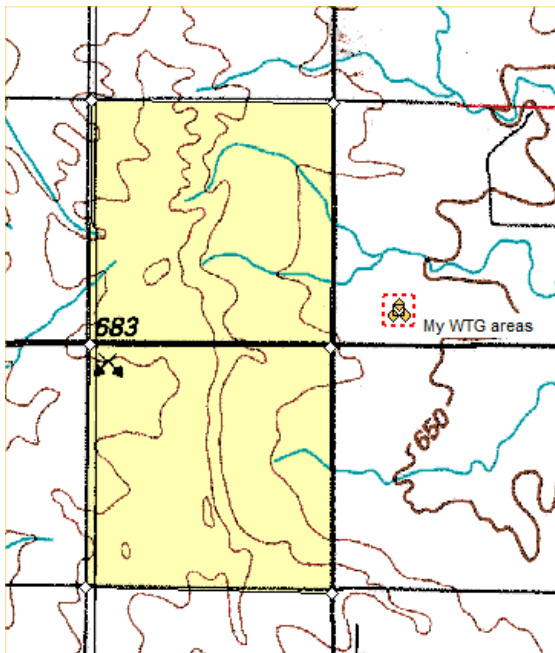
Um Abstände zu einer WEA zu berücksichtigen, die eigentlich außerhalb der Fläche steht, muss die WEA entweder in die Fläche integriert werden (durch Flächenerweiterung), oder der Abstand zur WEA muss durch Anpassung der Flächengrenzen abgebildet werden (Flächenverkleinerung).

Wird kein **Min. Abstand** eingegeben, so verwendet WindPRO den zweifachen Rotordurchmesser des optimierten WEA-Typs als Mindestabstand.

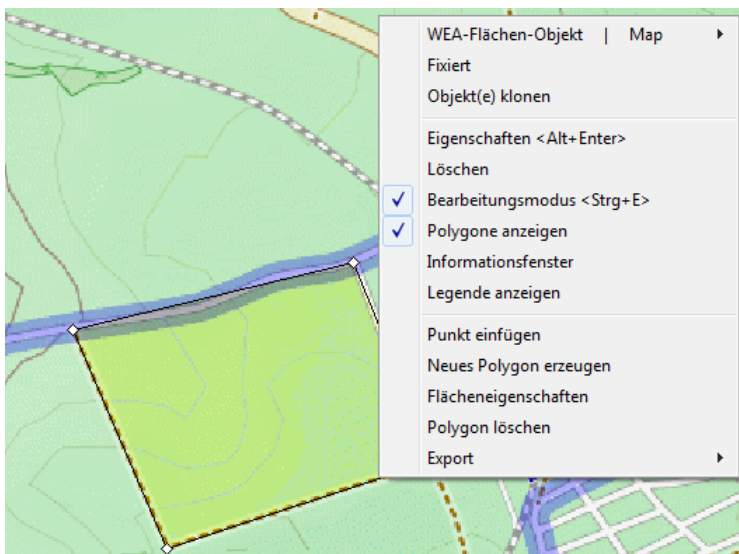
Pufferzone: In diesem Abstand zum Flächenrand werden von OPTIMIZE keine WEA platziert. Dies wird z.B. verwendet, um Baulastabstände einzuhalten oder zu vermeiden, dass die Blattspitzen auf das Nachbargrundstück ragen.

Darstellungsfarbe und –schraffur: Die ausgewählten Farben werden auf der Karte transparent angezeigt.

Digitalisieren Sie die Fläche (siehe Kapitel 2 – Areal-Objekt) und schließen Sie mit Rechtsklick → **Ende** ab.



Wenn Sie die Fläche (im Bearbeitungsmodus) anklicken, werden die Eckpunkte aktiviert und Sie können sie durch Verschieben der weißen Rautenmarkierungen modifizieren. Rechtsklick auf die Umrandungslinie zeigt zusätzliche Optionen:



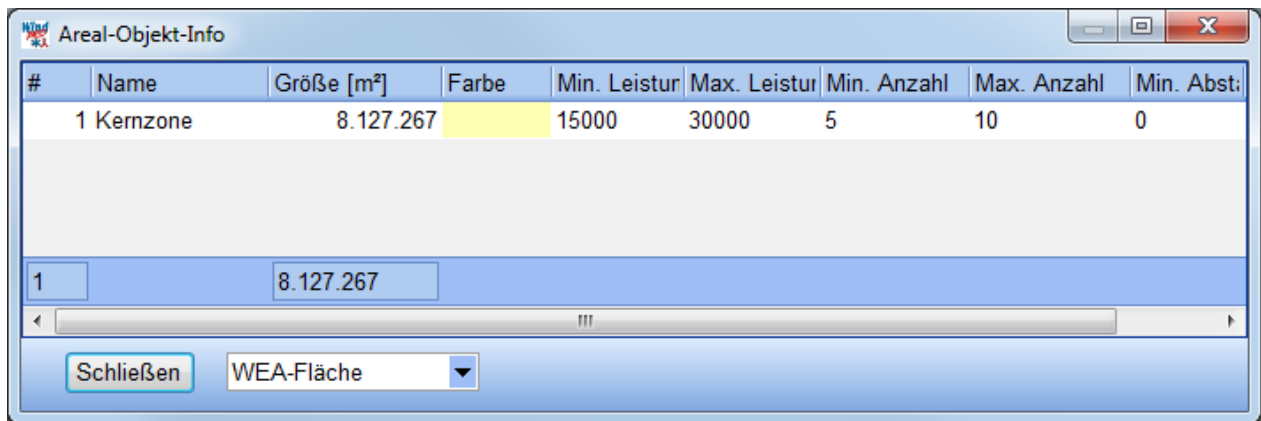
Punkt einfügen (oder, Positionsabhängig, **Punkt löschen**) fügt Punkte hinzu oder löscht sie.

Neues Polygon erzeugen startet ein neues Polygon

Flächeneigenschaften öffnet das Fenster mit den Flächeneigenschaften erneut

Polygon löschen löscht die Fläche – passen Sie auf, dass Sie nicht **Löschen** im oberen Teil des Menüs verwenden, denn dies bezieht sich auf das ganze WEA-Flächen-Objekt.

Im oberen Teil des Fensters öffnet der Punkt **Informationsfenster** ein zusätzliches Fenster, in dem die wichtigsten Eigenschaften aller Flächen des WEA-Flächen-Objekts sowie deren Größe in m² dargestellt werden.



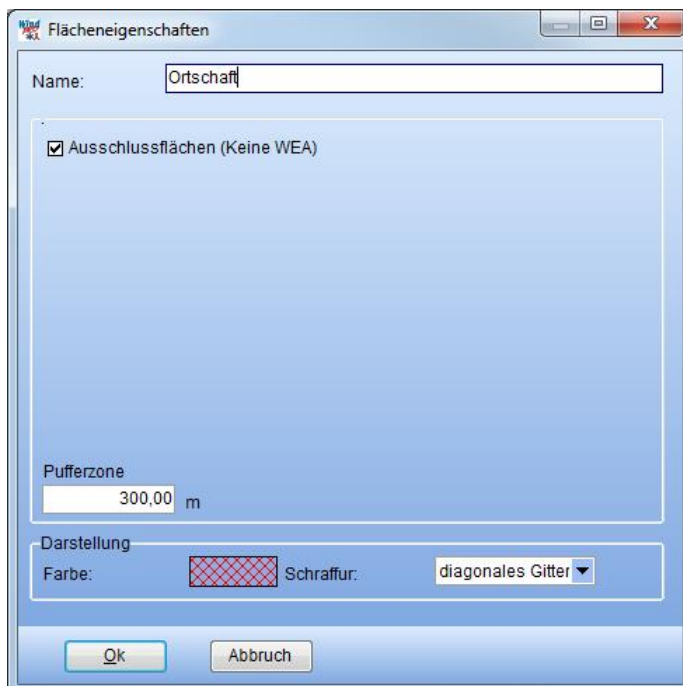
Im obigen Beispiel ist eine Fläche mit rund 8 Mio. m² digitalisiert.

Legende anzeigen (ebenfalls im oberen Teil des Menüs) zeigt eine Legende als schwebendes Fenster.

Erzeugen von Ausschlussflächen

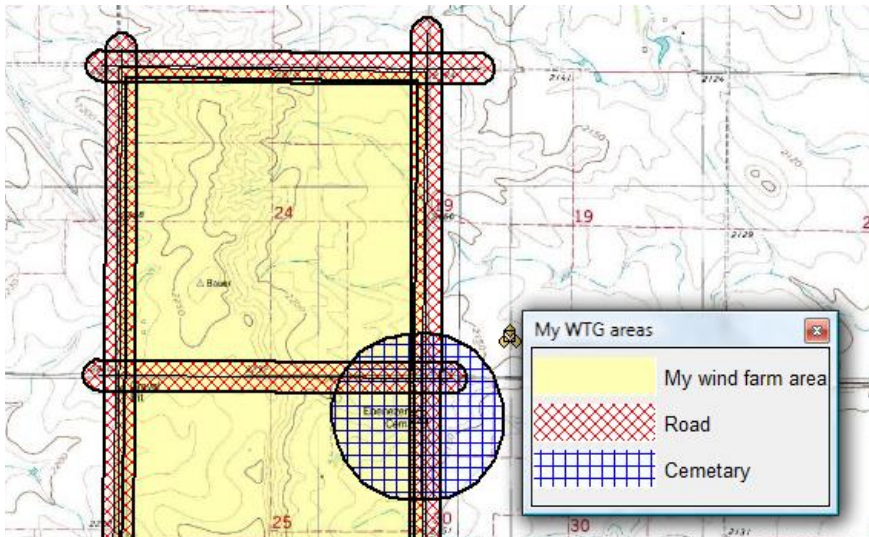
Eine Ausschlussfläche ist eine Fläche, die von OPTIMIZE beim Berechnen des optimierten Layouts vermieden werden soll. Dies können beispielsweise Wälder, Straßen, Hochspannungsleitungen, Schutzgebiete, Siedlungen oder nicht verfügbares Land sein.

Zur Ausschlussfläche kann eine Pufferzone definiert werden, die einen Mindestabstand darstellt, der zu dieser Fläche eingehalten werden muss – z.B. muss manchmal die Gesamthöhe der WEA als Mindestabstand zu Straßen eingehalten werden:



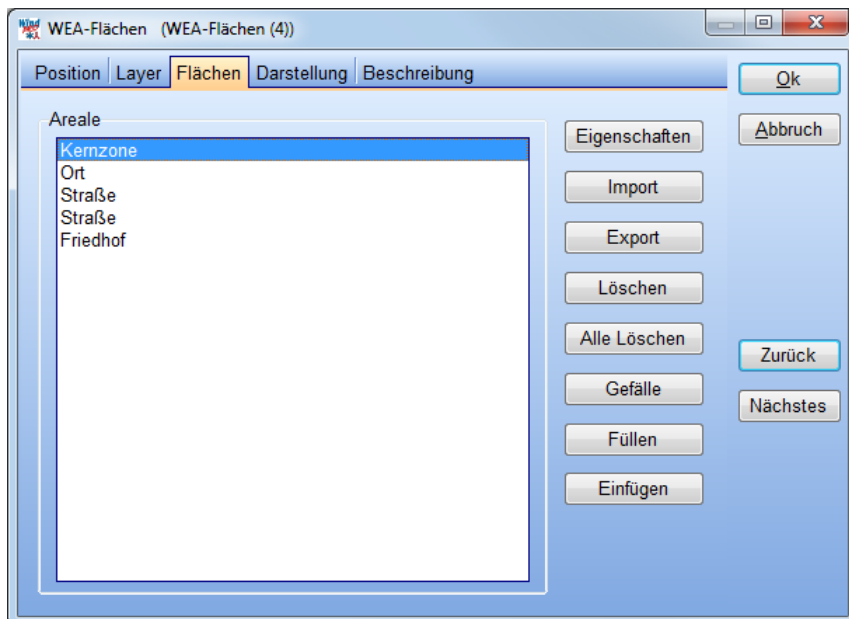
Ein lineares Element wie eine Straße wird trotzdem als Fläche digitalisiert, d.h. man folgt ihr einmal in eine Richtung und dann wieder zurück.

Die Ausschlussflächen erscheinen, sobald der Bearbeitungsmodus beendet wird:



WEA-Flächen-Objekt-Eigenschaften

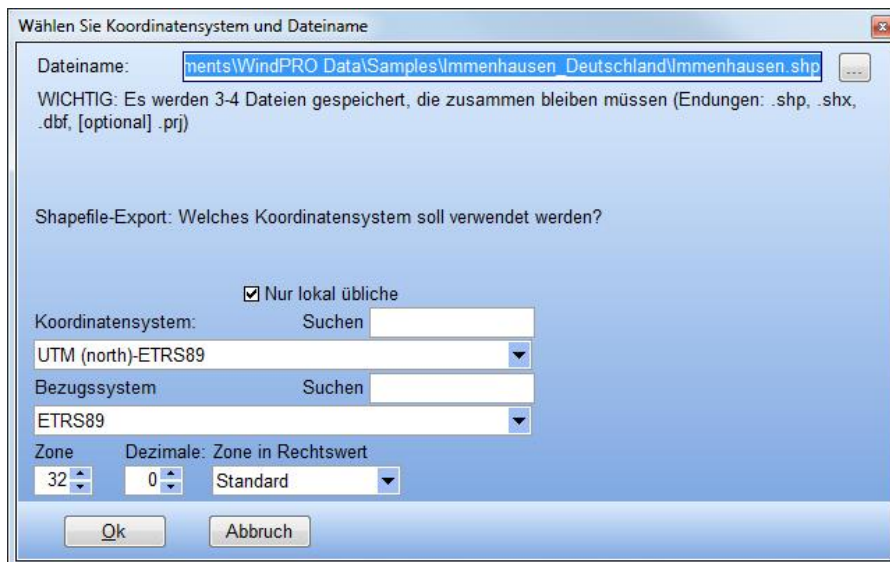
Rechtsklicken Sie auf das WEA-Flächen-Objekt, um dessen Eigenschaftsfenster aufzurufen. Die digitalisierten Flächen erscheinen nun in der Liste und mehrere weitere Optionen sind verfügbar. Es gibt zusätzliche Register, aber für das OPTIMIZE-Modul ist nur das Register **Flächen** relevant.



