

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Verfahrens zur Kurzzeitvorhersage der Solarstrahlung für die Anwendung im Solarenergiebereich.

Die Berechnung der Strahlungsvorhersage beruht auf einer Vorhersage der Bewölkungsentwicklung in Satellitenbildern. Aus den vorhergesagten Bewölkungssituationen wurde mit dem Heliosat-Verfahren eine Vorhersage der Solarstrahlung am Boden abgeleitet. Zur Beschreibung der Wolkenentwicklung in Satellitenbildern wurden zwei verschiedene Ansätze untersucht.

Es wurde ein Verfahren unter Verwendung von Neuronalen Netzen und Hauptkomponenten-Transformation entwickelt. Die Auswertung für dieses Verfahren hat gezeigt, daß Feed-Forward-Netze keine geeignete Methode zur Beschreibung der Bewölkungsentwicklung darstellen. Die Vorhersageergebnisse dieser Methode sind nur wenig besser als die, bezüglich der Glättung der Bilder optimierte, Persistenz.

Zur Beschreibung der Wolkenentwicklung in Satellitenbildern über die Bestimmung von Bewegungsvektorfeldern wurden eine statistische Methode und eine Methode, die auf der Minimierung mittlerer quadratischer Pixeldifferenzen beruht, untersucht. Die Ergebnisse für die beiden Verfahren sind gleichwertig und dem Verfahren mit Neuronalen Netzen und der Persistenz deutlich überlegen. Durch die verwendeten Methoden werden die Bewegung und die Veränderung klar definierter Wolkenstrukturen erfaßt. Dagegen sind Situationen mit stark inhomogener Bewölkung nur schwer vorhersagbar. Eine wesentliche Verbesserung der Vorhersagequalität wird durch eine an den Vorhersagezeitraum angepaßte Glättung der Vorhersagebilder erzielt.

Da über die Bestimmung von Bewegungsvektorfeldern die Wolkenentwicklung deutlich besser vorhergesagt werden konnte, wurde dieses Verfahren zur Vorhersage der Bodeneinstrahlung eingesetzt. Mit dieser Methode werden für die Vorhersage der Solarstrahlung am Boden für Vorhersagezeiträume bis zu 6 Stunden insgesamt gute Ergebnisse erzielt. Die Vorhersage auf der Basis von Satellitendaten ist für die meisten Situationen schon ab Vorhersagezeiträumen von einer Stunde wesentlich genauer als die Persistenz von Bodendaten.

Eine detaillierte Genauigkeitsanalyse der Strahlungsvorhersage ergab, daß Klassen unterschiedlicher Vorhersagegenauigkeit durch die Variabilität der Satellitenbilder und den Sonnenstand charakterisiert werden können. Dabei steigt die Vorhersagegenauigkeit mit der Sonnehöhe und nimmt

mit zunehmender Variabilität ab. Für sehr niedrigen Sonnenstand kann die Einstrahlung für alle betrachteten Vorhersagezeiträume nur mit hohem relativen Fehler von über 40% vorhergesagt werden. Für die Klasse mit der höchsten Vorhersagegenauigkeit, die mit hohen Einstrahlungen verbunden ist, beträgt der mittlere relative Vorhersagefehler für den Vorhersagezeitraum 30 Minuten 10% und steigt auf 25% für den Vorhersagezeitraum 6 Stunden an. Für regionale Vorhersagen werden die Fehler durch Mittelungseffekte deutlich reduziert.

Das entwickelte Verfahren zur Solarstrahlungsvorhersage ist bezüglich der Genauigkeitsanforderungen für die Anwendung im Solarenergiebereich geeignet, insbesondere können Situationen mit hoher Einstrahlung mit großer Genauigkeit vorhergesagt werden.

Im Folgenden wird kurz auf Verbesserungsansätze und eine Erweiterung der Solarstrahlungsvorhersage für längere Vorhersagezeiträume eingegangen:

Für den betrachteten Kurzzeitbereich läßt sich über die Bestimmung von Bewegungsvektoren die Entwicklung der Bewölkungssituation gut beschreiben. Eine Erhöhung der Qualität der Solarstrahlungsvorhersage kann vor allem durch eine verbesserte Einstrahlungsbestimmung aus Satellitendaten erreicht werden, da die Vorhersagefehler maßgeblich durch die Umrechnung der Satellitendaten in Bodenwerte bestimmt sind. Mit der Einführung der neuen Satelliten-Generation MSG werden in naher Zukunft genauere Verfahren zur Einstrahlungsbestimmung zur Verfügung stehen.

Das hier entwickelte Vorhersageverfahren ist auf die Anwendung für Vorhersagezeiträume von wenigen Stunden begrenzt. Die zugrunde liegenden Annahmen, daß Geschwindigkeitsänderungen und thermische Prozesse, die Entstehung und Auflösung von Bewölkung beeinflussen, vernachlässigbar sind, gelten in guter Näherung nur für kurze Zeiträume. Für längere Vorhersagezeiträume muß die Veränderung des Zustands der Atmosphäre durch ein numerisches Wettermodell berücksichtigt werden. Dies kann z.B. durch die Anpassung eines regionalen Wettermodells an die speziellen Anforderungen der Solarstrahlungsvorhersage realisiert werden.