

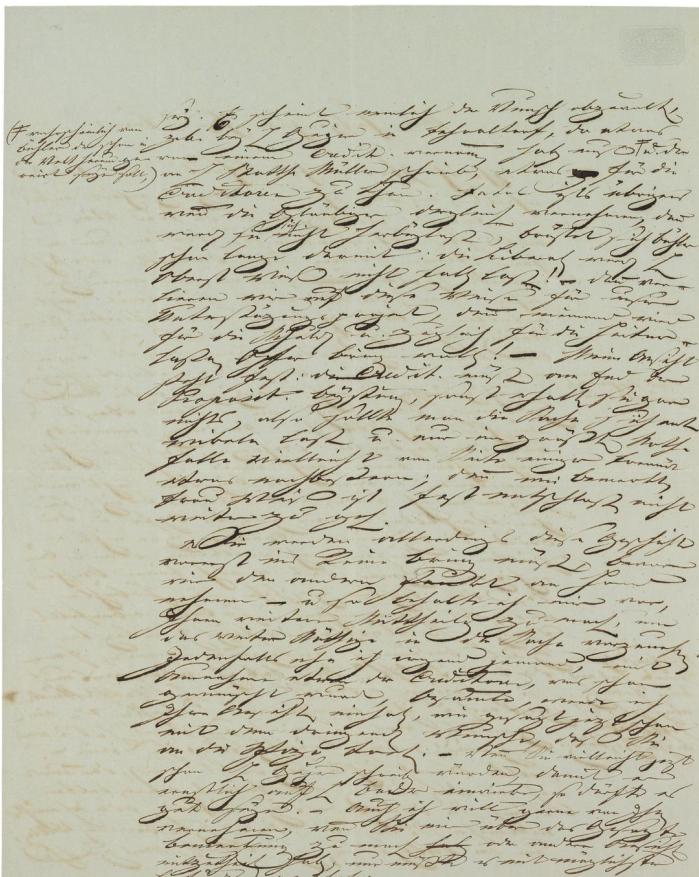
# End-to-end, Full Page, Handwriting Recognition

Curtis Wigington, Brian Davis, Chris Tensmeyer, Bill  
Barrett

# End-to-end, Full Page, Handwriting Recognition

1. Prior work and why assumptions they make are invalid.
2. Handwriting Recognition Method
3. Training Process
4. Results

# Full Page Handwriting Recognition



## 1. Line Segmentation



## 2. Recognition

sey. Es scheint nemlich der Wunsch obzuwalten,

# Line Segmentation - Deskewing

Before  
Deskew

Bücher, Uffz. mannen,  
in Paris. — In Romain fandt ic kein Platz mehr  
in der Schreiberei, so dass ich mich auf die nächsten  
neuen Wohnungssuchten beschäftigte. Ich wohnte in einer  
Zweizimmerwohnung am Boulevard Saint-Germain, die sehr bequem ist.  
Und meine Nachbarin ist eine sehr nette Dame, die mir sehr gut  
ihre Wohnung und ihre Arbeit zugetragen hat.

After  
Deskew

Bücher, Uffz. mannen,  
in Paris. — In Romain fandt ic kein Platz mehr  
in der Schreiberei, so dass ich mich auf die nächsten  
neuen Wohnungssuchten beschäftigte. Ich wohnte in einer  
Zweizimmerwohnung am Boulevard Saint-Germain, die sehr bequem ist.  
Und meine Nachbarin ist eine sehr nette Dame, die mir sehr gut  
ihre Wohnung und ihre Arbeit zugetragen hat.

# Line Segmentation - Deskewing

Top of  
Page

Mit freundl. gr. Friedrich Hilgar, der mir Beihilfe bei der  
Administration der französischen credit mobilier füllt und mir freige-  
ben will mit seiner Einigung den begehrten, von mir gewünschten  
gewollt, weißt mir maggattu R. Wohl von mir zu schreien.  
Als ... ist Mannschaft zu wollen, reise ich und gehn zu dem Konsulat