Eigenschaften: Wählen Sie eine Fläche in der Liste aus, bevor Sie diese Schaltfläche anklicken. Alternativ können Sie die Fläche in der Liste auch Doppelklicken, um das Eigenschaftsfenster aufzurufen. Nachdem Sie Eigenschaften geändert haben, wird Ihnen angeboten, die geänderten Eigenschaften allen gleichnamigen Flächen mit identischen Eigenschaften ebenfalls zuzuweisen.

Import: Siehe oben

Export: Speichert die Flächen als Shape-Datei (.shp). Ein Koordinatensystem und Dateipfad muss gewählt werden. Achtung: Es wird nur bei ausgewählten Koordinatensystemen eine .prj-Datei erzeugt!

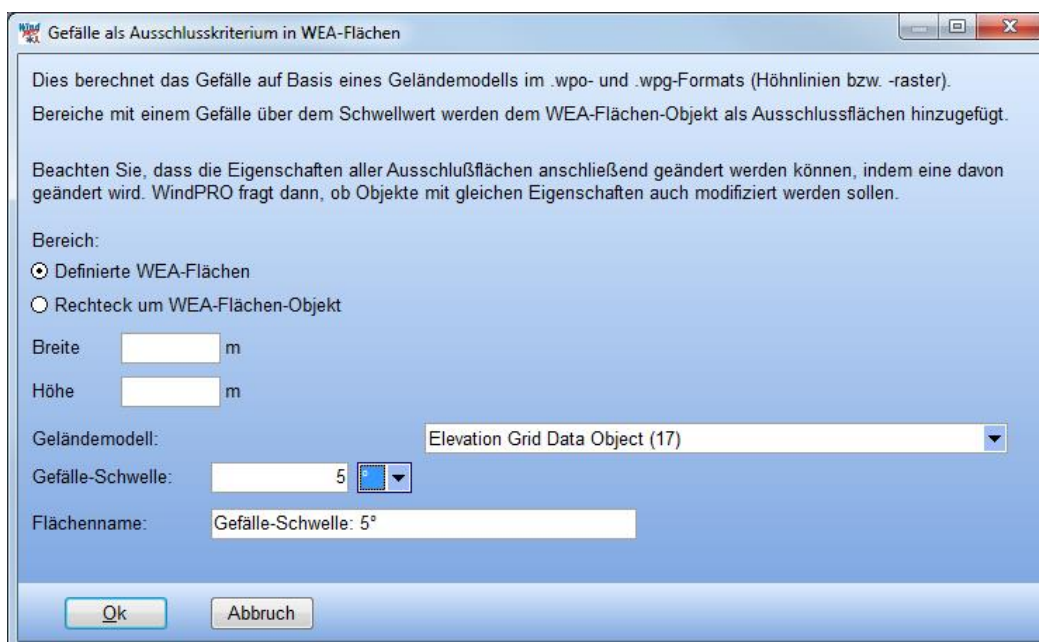


Löschen löscht eine ausgewählte Fläche und bietet Ihnen dann an (optional), alle anderen Flächen desselben Namens zu löschen. Dies kann hilfreich sein, wenn aus einer extern erzeugten Shapedatei Unmengen von nutzlosen Polygonen importiert wurden.

Alle Löschen löscht alle Polygone.

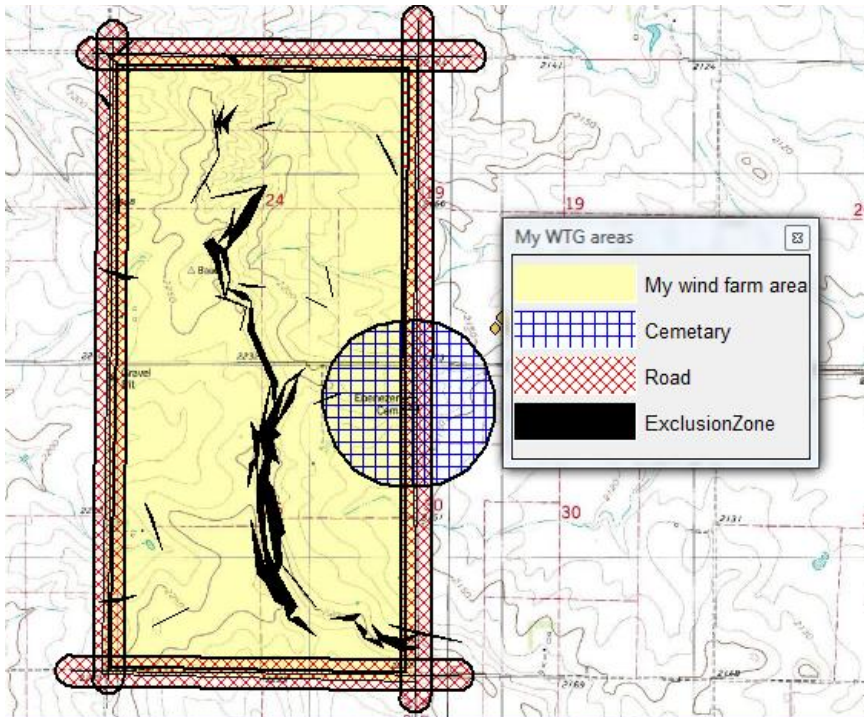
Gefälle

Mit diesem Knopf öffnen Sie das Gefälle-Werkzeug. Es sucht innerhalb eines Bereichs Flächen, die einen bestimmten Gefälle-Schwellwert überschreiten, und definiert diese dann als Ausschlussflächen.



Die Optionen des Fensters sind weitgehend selbsterklärend. Wird die Gefälleanalyse durchgeführt, wird (falls noch nicht geschehen) das Geländemodell für den untersuchten Bereich erzeugt und für jedes Dreieck oder jeden Rasterpunkt des Geländemodells das Gefälle berechnet. Benachbarte Dreiecke/Rasterpunkte werden zu einer Fläche verschmolzen.

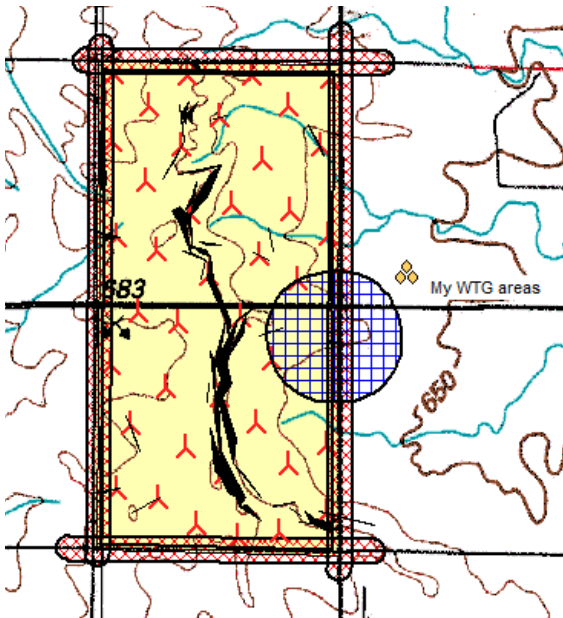
Tipp: Da zwischen den Einzelflächen sehr schmale freie Flächen sein können, die in der normalen Ansicht nicht sichtbar sind, sollten Sie, wenn Sie später die Option „Füllen“ (s.u.) wählen möchten, eine Pufferzone für die Flächen definieren (s.o. **Eigenschaften** → **Ändern** für viele Objekte gleichzeitig).



Füllen

Wird **Füllen** angeklickt, fragt WindPRO nach dem zu verwendenden WEA-Typ und füllt dann die WEA-Flächen (unter Vermeidung der Ausschlussflächen). Die minimalen und maximalen Anforderungen an Leistung und WEA-Anzahl werden ignoriert, es muss jedoch in jeder WEA-Fläche ein Mindestabstand für WEA angegeben sein.

Diese Option ist identisch mit der **Füllen**-Funktion des Optimize-Navigationsfenster (Kapitel 8.1.1)



8.1.2.2 ParkDesign-Objekt



Das ParkDesign-Objekt erzeugt ein regelmäßiges Muster von WEA mit der Möglichkeit, die Anzahl und Leistung aller WEA innerhalb der Fläche eines WEA-Flächen-Objekts zu kontrollieren.

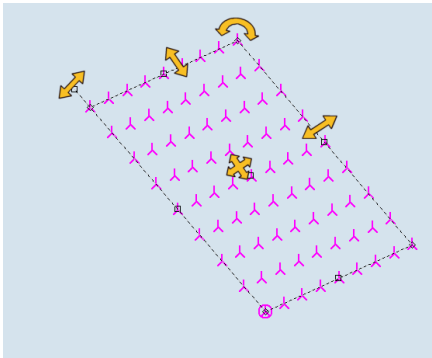
Platzieren Sie ein Parkdesign-Objekt in den WEA-Flächen (die genaue Position können Sie später noch durch Verschieben finden). Das Fenster mit den Objekt-Eigenschaften öffnet sich; Wählen Sie auf dem Register *WEA-Typ* den WEA-Typ aus und wechseln Sie dann zum Register *Gitter*:

Es sind die folgenden Muster verfügbar:

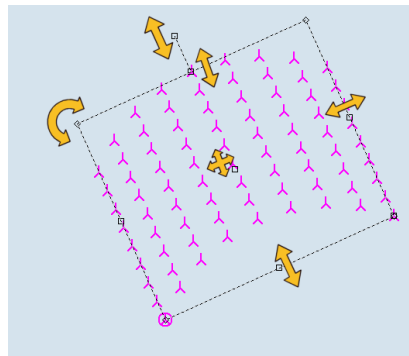
Wählen Sie das gewünschte Muster (Beispielgrafiken siehe unten). Die Eingabefelder auf dem Register *Gitter* ändern sich entsprechend dem gewählten Muster. Geben Sie zunächst die Anzahl WEA pro Reihe und Spalte ein und definieren Sie gegebenenfalls Mindestabstände zwischen WEA, die nicht unterschritten werden dürfen (unter *Einheit für Abstände* können Sie auch auswählen, dass alle Abstände als Vielfache des Rotordurchmessers angegeben werden).

Verlassen Sie dann das Fenster mit *OK*, da Sie die meisten übrigen Einstellungen auch direkt grafisch auf der Karte treffen können.

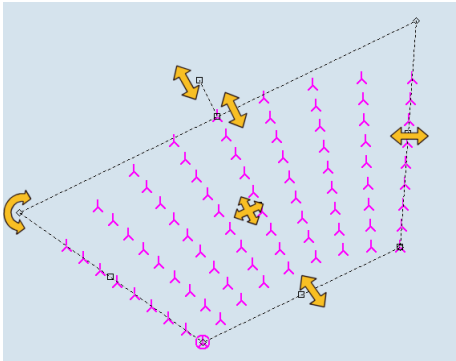
Die Layouts sehen auf der Karte so aus:



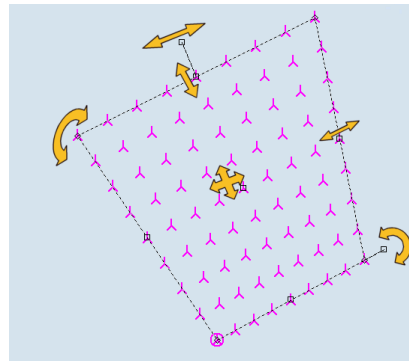
Parallele Reihen



Bögen mit gleichem Radius



Bögen mit gleichem Mittelpunkt



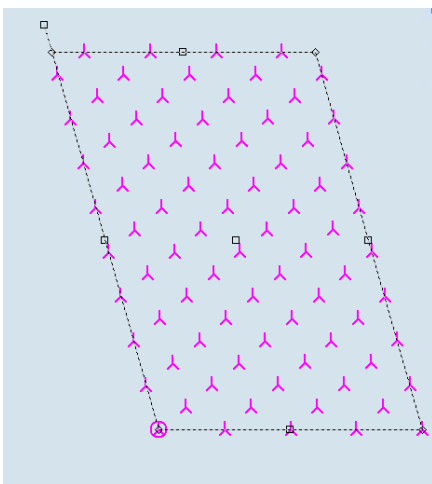
Paralleles, radiales Gitter

Die Pfeile kennzeichnen Markierungspunkte, an denen das Layout, wenn es auf der Karte markiert ist, in die entsprechenden Richtungen gezogen werden kann.



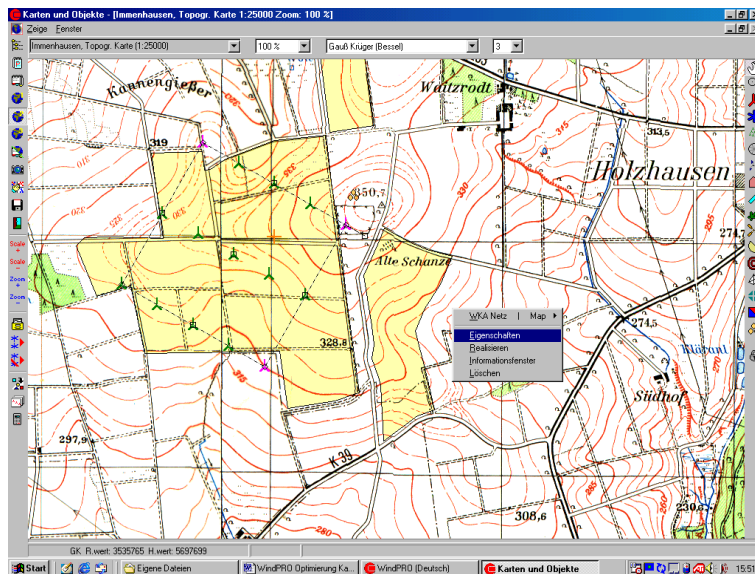
Es gibt in jedem Layout eine WEA, die mit einem Kreis markiert ist („fixierte WEA“). Diese WEA bleibt bei allen Manipulationen (außer Komplett-Verschiebung) stets am gleichen Ort, d.h. wenn das Layout zum Beispiel gedreht wird, dreht es sich um diese WEA. Die fixierte WEA kann geändert werden; klicken Sie einfach eine andere WEA im Layout mit der rechten Maustaste an und wählen Sie aus dem Menü *als fixierte WEA markieren*.

Der einzige Parameter, der nicht grafisch (d.h. auf der Karte) verändert werden kann, ist die Verschiebung für jede zweite WEA-Reihe, die im Layout *Parallele Reihen* möglich ist (siehe unten). Diese muss in den Objekt-Eigenschaften eingestellt werden.



Wenn Sie das WEA-Layout auf der Karte modifizieren, wird ständig von der Software überprüft, welche der WEA innerhalb und welche außerhalb der Fläche des WEA-Flächen-Objekts liegen (falls mehrere WEA-

Flächen-Objekte existieren, desjenigen, das in den ParkDesign-Objekt-Eigenschaften eingestellt ist). WEA innerhalb des WEA-Flächen-Objekts werden grün dargestellt, WEA außerhalb in rosa.



Klicken Sie das ParkDesign-Objekt mit der rechten Maustaste an und wählen Sie aus dem Menü *Informationsfenster*, und es wird ein Fenster angezeigt, anhand dessen sich die Einhaltung der Zielvorgaben für die Teilflächen des WEA-Flächen-Objekts (z.B. bezüglich installierter Leistung) überprüfen lässt:

Eigenschaften ParkDESIGN: ParkDESIGN 5 × 5 Abst: 258 × 360 m Nabe: 100,0 m								
Name der Fläche	Anzahl inner...	Min. Anzahl	Max. Anzahl	Diff. Anzahl	Leistung innerh.	Min. Leistung	Max. Leistung	Diff. Leistung
Area A	6	5	15	0	9000	4.000	9.000	0
Area B	1	2	5	-1	1500	3.000	9.000	-1.500
Area C	1	1	3	0	1500	1.200	2.000	0
	8			0	12000			0
Count and power								

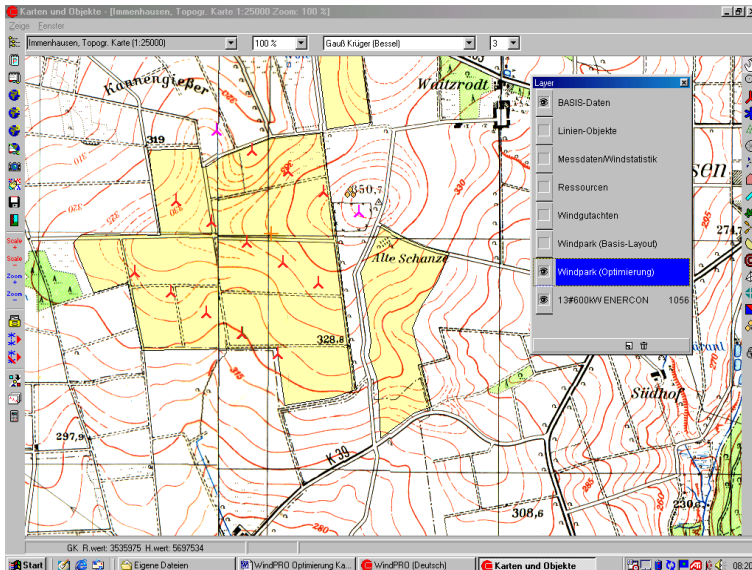
Die Informationen Anlagenzahl und Leistung entsprechend der definierten WEA-Flächen und Randbedingungen (Abstände) werden ebenso angezeigt wie die Differenz der noch ausstehenden und zu platzierenden WEA. Wenn Sie das Objekt verändern, wird diese Statustabelle aktualisiert.

8.1.2.3 Realisierung von WEA in einem WEA-Flächen-Objekt (Methode A, manuell)

Wenn die gewünschte Anzahl von WEA innerhalb der Flächen des WEA-Flächen-Objekts liegt, kann das Objekt *realisiert* werden. Klicken Sie das Objekt dazu mit der rechten Maustaste an und wählen Sie aus dem Menü *Realisieren*. Die grün dargestellten WEA ändern ihre Farbe in rot und können dann als normale WEA-Objekte bzw. WEA-Reihen behandelt werden. Diese befinden sich auf einem automatisch erzeugten neuen Layer (vgl. Abbildung unten).

Das ParkDesign-Objekt existiert weiterhin, es kann modifiziert werden und dazu dienen, weitere neue Varianten auf neuen Layern zu erzeugen.

Wenn Sie alle relevanten Layouts erzeugt haben, wechseln Sie zum Projektmanager (Berechnungsfenster) und führen Sie die benötigten Berechnungen aus.

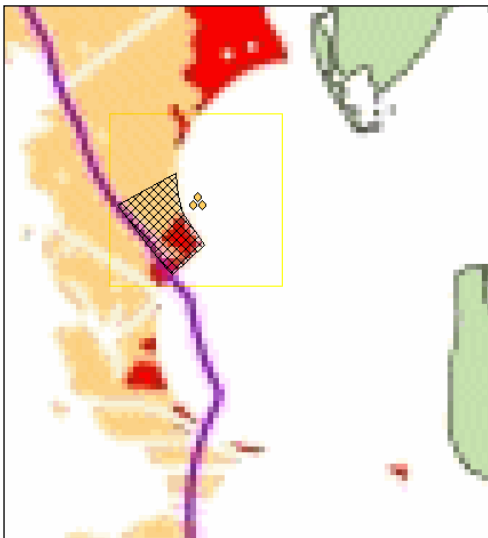


8.1.3 Optimierung eines regelmäßigen Musters (Methode A, automatisch)

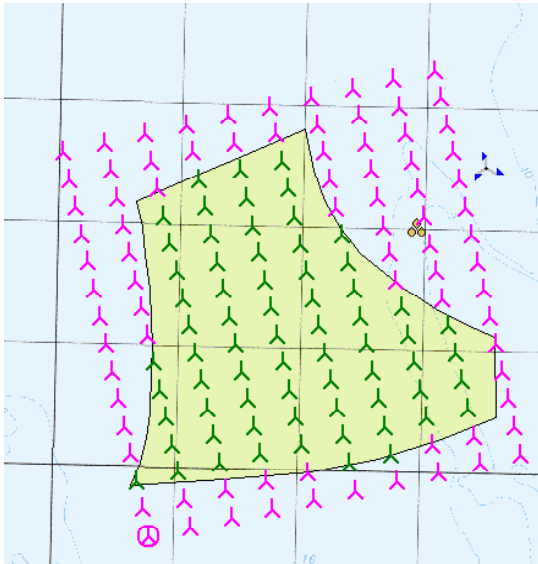
Die automatische Optimierung eines regelmäßigen Musters besteht darin, dass bestimmte von Ihnen gewählte Parameter (z.B. Abstände der WEA innerhalb der Reihe, Verdrehung des Gitters) innerhalb der von Ihnen definierten Grenzen variiert werden. Es werden alle möglichen Parameterkombinationen ausprobiert und die mit dem höchsten Ertrag ausgegeben.

Dieser Vorgang wird hier anhand eines Offshore-Projekts demonstriert.

Zunächst muss das Gebiet, das für die Errichtung von WEA zur Verfügung steht, definiert werden. Die Karte unten zeigt einen Ausschnitt aus einer Studie zu möglichen Offshore-Standorten; Diese werden in WindPRO in Form eines WEA-Flächen-Objekts abdigitalisiert.



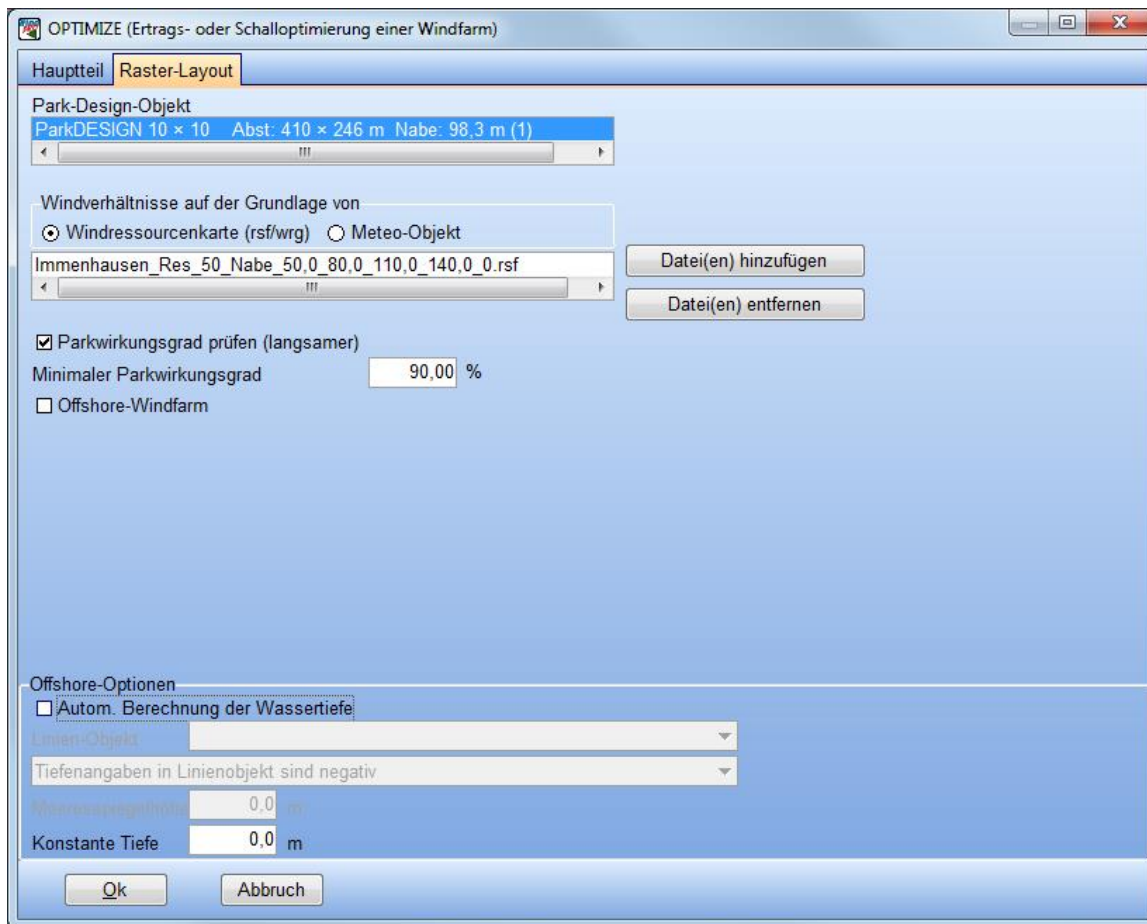
Die Windressourcen am beplanten Standort sind gleichmäßig verteilt, deshalb kann als Grundlage für die Optimierung ein METEO-Objekt mit einer Weibull-Verteilung und Häufigkeitsverteilung verwendet werden. Weiterhin wird in der Abbildung ein ParkDesign-Objekt dargestellt, das als erster Entwurf über die WEA-Fläche gelegt wurde.



Die WEA innerhalb der Fläche sind grün, die außerhalb rosa. Jetzt muss entschieden werden, welche Bedingungen erfüllt werden müssen und welche Parameter variiert werden sollen. Das Berechnungsmodul OPTIMIZE wird gestartet.

Im Allgemeinen wird die Ausbreitungskonstante auf 0,075 gesetzt, für Offshore-Windfarmen ist es aber Konsens, dass 0,04 ein besser geeigneter Wert ist.

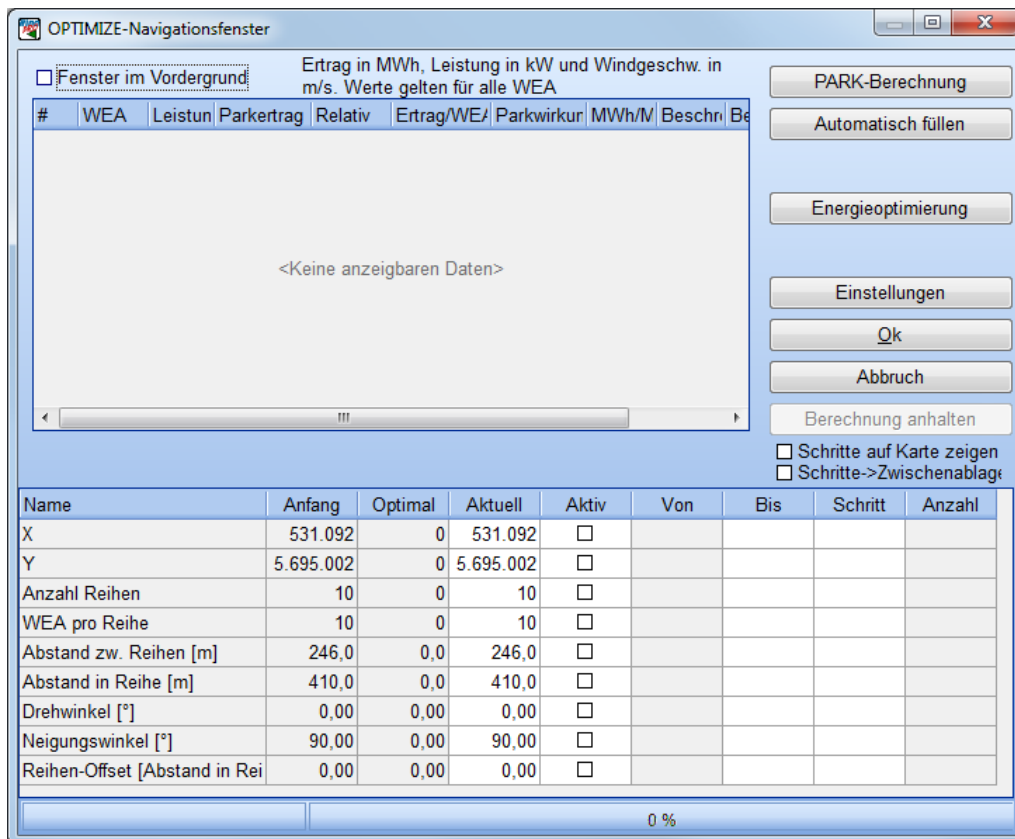
Wählen Sie die Option **Raster-Layout** und fahren Sie mit dem Register **Raster-Layout** fort.