Bottom of  
Page

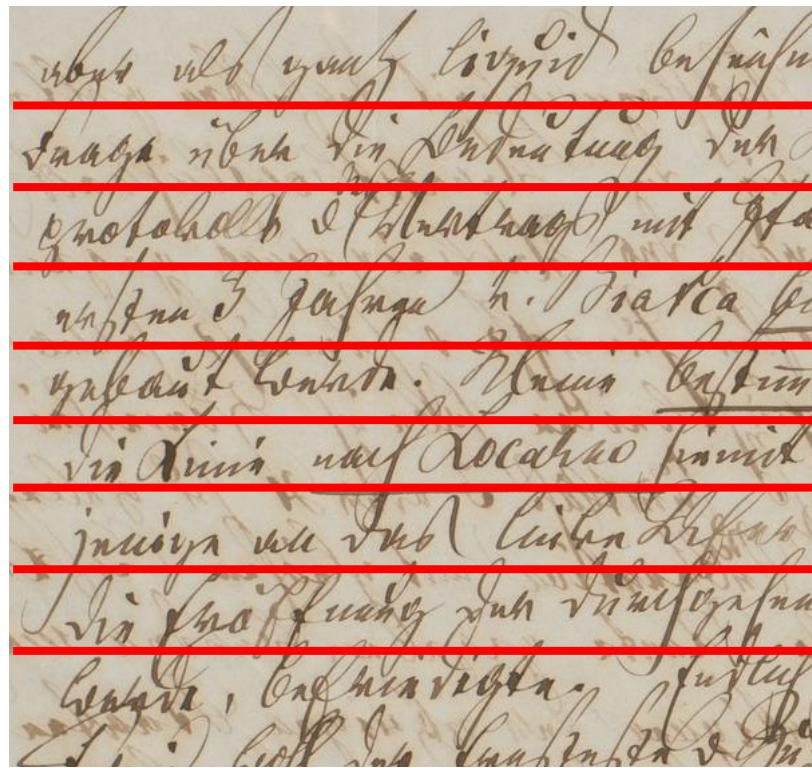
Unterwegs machen wir  
in Paris. — In Rom sind wir sehr gut  
in der Nachfrage nach dem kleinen Hotel  
und wenn wir auf Kosten dieser werden können wir es  
für uns nicht leicht machen können, wenn sie befürchtet  
dass man's nicht auf Amerikaner zurück setzt.  
Und wenn man's nicht auf Amerikaner zurück setzt  
wir nicht sicher und glücklich sein

# Line Segmentation - Deskewing

## OF FORMER RESIDENT OF MICKLEOVER.

# Line Segmentation - Multiple Regions

Northern Rhodesia is a member of the Federation. Mr. Macleod was not at the week-end meeting. But he told OM B yesterday: "I have no knowledge of secret negotiations." He said Britain had an obligation to consult the Federal Government. Mr. James Callaghan, Labour's Colonial spokesman, said Sir Roy had no right to delay progress in the talks by refusing to sit round the conference table.

A faint, light brown background image of a handwritten document. Overlaid on this background are several thick, horizontal red lines. These red lines are spaced at regular intervals and extend across the width of the page. They serve as guides for segmenting the text into multiple regions, likely for the purpose of optical character recognition or text analysis. The handwriting in the background appears to be in cursive script, though it is very faded and difficult to read in detail.

# Line Segmentation - Multiple Regions

Bei Bezugnahme der Logen 25. vom Hof  
braucht es nicht auf den ersten Zeichen - das  
geschieht es so leicht ~~weil~~ und man kann auf dem  
Schreiben des P. den Druck darauf auf zu  
merken braucht.

Am 16. Juli 1836.

N. Wittenbach.

Zugangsform zur Loge 25.  
Vorliegende Comptoirzettel hat ich jetzt aus jüngster Abreise  
mit mir aufgelegt, damit man sie hier leichter einsetzen kann für  
Logenfälle, gleicherfalls als Beleg für einen geöffneten oder geschlossenen  
Zugang, gleichzeitig bestätigt, dass für Liegenschaften, welche eingetragenen sind, die  
Loge geöffnet ist. Das Logen der Freiherrn ist offen, und Rittergut und  
Gute Wilmersdorf im anderen Landkreis Hannover geöffnet, gegen  
Wiederholung des Vorwurfs der oben Dagegen ab ist Herrn Logenmeister  
zu Hamm & Lübeckfeld - fand kurz auf ein Dokument vermerkt, dass  
der genannte Zugang ist gleichzeitig mit dem Schloss geöffnet.  
Der Schloss ist auch geöffnet, auf Hamm & Friedländer geöffnet, bis zum Herren  
und dem Offizier nicht geöffnet, und Loge ist so leicht einzusehen. Der genannte  
Freiherrn ist ebenfalls mit diesem Zugang geöffnet.