Das ParkDesign-Objekt und die RSF-Datei (bzw. ein METEO-Objekt) werden von der Software automatisch von der Objektliste genommen; wenn mehrere Objekte zur Auswahl stehen, muss das richtige Objekt markiert werden. Weiterhin kann ein minimaler Parkwirkungsgrad gewählt werden – Layouts, deren Parkwirkungsgrad darunter liegen, werden ignoriert.

Wird das Häkchen **Offshore-Windfarm** gesetzt, kann unter **Offshore-Optionen** ein Linienobjekt mit Wassertiefen ausgewählt werden oder es kann eine Konstante Tiefe verwendet werden. Diese Werte werden verwendet, wenn die Ergebnisse später in eine Datei exportiert werden.

Die Optimierung wird durch einen Klick auf **OK** gestartet. Der Programmteil *Karten und Objekte* kommt in den Vordergrund und das OPTIMIZE-Navigationsfenster erscheint.



Das OPTIMIZE-Navigationsfenster ist eines der wenigen Fenster, die während der Arbeit auf der Karte geöffnet bleiben können. Das Kästchen **Fenster im Vordergrund** sorgt dafür, dass es nicht hinter anderen Fenstern verschwindet – leider kann dies auch dazu führen, dass Fehlermeldungen im Hintergrund erscheinen und sollte deshalb mit Bedacht verwendet werden.

Eine **PARK-Berechnung** kann durchgeführt werden, um einen Referenzertrag für das erste manuelle Layout zu erhalten. Das Ergebnis erscheint in der Liste.

Automatisch füllen füllt die Fläche entsprechend dem in Kapitel 8.1.1 beschriebenen Algorithmus.

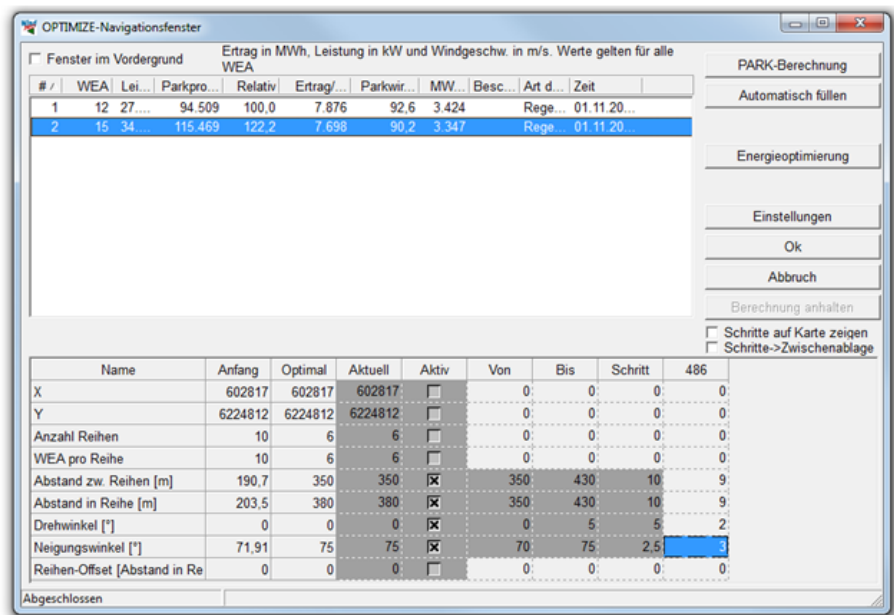
Die Aufgabe besteht nun darin, die Energieproduktion innerhalb der WEA-Fläche zu maximieren und dabei den minimalen Parkwirkungsgrad nicht zu unterschreiten.

Das ParkDesign-Objekt ist an der WEA in der südwestlichen Ecke fixiert. Die Parameter, die variiert werden können, sind:

- X-Koordinate der fixierten WEA
- Y-Koordinate der fixierten WEA
- Anzahl Reihen
- Anzahl WEA pro Reihe
- Abstand der Reihen
- Abstand innerhalb der Reihen
- Drehwinkel
- Neigungswinkel und
- Reihen-Offset

Haken Sie die zu variiierenden Parameter an und geben Sie sinnvolle Intervalle und Schrittweiten an.

Starten Sie die Optimierung mit **Energieoptimierung**.



In der Spalte *Optimal* wird die beste Parameterkombination angezeigt, in der Liste der Optimierungsergebnisse oben der Ertrag und der Parkwirkungsgrad. Im Beispiel konnten durch Parametervariation bis zu 15 WEA in der Fläche untergebracht werden. Der Parkwirkungsgrad sank dabei leicht auf 90,2%, der Ertrag verbesserte sich aber um rund 20% auf 115 GWh.

Jetzt können weitere Optimierungsschritte folgen, z.B. indem die Parameter noch einmal in kleineren Schritten um die aktuelle Konfiguration zu variieren oder indem weitere Parameter hinzugefügt werden. Es können auch andere WEA-Typen oder ein anderes Muster in den Eigenschaften des ParkDesign-Objekts ausgewählt werden und dann die Optimierung mit neuen Parametern durchgeführt werden. Die Optimierungsergebnisse werden der Liste im OPTIMIZE-Navigationsfenster hinzugefügt und ein früheres Ergebnis kann durch einen Rechtsklick auf die entsprechende Zeile wieder hergestellt werden.

So wird die Optimierung zu einem interaktiven Prozess, bei dem der Anwender die Spezifikationen liefert und die Software das langwierige Durchprobieren von Varianten übernimmt.

Ein Klick mit der rechten Maustaste in den Parameter-Bereich des OPTIMIZE-Navigationsfensters bietet die folgenden weiteren Möglichkeiten:

Spalte Anfang --> Aktuell
Spalte Optimal --> Aktuell
In Zwischenablage kopieren
Aus Zwischenablage einfügen
mit aktueller Konf. rechnen
aktuelle Werte ins Park-Design-Objekt übertragen
Aktuelles Layout realisieren
Parametervariation anhalten

Spalte Anfang → Aktuell: Kopiert den Inhalt der Spalte *Anfang* in die Spalte *Aktuell*. Die Parameter in der Spalte *Aktuell* sind diejenigen, mit denen aktuell gerechnet wird.

Spalte Optimal → Aktuell: Wie oben, nur mit Inhalt der *Optimal*-Spalte

In Zwischenablage kopieren: kopiert die komplette Parameter-Tabelle in die Zwischenablage, z.B. zur Weiterverarbeitung in einer Tabellenkalkulation

Aus Zwischenablage einfügen: wie oben, nur in die andere Richtung

Mit aktueller Konfiguration rechnen: Führt eine PARK-Berechnung mit den Parametern in der *Aktuell*-Spalte durch

Aktuelle Werte ins ParkDesign-Objekt übertragen: Aktualisiert Parameter des ParkDesign-Objekts mit den Werten der *Aktuell*-Spalte

Aktuelles Layout realisieren: Realisiert derzeitigen Zustand des ParkDesign-Objekts (siehe Kapitel 8.1.1.3)

Parametervariation anhalten: Bricht einen Optimierungs-Durchlauf vor Beendigung ab.


8.1.4 Optimierung eines freien Layouts (Methode B)

Eine automatische Berechnung von einzelnen WEA-Standorten (Mikrostandorte) erfordert die folgenden Eingabeparameter:



Mindestens ein WEA-Flächen-Objekt, das die zur Verfügung stehende Fläche für das geplante Vorhaben enthält. Hier können Anforderungen für die minimale und maximale Anzahl von WEA und Leistung sowie den Mindestabstand definiert werden (vgl. Beschreibung zum WEA-Flächen-Objekt).

Eine **Windressourcenkarte** (RSF-Datei mit RESOURCE oder WAsP erzeugt) in einer ausreichenden Auflösung (typisch ist ein 25m-Raster). Mit dem WindPRO-Modul RESOURCE lässt sich die Karte gleich für mehrere Nabenhöhen in einem Durchgang berechnen und die Ergebnisse in einer RSF-Datei abspeichern. Dies ist dann sehr hilfreich, wenn Sie WEA mit unterschiedlichen Nabenhöhen in der Optimierung verwenden wollen oder auch existierende WEA mit kleineren Nabenhöhen berücksichtigen müssen

AUSNAHME: Wenn die Windverhältnisse über die gesamte Fläche konstant sind, z.B. bei Offshore-Projekten oder auf großen offenen Ebenen, kann die Windverteilung in Form eines METEO-Objekts  anstatt mit einer Windressourcenkarte angegeben werden. Allerdings benötigen solche Projekte häufig eher ein regelmäßiges Layout, das sich über das Optimierungsmodell A (Kapitel 8.1.1.3 -8.1.1.4) besser optimieren lässt.

Wählen Sie im Projektmanager das Modul OPTIMIZE auf der rechten Seite (einfacher Klick auf den grünen Pfeil oder Doppelklick auf den Modulnamen; wenn der Pfeil vor dem Modulnamen gelb statt grün ist, so haben Sie keine Lizenz für das Modul).

Wählen Sie auf dem Register **Hauptteil** die Option **Unregelmäßiges Muster** und fahren Sie auf dem Register **Optimierung** fort.

8.1.4.1 Register Optimierung

Definiere Berechnung

Hauptteil | Optimierung | Einstellungen/Kontrolle

Unregelmäßig

Wählen Sie ein WEA-Flächen-Objekt:

WTG area for use in optimization

WEA-Flächen (2)

Windverhältnisse auf der Grundlage von:

☒ Windressourcen-Datei(en) ☐ Meteo-Objekt

C:\WindPRO Data\Samples\Ebeltoft\DEMO-Ebeltoft.rsf

RSF-Datei(en) hinzufügen

RSF-Datei(en) entfernen

25,0 m ü. Gr.

Rasterweite:

☒ von Ressource-Datei(en) ☐ Benutzerdefiniert

☒ Automatische Erzeugung neuer WEA

VESTAS V90 3000 90.0 !O!

☐ Abstände von Schallkrit. Punkten und Flächen werden berücksichtigt

WEA-Katalog durchs.

Zeige WEA-Optionen

Optimierungs-Parameter

Ok Abbruch

Wird die Optimierung für ein Unregelmäßiges Layout gewählt, stehen die folgenden Eingabemöglichkeiten zur Verfügung:

- **Das WEA-Flächen-Objekt**, das in der Optimierung verwendet werden soll. Nur ein WEA-Flächen Objekt kann gewählt werden, dieses darf aber durchaus mehrere Teilflächen enthalten.
- Ob **Abstände von Schall-Immissionsorten** berücksichtigt werden
- Die **Windressource-Dateien (RSF-Dateien)** oder das **METEO-Objekt**, durch das bzw. die die Windverhältnisse definiert werden
- Die **Standard-Nabenhöhe** für den Optimierungsprozess (Auswahlmöglichkeiten werden durch die RSF-Dateien oder das METEO-Objekt vorgegeben)
- Die **Rasterauflösung**. OPTIMIZE platziert WEA nur auf Rasterpunkte im angegebenen Abstand. Standardeinstellung ist, dass die Rasterweite der *.rsf-Datei verwendet wird. Empfohlen werden Rasterauflösungen von 50 m bei kleineren und 100 m bei größeren Gebieten. Beachten Sie, dass ein feines Raster die Anzahl der *möglichen* Layouts extrem erhöht und deshalb die Optimierung mit ihrer begrenzten Anzahl Iterationen (Standard: 50 pro Optimierungsschritt) eventuell nicht das beste Layout finden kann. Die Anzahl der Iterationen kann zwar erhöht werden (Siehe unten, **Optimierungs-Parameter → Simulierte Varianten vor Stopp**), dies sollte aber quadratisch mit der Verkleinerung des Rasters geschehen. Ein 10 m-Raster 25x enthält beispielsweise so viele mögliche Positionen wie ein 50 m-Raster, deshalb sollte die Iterationsanzahl auch von 50 auf 1250 erhöht werden. Die Berechnungszeit wird sich dann ebenfalls mit 25 multiplizieren.
- **Automatische Erzeugung von neuen WEA** - muss ausgewählt werden, es sei denn es wurden bereits manuell neue WEA in der/den Fläche(n) platziert und es soll nur für diese eine Optimierung durchgeführt werden.
- Wenn die automatische WEA-Erzeugung gewählt ist: der zu erzeugende **WEA-Typ**

Zeige WEA-Optionen – Automatische Erzeugung von neuen WEA

Wenn bereits Neue-WEA-Objekte auf der Karte platziert wurden (in sichtbaren Layern), können Sie entscheiden, wie mit diesen während des Optimierungsprozesses verfahren werden soll:

- **Lösche WEA und neues Layout von OPTIMIZE** vorschlagen
- **Behalte WEA und aktuelle Positionen fixieren** (wird verwendet, wenn bestimmte WEA an einer festgelegten Stelle stehen müssen und die restlichen WEA um diese herum optimiert werden sollen).
- **Behalte WEA, aber zu optimalen Standorten verschieben** (wird verwendet, um Projekte mit unterschiedlichen WEA-Typen und -Größen zu optimieren)

Zeige WEA-Optionen – KEINE automatische Erzeugung von neuen WEA

Wenn bereits Neue-WEA-Objekte erzeugt und auf der Karte platziert sind (in sichtbaren Layern), können Sie entscheiden, wie mit diesen (bzw. denen, die Sie selbst noch manuell erzeugen; OPTIMIZE erzeugt keine zusätzlichen WEA) während des Optimierungsprozesses verfahren werden soll:

- **Wechsel der WEA zwischen einzelnen Flächen erlaubt** (wird verwendet, wenn Anzahl und Typen gegeben sind, aber durch die Optimierung herausgefunden werden soll, wo bzw. in welchen Flächen die WEA platziert werden sollen)
- **Behalte WEA in ihren originalen Flächen** (wird verwendet, wenn mehrere Teilflächen jeweils mit unterschiedlichen WEA-Typen und Nabenhöhen bestückt werden müssen)

Schließlich können Sie als Anwender entscheiden, wie mit Neue-WEA-Objekten verfahren werden soll, die **außerhalb der durch die RSF-Datei abgedeckten Fläche** platziert sind. Diese können entweder in der Optimierung verwendet werden (indem sie von OPTIMIZE in die definierten WEA-Flächen geschoben werden) oder aber gelöscht werden. Da WindPRO keine Winddaten außerhalb der Windressourcenkarte besitzt, können diese WEA nicht in der Berechnung berücksichtigt werden, weshalb Sie zwischen den genannten Möglichkeiten entscheiden müssen.

Existierende-WEA-Objekte (blaue Symbole) bleiben stets an ihrer Position, werden aber nur in der Optimierung berücksichtigt, wenn Sie innerhalb der Windressourcenkarte (Grenzen der RSF-Datei) liegen. Stehen sie außerhalb dieser Fläche, wird WindPRO sie bei der Optimierung und den Berechnungen des Parkwirkungsgrads ignorieren.

Optimierungs-Parameter

Unter *Einstellungen*, Register *Optimierung* befindet sich die Schaltfläche *Optimierungs-Parameter*. Im Folgenden werden die einzelnen Einstellmöglichkeiten erklärt.



Anzahl WEA vor dem Fixieren

Für sehr große Windparks würde die Berechnungszeit nahezu gegen unendlich gehen, wenn alle möglichen Standorte und Konfigurationen getestet würden. Daher werden ab einem bestimmten Zeitpunkt die ersten WEA fixiert („eingefroren“). Ist diese Zahl erreicht (im obigen Fall 20 WEA), endet der rekursive Optimierungsprozess für diese Anlagenzahl und diese bleiben fest an ihren Standorten stehen.

Anzahl WEA pro Lauf nach dem Fixieren

Nach dem der erste Block von Anlagen fixiert ist, wird für die folgende WEA (in dem Fall die 21. WEA) der beste, verbliebene Standort hinsichtlich der totalen Energieproduktion gesucht. Der rekursive Optimierungsprozess wird jetzt jeweils für die folgenden WEA fortgesetzt. Auch hier lässt sich die Berechnungszeit auf Kosten der Qualität verkürzen, indem die Anzahl der WEA hoch gesetzt wird (z.B. auf 5 WEA).

Parkwirkung, Schrittweite Windrichtung / Windgeschwindigkeit

Jeder Optimierungsprozess erfordert eine hohe Anzahl von Einzelberechnungen. Daher lässt sich auch durch Erhöhung der Schrittweite der Windrichtung und Windgeschwindigkeit die Berechnungszeit verkürzen. Die Resultate mit der höchsten Präzision –wie auch immer- erhalten Sie natürlich wenn Sie die Werte auf 1° bzw. 1,0 m/s einstellen. Mit diesen Parametern wird auch immer die letzte Parkberechnung (deren Ergebnis dann im Navigationsfenster angezeigt wird) durchgeführt.

Simulierte Varianten bevor Stopp

Bei jeder neu hinzugefügten WEA ermittelt OPTIMIZE die angegebene Anzahl Layouts, für die laut Windressourcenkarte und einem vereinfachten Wake-Modell der beste Ertrag angenommen wird. Für jedes dieser Layouts wird dann eine Wake-Berechnung nach den o.g. Parkwirkungs-Spezifikationen durchgeführt und das beste Resultat weiter verwendet. Wird die Anzahl der simulierten Layouts erhöht, steigt die Berechnungszeit. Dies kann jedoch sinnvoll sein, wenn große Flächen zur Optimierung zur Verfügung stehen, wenn die Windverhältnisse innerhalb der Fläche sich nur schwach unterscheiden oder wenn eine fein aufgelöste Windressourcenkarte verwendet wird (siehe Oben, Einstellung **Rasterauflösung**).

8.1.4.2 Register Einstellungen/Kontrolle

An dieser Stelle erscheint die Auflistung aller für den Optimierungsprozess definierten WEA-Flächen und ihrer Eigenschaften. Das Programm prüft die Eigenschaften der Teilflächen des WEA-Flächen-Objekts und die Angaben auf dem Register *Optimierung* und zeigt an, wie viele WEA bei den derzeitigen Einstellungen platziert würden. So können noch Änderungen vorgenommen werden, bevor die zeitraubende Berechnung gestartet wird.

Fläche	Max. Anzahl	Max. Leistung [kW]	Min. Abstand [m]
Insgesamt erforderlich	0	0	0
Summe Flächenanforderungen	23	20.000	282
Fläche A	15	9.000	282
Fläche B	5	9.000	282
Fläche C	3	2.000	282

Mit den aktuellen Parametern werden 10 ENERCON E-82 2000 82.0 !O! eingesetzt

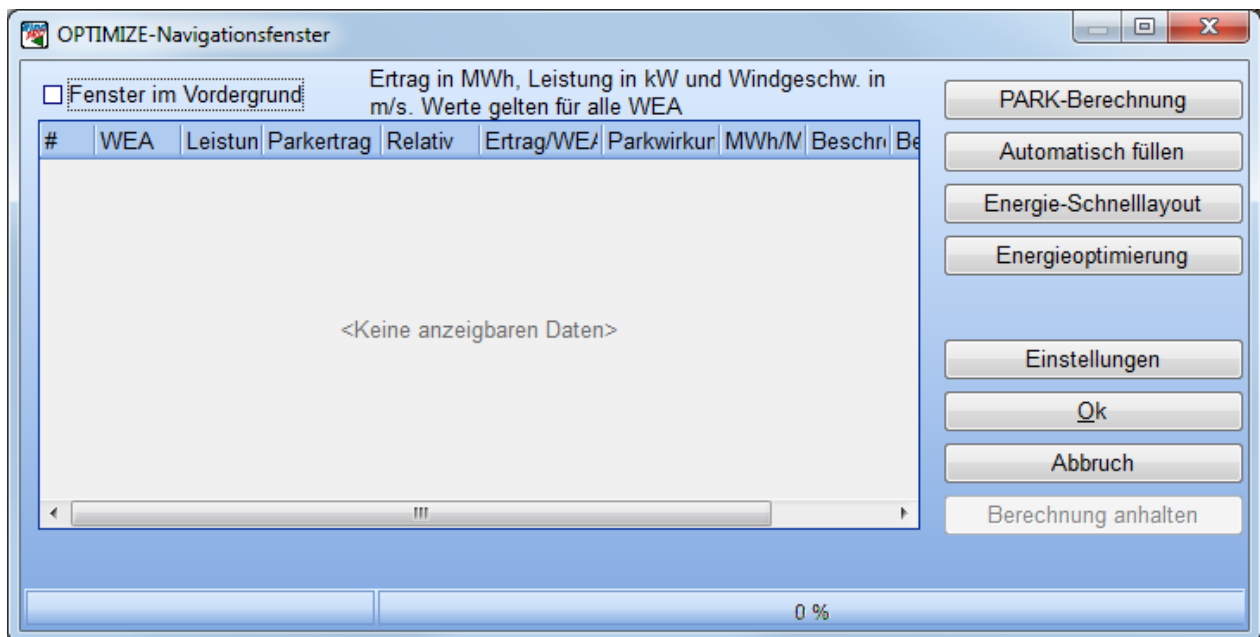
Im obigen Beispiel sind 3 Erweiterungsflächen mit einer möglichen Gesamtanzahl von 23 WEA und 20.000 kW Leistung. Da der ausgewählte WEA-Typ – hier die ENERCON E-82/2MW– 2000 kW Nennleistung hat, können bei diesen Anforderungen maximal 10 WEA (20.000 kW geteilt durch 2.000 kW) platziert werden.

Anmerkung: Die Leistung des WEA-Typs wird hier lediglich in Beziehung zur **Maximalen Leistung** gesetzt, die in der Zeile **Summe Flächenanforderungen** genannt ist, nicht zur **Maximalen Leistung** der Teilflächen. Es ist deshalb möglich, dass nicht das korrekte Ergebnis angezeigt wird. Es kann weiterhin auch möglich sein, dass z.B. wegen der angegebenen Mindestabstände in den WEA-Flächen nicht alle geplanten WEA untergebracht werden können – dies ist in diesem frühen Stadium noch nicht absehbar, weshalb auch aus diesem Grund die Angabe zur Anzahl der WEA ungenau sein kann.

In der Zeile **Insgesamt erforderlich** kann eine zusätzliche Einschränkung für die Gesamtsumme angegeben werden. Wenn Sie z.B. drei Teilflächen mit einer Maximalanzahl von 10 WEA haben, aufgrund des elektrischen Netzes die Gesamtzahl aber auf 25 WEA beschränken müssen, können Sie für jede Teilfläche ein Maximum von 10 WEA, aber ein Gesamtmaximum von 25 WEA angeben. Die existierenden Einschränkungen können nur zusätzlich eingeschränkt werden, nicht jedoch aufgehoben, d.h. es würde z.B. nichts ändern, im genannten Beispiel ein Gesamtmaximum von 35 WEA anzugeben. Auch der Mindestabstand oder die Maximale Leistung ließe sich an dieser Stelle noch einmal einschränken (beim Mindestabstand bedeutet „Einschränken“, den Mindestabstand zu erhöhen)

8.1.4.3 Start und Verwendung des OPTIMIZE-Navigationsfensters

Mit **OK** öffnen Sie das OPTIMIZE Navigationsfenster.



Markieren Sie das Kästchen „Fenster im Vordergrund“ und rufen Sie das Fenster *Karten und Objekte* auf, damit Sie den Optimierungsprozess auf der Karte verfolgen können. **Für die Optimierung werden immer alle sichtbaren WEA (werden durch sichtbare Layer bestimmt) sowie die automatisch durch OPTIMIZE erzeugten WEA verwendet.**

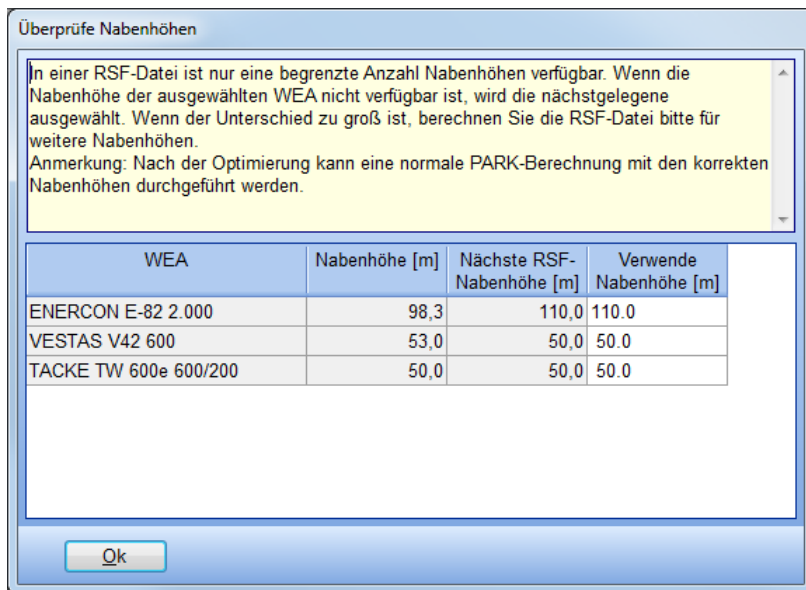
Es stehen vier Optionen zur Verfügung:

PARK-Berechnung

Diese **PARK-Berechnung** unterscheidet sich von der traditionellen PARK-Berechnung in der Form, dass hier die Windverhältnisse aus der **bereits berechneten Windressourcenkarte** gelesen werden, was die Berechnung sehr schnell macht. So können Sie Ertrag und Parkwirkungsgrad von unterschiedlichen Varianten (z.B. auf unterschiedlichen Layern) schnell vergleichen. Wenn Sie WEA auf der Karte verschieben und die Schaltfläche *PARK-Berechnung* anklicken, wird ebenfalls eine schnelle Neuberechnung durchgeführt.

Für jede Berechnung wird eine neue Zeile im Navigationsfenster erzeugt. Soll eine zuvor berechnete Konfiguration wiederhergestellt werden, klicken Sie die entsprechende Zeile im Navigationsfenster mit der rechten Maustaste an und wählen Sie *Layout wiederherstellen* aus dem Menü. Im gleichen Menü lässt sich eine Zeile auch löschen.

Wenn eine Berechnung gestartet wird, in der die Nabenhöhen der existierenden oder neu zu platzierenden WEA von denen der Windressourcenkarte (oder METEO-Objekt) abweichen, so erscheint automatisch das folgende Fenster. Hier lassen sich dann die Höhen spezifizieren, die Ihrer Meinung nach das Windangebot am besten für den gewählten WEA-Typ beschreiben.



Automatisch füllen

Diese Option füllt die WEA-Fläche mit so vielen WEA wie unter den gegebenen Mindestabständen darin platziert werden können. Dies ist keine wirkliche Optimierung, eher ein Weg um herauszufinden wie viele WEA maximal untergebracht werden können.