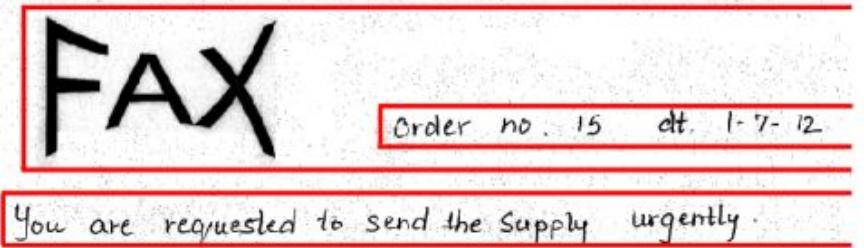
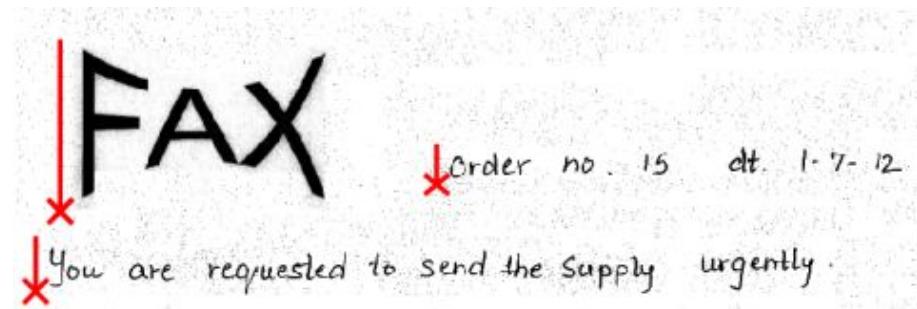
Bei Bezugnahme der Logen 25. vom Hof  
braucht es nicht auf den ersten Zeichen - das  
geschieht es so leicht ~~weil~~ und man kann auf dem  
Schreiben des P. den Druck darauf auf zu  
merken braucht.

Am 16. Juli 1836.

N. Wittenbach.

# Full Page Recognition

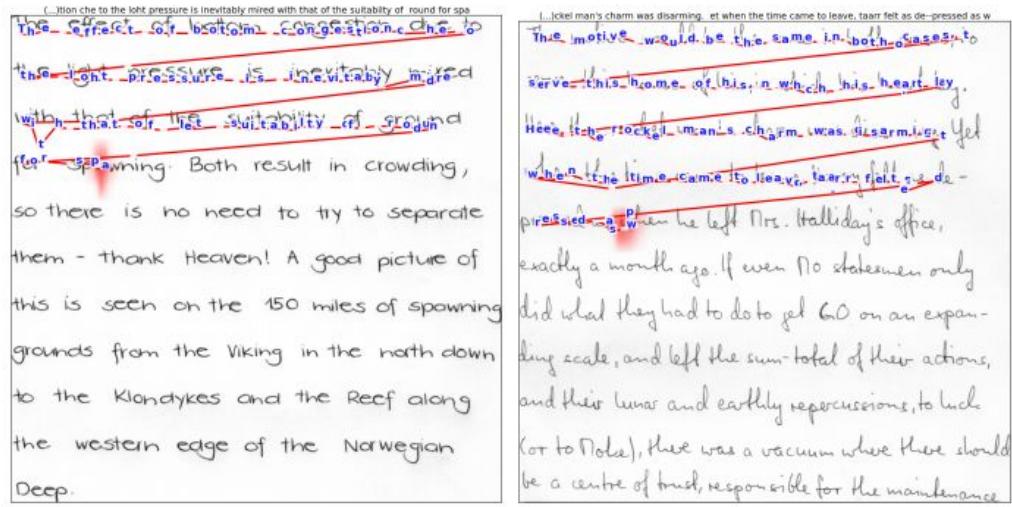
- Two part system: Start of line finder and handwriting recognizer.
- Does not consider rotation or skew.
- Requires start of line training data



Moysset et al., Full-Page Text Recognition: Learning Where to Start and When to Stop.

# Full Page Recognition - MDLSTM Attention

- Attention by character or line
- Character level: “the presented system is very slow due to the computation of attention for each character in turn.”
- Line level: Recognition is fast, but assumes lines span entire width.