Energie-Schnelloptimierung

Diese Option realisiert ein simples Layout (Entwurf) auf der Basis der Windverhältnisse (Windressourcenkarte oder METEO-Objekt) und der Abschattungsverluste. Dabei werden die Abstände in Neben- und Hauptwindrichtungen sowie Standorte höheren Windpotentials für die neuen WEA berücksichtigt. Diese Funktion liefert nicht unbedingt die besten Ergebnisse, gibt Ihnen aber einen sehr schnellen Überblick der zu erwartenden Produktionswerte und Abschattungsverluste. Gleichzeitig wird ein mögliches Layout für den Windpark skizziert. An dieser Stelle können Sie Ihre Eingabedaten noch einmal prüfen oder – basierend auf dem Parklayout-Entwurf - den Windpark manuell optimieren.

Energieoptimierung

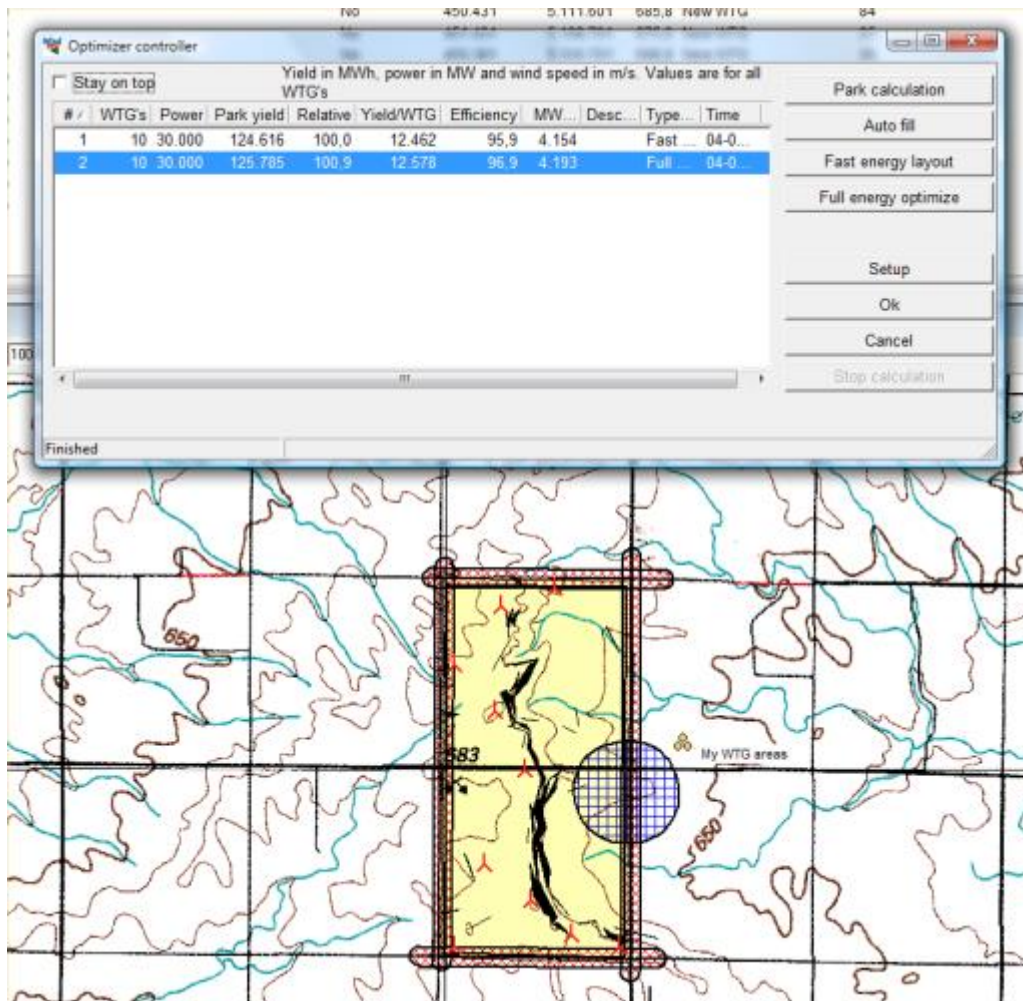
Im Optimierungsprozess wird eine große Anzahl Windfarm-Layouts hinsichtlich einer optimalen Konfiguration mit den höchsten Ertragswerten auf der Basis der Gitterauflösung, der Windverhältnisse, Nabenhöhen und Randbedingungen für die einzelnen Flächen und für den den Optimierungsprozess geprüft. Für große Windparks kann diese Berechnung sehr viel Zeit in Anspruch nehmen.

8.1.4.4 Beispiel eines Optimierungsprozesses

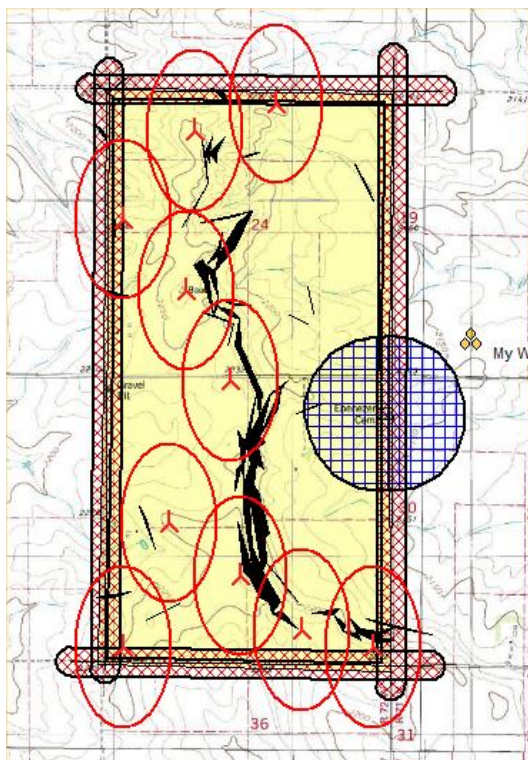
Unten ist ein Beispiel gezeigt, das darstellt, wie ein Optimierungsprozess aussehen könnte. Aber es gibt natürlich immer mehrere Möglichkeiten und Lösungen. Die Idee ist, dass Ihnen einmal anhand dieses Beispiels die unterschiedlichen Funktionen und Einsatzmöglichkeiten des Moduls OPTIMIZE aufgezeigt werden

- zunächst wird ein grobes Layout entworfen,
- dann ein kompletter Optimierungsprozess durchlaufen.
- Eine oder mehrere WEA werden verschoben, um das visuelle Layout zu optimieren, und eine PARK-Berechnung wird gestartet.
- Ggf. Wiederholung des letzten Schritts.

Der Gewinn in der Energieproduktion zwischen der Energie-Schnelloptimierung und der Energieoptimierung liegt beim Beispiel unten bei 0,9% oder 1,2 GWh/a.

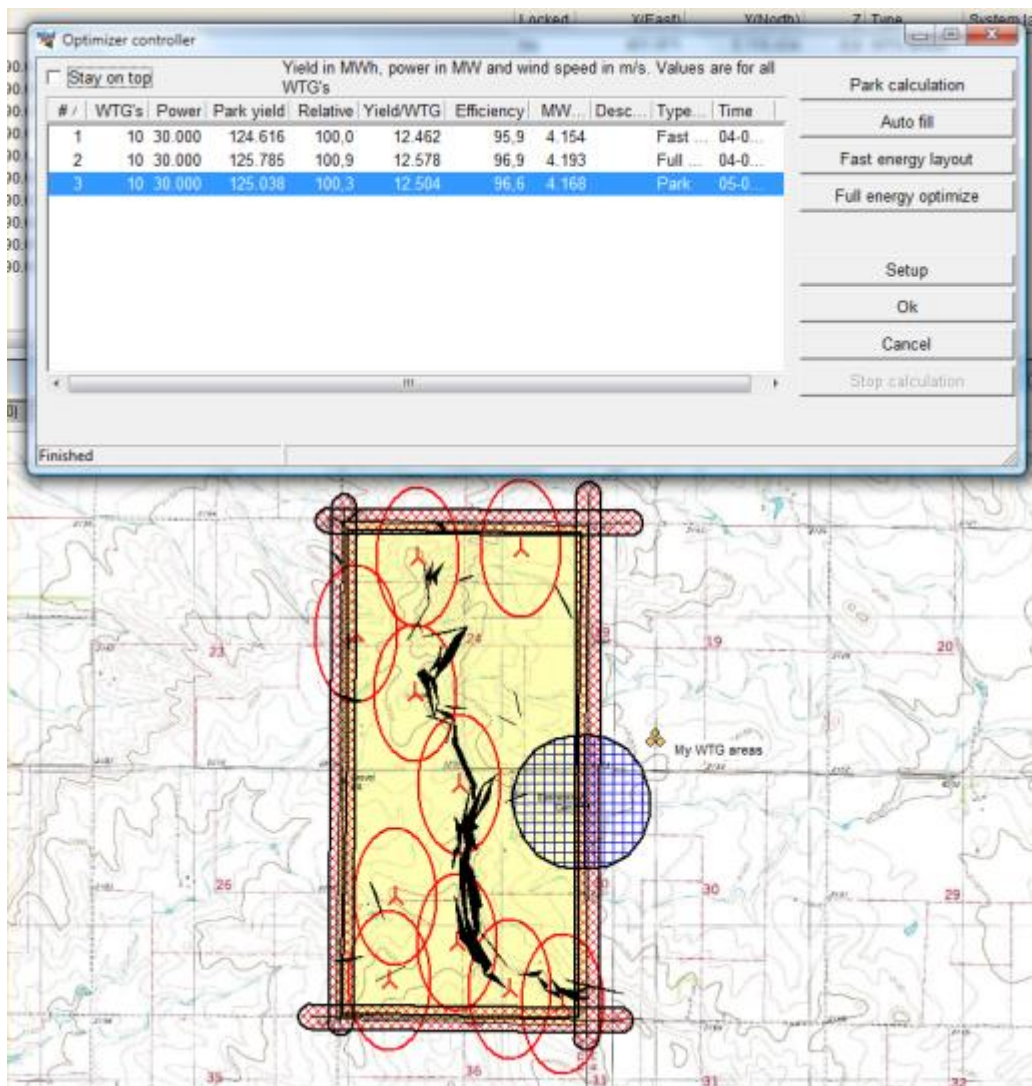


Rechtsklicken Sie auf eine WEA und wählen Sie **Abstandskreise anzeigen**. Die Abstandskreise oder – ellipsen, die als Minimalabstand im WEA-Flächen-Objekt definiert wurden, werden sichtbar – hier 5 Rotordurchmesser in Hauptwindrichtung (Nord) und 3 Rotordurchmesser in Nebenwindrichtung.



Wir bewegen einige WEA, die ungünstig platziert sind, an bessere Positionen. Vielleicht ergibt sich hierdurch auch eine bessere Produktion – denken Sie daran, dass OPTIMIZE nur mit Positionen in einem festen Raster arbeitet.

Klicken Sie auf **PARK-Berechnung**, um das Ergebnis zu aktualisieren.



In diesem Fall hat sich das Ergebnis allerdings um 0,6% verschlechtert.

Wenn wir die letzte Änderung bereuen, können wir auf die vorletzte Zeile der Ergebnisliste rechtsklicken und bekommen die Optionen:

- Details
- Layout wiederherstellen
- Zeile löschen

Die Option *Layout wiederherstellen* kann für alle Windpark-Konfigurationen vorangegangener Berechnungen, die im Navigationsfenster dargestellt sind, verwendet und als Ausgangspunkt für erneute Modifikationen benutzt werden. Wenn Sie eine Dokumentation (WindPRO-Berichtsausdrucke) einer früheren Zeile benötigen, müssen Sie diese wiederherstellen und erneut eine PARK-Berechnung durchführen, da stets die letzte Zeile in den OPTIMIZE-Berichten ausgegeben wird. Die Option *Layout wiederherstellen* alleine erreicht dies nicht.

Unter *Details* folgen die Ergebnisse der PARK-Berechnung in tabellarischer Form. Für jede WEA (existierende und neue WEA) sind die Werte für die Energieproduktion (100%), den Parkwirkungsgrad sowie die Koordinaten des Mikrostandortes dargestellt. Alle Daten können über die Zwischenablage in andere Software-Programme (z.B. Excel) kopiert werden. Durch Anklicken der Kopfzeilen werden die Daten sortiert.

Detaillierte Ergebnisübersicht

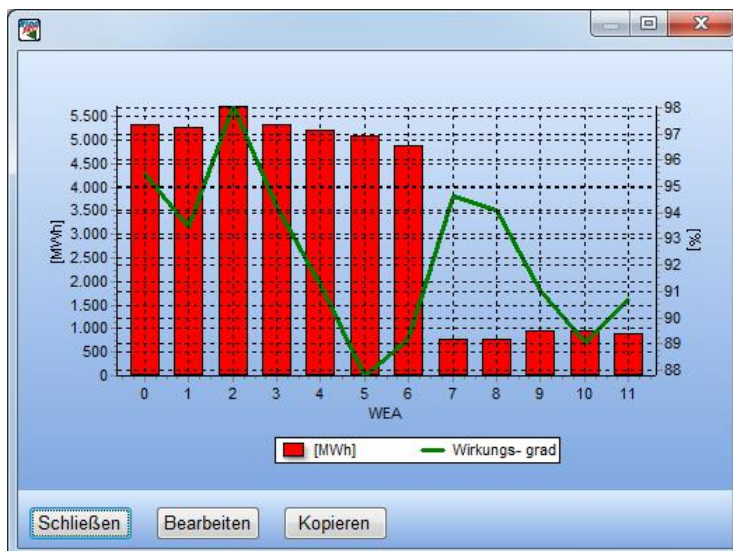
Beschreibung: Berechnungszeit: 17.07.2013 18:33:52
 Berechnungstyp: Park

Name	Schallpegel	Ertrag [MWh]	Parkwirkungsgr	MWh/MW [h]	Ost	Nord
ENERCON E-82 2000 82.0 IO! NH: 9i	Setting 0	5.335	95,5	2.668	534.678	5.695.688
ENERCON E-82 2000 82.0 IO! NH: 9i	Setting 0	5.266	93,5	2.633	535.000	5.695.468
ENERCON E-82 2000 82.0 IO! NH: 9i	Setting 0	5.712	98,0	2.856	534.129	5.696.166
ENERCON E-82 2000 82.0 IO! NH: 9i	Setting 0	5.321	94,3	2.661	534.436	5.696.710
ENERCON E-82 2000 82.0 IO! NH: 9i	Setting 0	5.217	91,2	2.609	534.574	5.696.447
ENERCON E-82 2000 82.0 IO! NH: 9i	Setting 0	5.075	87,8	2.538	535.235	5.695.520
ENERCON E-82 2000 82.0 IO! NH: 9i	Setting 0	4.876	89,2	2.438	534.785	5.696.760
VESTAS V42 600 42.0 IO! NH: 53,0 i	Einstellung 0	775	94,6	1.291	534.535	5.695.891
VESTAS V42 600 42.0 IO! NH: 53,0 i	Einstellung 0	776	94,1	1.294	534.455	5.696.198
TACKE TW 600e 600-200 46.0 IO! NH: 46,0 i	Einstellung 0	955	91,0	1.592	535.183	5.695.895
TACKE TW 600e 600-200 46.0 IO! NH: 46,0 i	Einstellung 0	949	89,1	1.582	535.131	5.696.150
TACKE TW 600e 600-200 46.0 IO! NH: 46,0 i	Einstellung 0	899	90,7	1.499	534.835	5.696.119

41.158

Schließen Kopieren Grafiken

Die Schaltfläche *Grafiken* führt zu einer grafischen Ansicht. Neben der Energieproduktion ist auch der Parkwirkungsgrad jeder einzelnen WEA dargestellt. Auch diese Grafik lässt sich über die Zwischenablage in beliebige Text- oder andere Windows-Dokumente kopieren.



8.1.4.5 Dokumentation der Berechnung

Wenn die Berechnung zur Zufriedenheit des Anwenders erfolgt ist, können die Ergebnisse gespeichert und der Bericht erzeugt werden (Es besteht auch die Möglichkeit, das Navigationsfenster zu verlassen ohne zu Speichern).

Die Dokumentation der Berechnung kann jetzt erzeugt und ausgedruckt werden.

Beachten Sie, dass die berechneten Erträge auf den Windverhältnissen der Raster-Windressourcenkarte (RSF-Datei oder METEO-Objekt) basieren und deshalb eventuell nicht exakt das selbe Ergebnis liefern wie eine Neuberechnung mit Hilfe des PARK-Moduls, das ja die exakten WEA-Positionen berücksichtigt. Weiterhin kann die verwendete Nabenhöhe aus der RSF-Datei von der tatsächlichen Nabenhöhe abweichen. Es empfiehlt sich also, im Anschluss eine normale PARK-Berechnung für das optimierte Layout durchzuführen.

Im OPTIMIZE-Hauptergebnis werden die Randbedingungen und Eigenschaften des WEA-Flächen-Objektes sowie der einzelnen Flächen tabellarisch aufgelistet. Mit den bestehenden WEA wird entsprechend der

Eigenschaft *wird als WEA im Windpark behandelt*, die Sie in den Eigenschaften der einzelnen Existierende-WEA-Objekte finden, verfahren.

Einer der großen Vorteile des OPTIMIZE-Berichts *Karte* ist die Darstellung der Ergebnisse in der Karte neben den WEA-Flächen und der verwendeten Windressourcen-Karte.

Wenn Sie mit einer abgeschlossenen Optimierung weiter arbeiten möchten (weitere Optimierung, z. B. mit einem neuen WEA-Typ), können Sie mit der rechten Maustaste auf die Kopfzeile der Berechnung klicken und im Menü *Berechnungs-Voraussetzungen* wählen. Das OPTIMIZE-Navigationsfenster öffnet sich dann mit den bisher berechneten Varianten und sie können fortfahren.

8.1.5 Schalloptimierung (Methode C)

Die obigen Optimierungsmethoden optimieren nur in Bezug auf die Energieproduktion und berücksichtigen dabei die Abstände zwischen den WEA und zu Ausschlussflächen.

Eine häufige Einschränkung für ein Windparklayout sind die Lärmimmissionen an benachbarten Gebäuden. Tatsächlich ist die Energieoptimierung in vielen Fällen fast irrelevant im Vergleich zur Schallproblematik. WEA-Schall im Allgemeinen wird in Kapitel 4 des Handbuchs behandelt.

Leider kann in den Energieoptimierungsläufen nicht für jedes getestete Layout eine Schallberechnung durchgeführt werden – dies würde eine bereits jetzt zeitaufwändige Berechnung inakzeptabel langsam machen.

Stattdessen lassen sich in WindPRO einige Teillösungen umsetzen.

Eine sehr nützliche Methode ist es, die Interaktiven Isophonen (DECIBEL-Modul) zu verwenden, um das Layout manuell zu optimieren (Kapitel 4.1.3.4). Dies kann auch bei geöffnetem Optimize-Navigationsfenster gemacht werden und so die Parkproduktion im Auge behalten werden. Eine derartige Prozedur könnte nach einer Energieoptimierung oder dem Automatischen Füllen angewendet werden, um ein Anfangslayout zu erhalten.

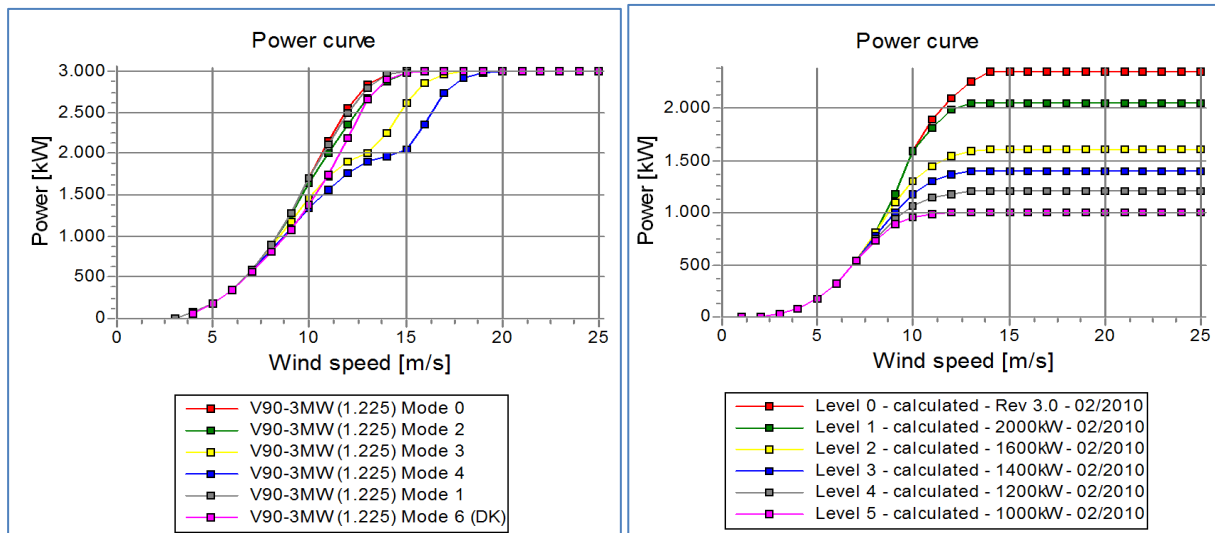
Eine zweite Option, die unten erläutert werden wird, ist es, eine Schalloptimierung eines festen Layouts durchzuführen. Da die meisten WEA-Typen schalloptimiert (auf Kosten der Produktion) betrieben werden können, können so Layouts, die ansonsten aufgrund von Schalleinschränkungen nicht umsetzbar wären, möglich werden. Die Schalloptimierung in WindPRO findet die beste Möglichkeit, die Emissionen zu begrenzen bei minimaler Produktionseinbuße.

8.1.5.1 Schallreduzierte WEA

Aktuelle WEA können in der Regel auf Kosten der Produktion schalloptimiert betrieben werden („Schalloptimierte Betriebsmodi“). Der Ertragsoptimierte Betriebsmodus wird in WindPRO „Level 0“ genannt und ist der Standardzustand einer WEA, die auf der Karte platziert wird.

Es gibt zwei Strategien, um die Schallemissionen zu reduzieren, nämlich Reduktion von sowohl Leistung als auch Drehzahl, oder nur Reduktion der Drehzahl. Welche Variante mit welchem WEA-Typ möglich ist, hängt von deren elektrischen Eigenschaften ab.

The two strategies are illustrated below.



Im BASIS-Kapitel des Handbuchs wird erläutert, wie spezifische Schall- und Leistungs-Datensätze in WEA-Objekten ausgewählt werden können. Zum Zweck der Schalloptimierung wird diese Funktion erweitert.

Wenn in den WEA-Eigenschaften, Register WEA, das Häkchen bei **Immer Standardwerte verwenden** entfernt wird, werden die verschiedenen Datensätze zugänglich. Setzen Sie das Häkchen bei **Mehr**, um in den erweiterten Modus zu gelangen.

WEA-Daten (VESTAS V90 3000 90.0 IO! Nabe: 25,0 m (18))

Position | Layer | WEA | VISUAL | Diverses | Beschreibung

WEA-Typ: VESTAS V90 3000 90.0 IO! ...

Nabenhöhe [m]: 80,0

☐ Immer Standardwerte verwenden

☒ Zeige nur aktuelle Detaildaten

Mehr

Setting 0 (1 definiert) Setting 0

Leistungskennlinie: Default

Schalldaten: Default

Visualisierungsdaten: Default

eGrid-Daten: Default

Höhenversatz: 0 m (Wird in Park-Berechnungen von Nabenhöhe abgezogen)

Anzahl in Reihe: 1

Symbolfarbe:

Zweck: Optimierung Lden

Buttons: Ok, Abbruch, Zurück, Nächstes

Es gibt zwei Zwecke für den erweiterten Modus: Optimierung und L_{den} . L_{den} wird im DECIBEL-Kapitel des Handbuchs erläutert. Leider ist es nicht möglich, eine Schalloptimierung unter Verwendung der L_{den} -Funktionalität durchzuführen.

Wählen Sie den Zweck **Optimierung**. Ein Datensatz namens „Setting 0“ ist automatisch mit den Standardeinstellungen des WEA-Typs vordefiniert – ändern Sie dies zur Leistungskennlinie und zum Schallwert mit dem Namen „Level 0“. Diese beiden Detaildatensätze sind von nun an unter dem „Setting 0“ zusammengefasst.

Klicken Sie auf die [+]-Schaltfläche um das nächste „Setting“ zu erzeugen (Setting 1), und wählen Sie die entsprechenden Leistungs- und Schalldatensätze. Die anderen drei Schaltflächen rechts werden nun verfügbar – mit dem [-]-Knopf entfernen Sie ein „Setting“, mit [^] und [v] bewegen Sie sich von Setting zu Setting.

Der Radio-Button „**Verw**“ zeigt an, welches der Settings für das WEA-Objekt gerade in Gebrauch ist.

Verlassen Sie die WEA-Eigenschaften mit **OK**.

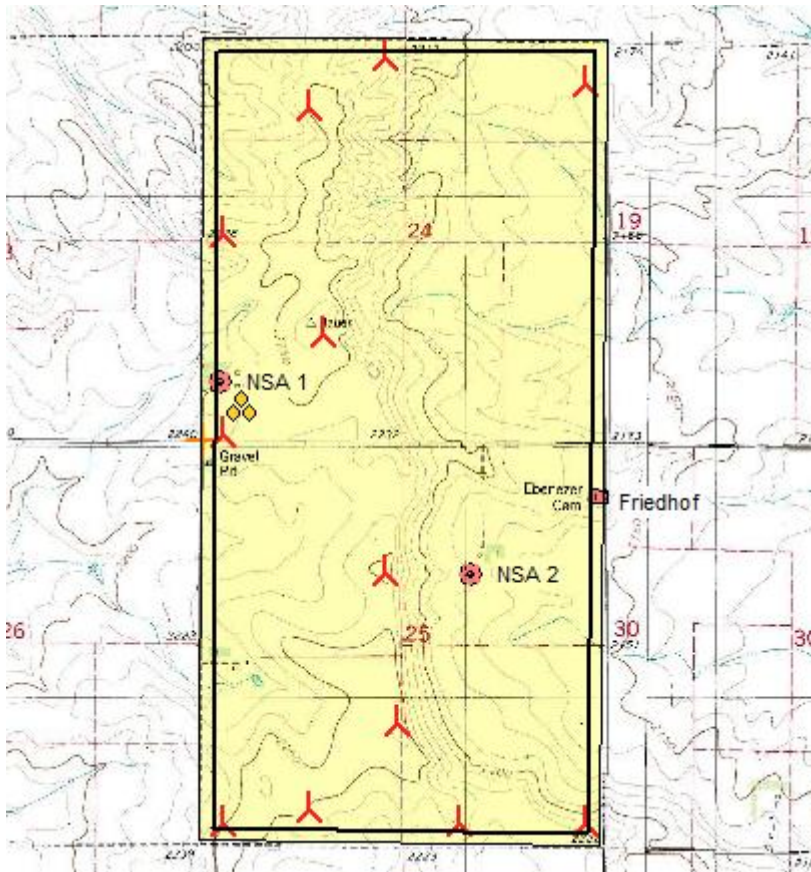
Wenn es mehrere WEA im Projekt gibt, sollten Sie die obige Definition der Settings über die Funktion **Mehrfach Bearbeiten** für alle WEA gleichzeitig durchführen (Objekte in Objektliste markieren → **Ausgewählte Objekte bearbeiten**)

8.1.5.2 Schall-Immissionsorte

Für die Optimierung müssen Schall-Immissionsorte auf der Karte definiert werden. Kapitel 4.1.2.2 beschreibt, wie Schall-Immissionsorte erzeugt werden und erläutert deren Eigenschaften.

OPTIMIZE verwendet Schall-Immissionsorte auf sichtbaren Layern, es kann also sinnvoll sein, die Schall-Immissionsorte sinnvoll auf Layern zu organisieren. Wenn z.B. eine Schallreduktionsstrategie für Tags und eine für Nachts gilt, können z.B. zwei ansonsten identische Sets Schall-Immissionsorte, die aber unterschiedliche Immissionsrichtwerte haben, auf unterschiedlichen Layern liegen.

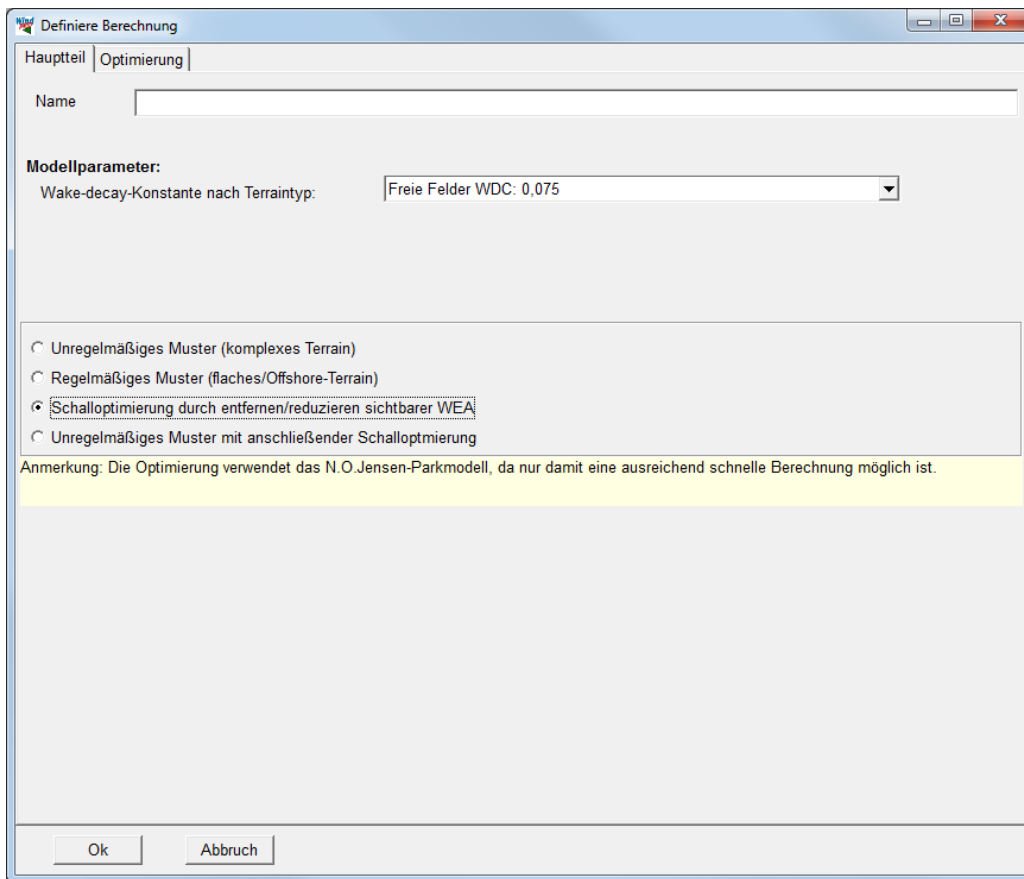
Im Beispiel unten gibt es drei Schall-Immissionsorte – zwei Wohnhäuser und ein Friedhof. Das gegebene Layout ist das Ergebnis der Energieoptimierung. Beachten Sie, dass das Layout ohne Mindestabstände zu den Wohngebäuden berechnet wurde, so dass sich eine ungünstige Ausgangslage ergibt.



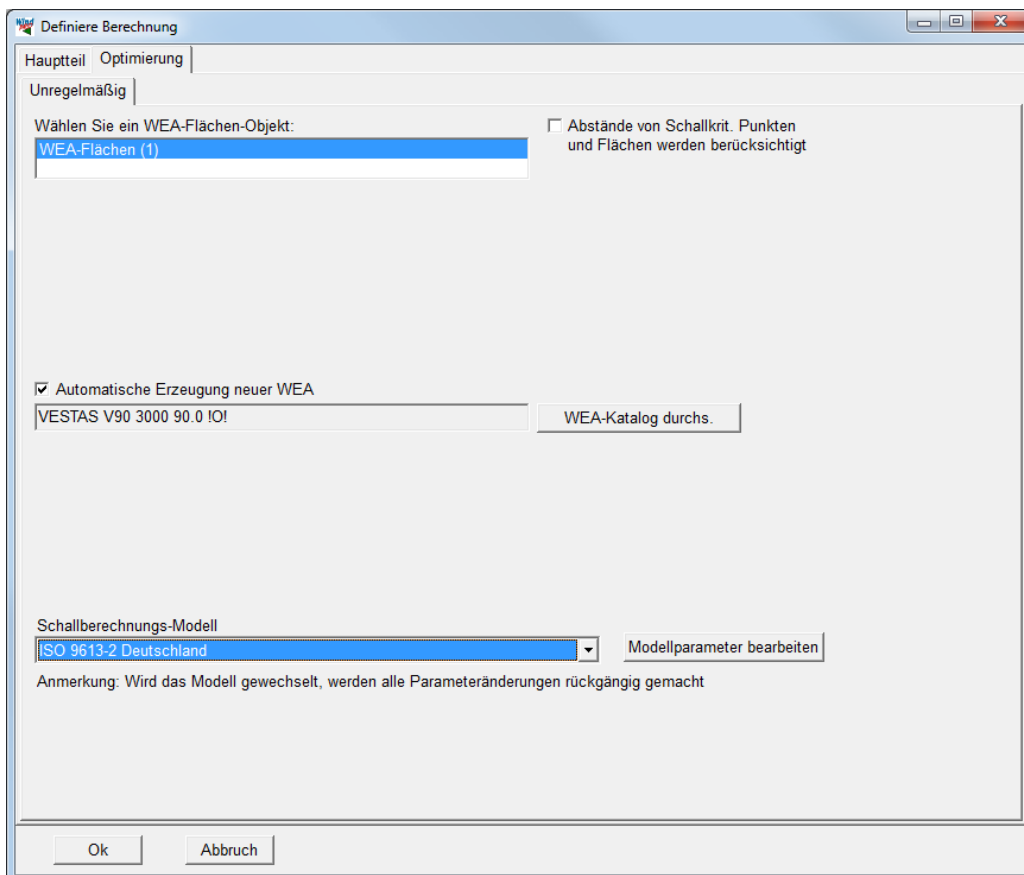
8.1.5.3 Schalloptimierung – Einstellungen

Starten Sie die OPTIMIZE-Berechnung aus dem Berechnungsfenster durch Doppelklick auf das Modul OPTIMIZE oder durch einfachen Klick auf den grünen Pfeil vor dem Modul.

Wählen Sie den Berechnungstyp **Schalloptimierung durch entfernen/reduzieren sichtbarer WEA**.



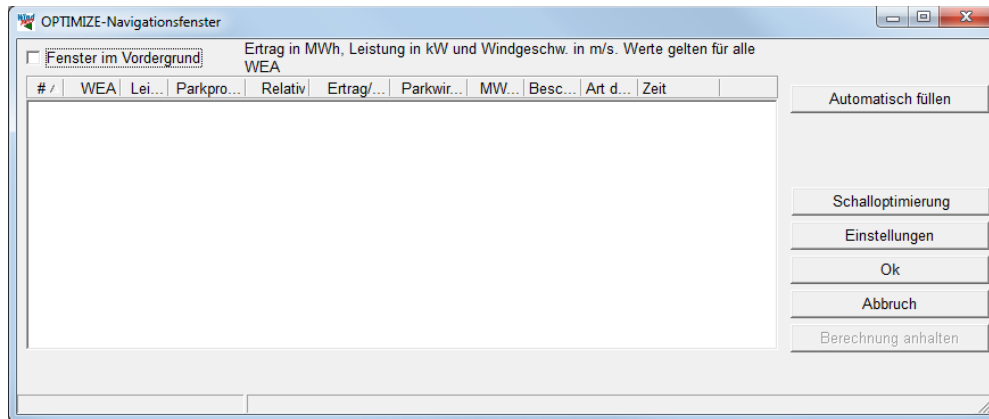
Gehen Sie weiter zum Register **Optimierung**



Das WEA-Flächen-Objekt ist bereits vorausgewählt.

Die Schalloptimierung fügt im Regelfall keine neuen WEA hinzu – nur wenn die Option **Automatisch Füllen** verwendet wird. Trotzdem ist es, auch wenn Sie dies nicht planen, notwendig, hier einen WEA-Typ auszuwählen (**WEA-Katalog durchsuchen**).

Wählen Sie das korrekte **Schallberechnungs-Modell** (siehe Kapitel 4) und starten Sie die Optimierung mit **OK**. Wie bei den anderen Optimierungen öffnet sich das **Optimize-Navigationsfenster**.



Es sind zwei Optimierungsoptionen verfügbar: **Automatisch füllen** und **Schalloptimierung**.

Automatisch füllen füllt die Fläche mit WEA, wie in Abschnitt 8.1.1 (Methode B) beschrieben.

Schalloptimierung startet die Schalloptimierung wie in Abschnitt 8.1.1 (Methode C) beschrieben.

Die Schalloptimierung entfernt WEA, um überhaupt zu ermöglichen, dass Immissionsrichtwerte eingehalten werden, und probiert dann schallreduzierte Modi für die verbleibenden WEA, um so wenig Produktionseinbuße wie möglich zu verzeichnen.

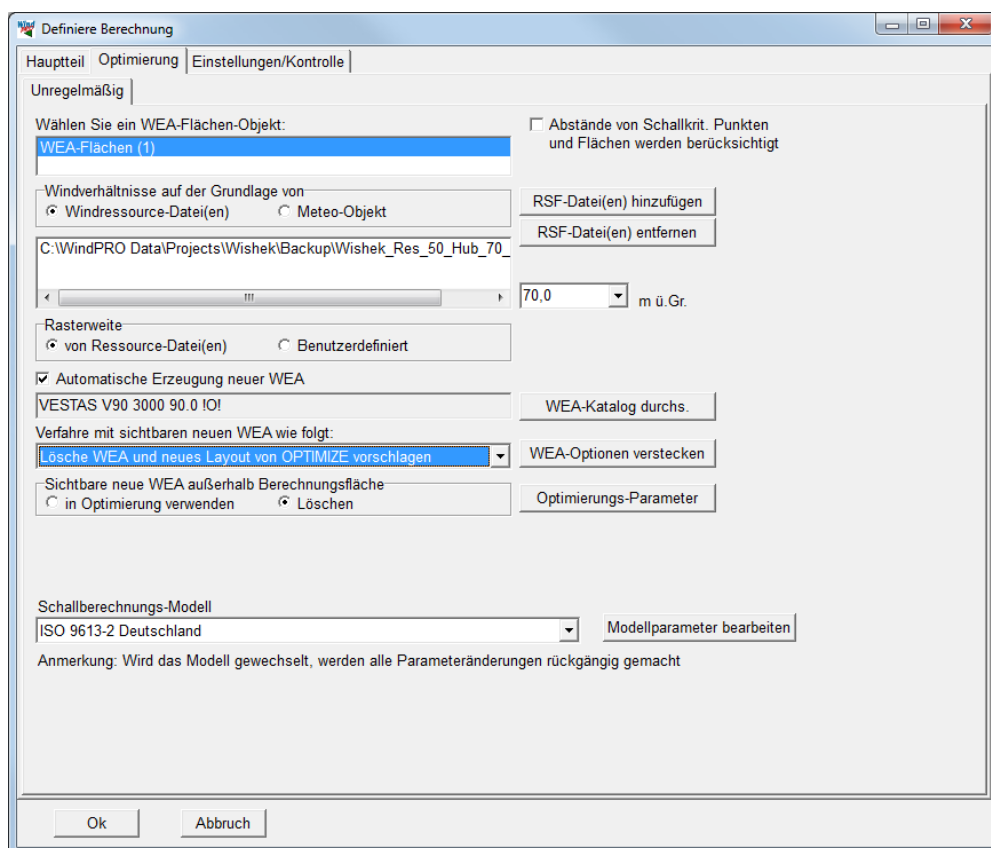
Eine neue Zeile im **Optimize-Navigationsfenster** informiert über die resultierende WEA-Anzahl.

Für die WEA-Objekte, für die schallreduzierte Modi nötig sind, sind die entsprechenden Datensätze nun ausgewählt. Für eine übersichtliche Darstellung rechtsklicken Sie auf die Ergebniszeile und wählen Sie **Details/Grafiken**. In der Detailtabelle sind die reduzierten Modi angegeben.

8.1.6 Optimierung von Schall und Energie (Methode D)

Die Schall- und Energieoptimierung ist eine Kombination der Optimierungsmethoden A und C. Es ist nicht möglich, in einem Durchlauf beide Aspekte zu optimieren, aber Sie können vom Optimize-Navigationsfenster beide Optimierungstypen aufrufen.

Die Einstellungen sind eine Kombination der Einstellungen beider Methoden.



Alle Parameter wurden in vorangegangenen Abschnitten bereits beschrieben.

Vorteil dieser Variante ist es, dass sofort die Konsequenzen der Schalloptimierung in Bezug auf die Ertragseinbußen sichtbar sind.

Im Beispiel unten wurde zunächst ein manuelles Layout erstellt (Zeile 1) und dann eine Energieoptimierung durchgeführt (Zeile 2). Die Schallreduktion hat dann zwei der WEA entfernt und Schallreduktionen auf andere WEA angewandt, so dass der Ertrag sich um 13,6% gegenüber dem Originallayout reduziert hat.