# Proposed Solution

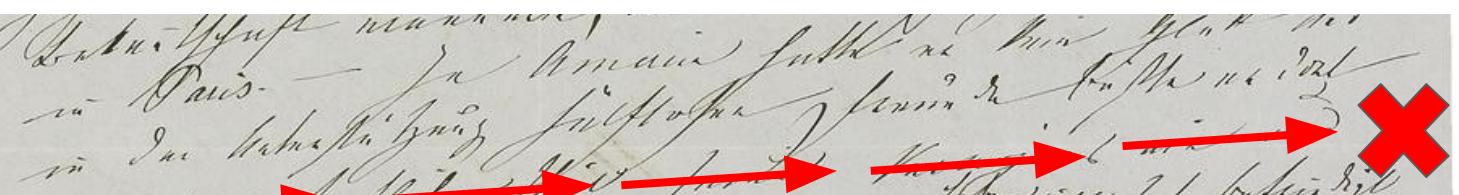
1. Start of line finder



2. Line follower

3. Handwriting Recognition:  
sey. Es scheint nemlich der Wunsch obzuwalten,

Datum: 17. Sept. 1844  
in Paris. — In Romantia fand ich eine Gläserne  
in der Naturphilosophie sehr interessante und  
wichtige Arbeit, die ich Ihnen sehr empfehlen  
möchte. Sie ist von einem Amerikaner verfasst und  
findet sich in einer amerikanischen Zeitschrift.  
Und meine Mutter war sehr froh darüber, als ich sie  
mit dem Artikel ausgetauscht habe.

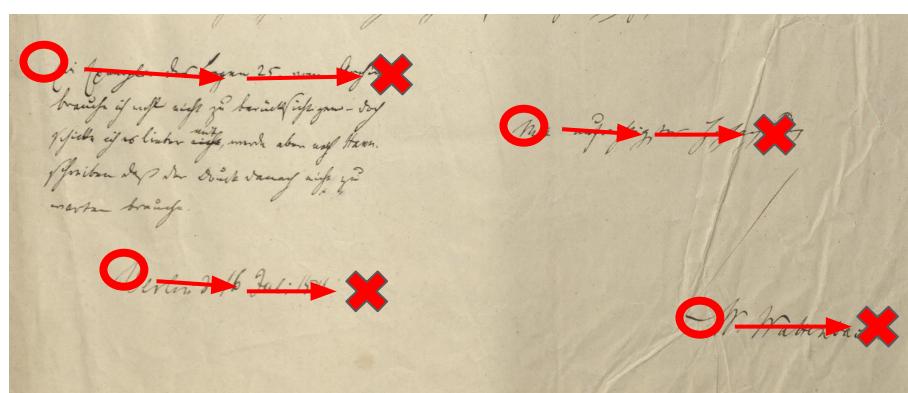


OF FORMER RESIDENT  
OF MICKLEOVER.

Murdered at La Hous  
occurred on Monday, of Mrs.  
Milnes Walker, wife  
of Rev. H. Milnes, Vicar  
of Mickleover.

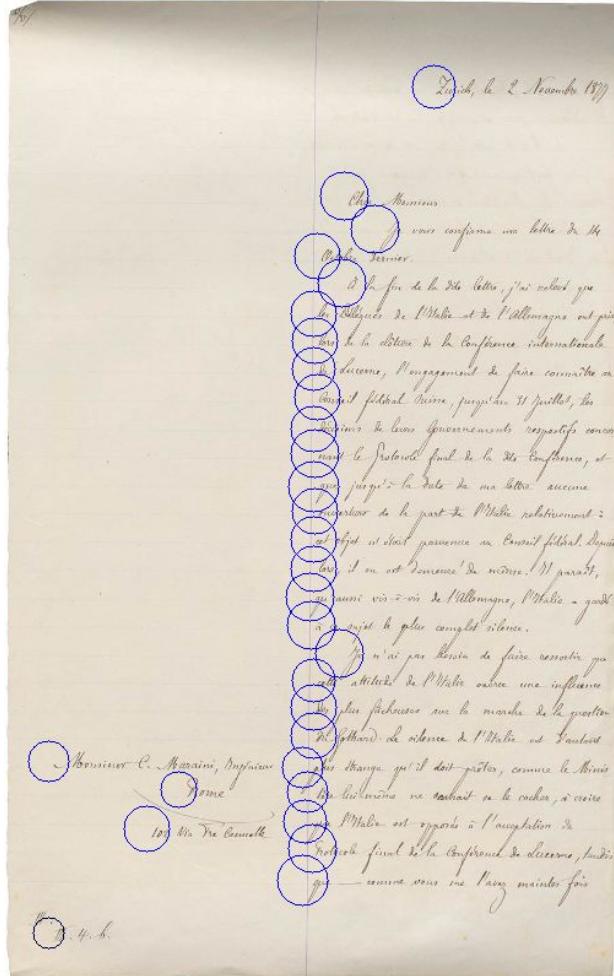


Der 25. Januar 1844  
starb in Paris ein Herr, der  
seine Tochter mit einer Amerikanerin verheiratet  
hatte. Die Tochter starb am 26. Januar 1844.  
Der Vater starb am 26. Januar 1844.  
Der Vater starb am 26. Januar 1844.  
Der Vater starb am 26. Januar 1844.

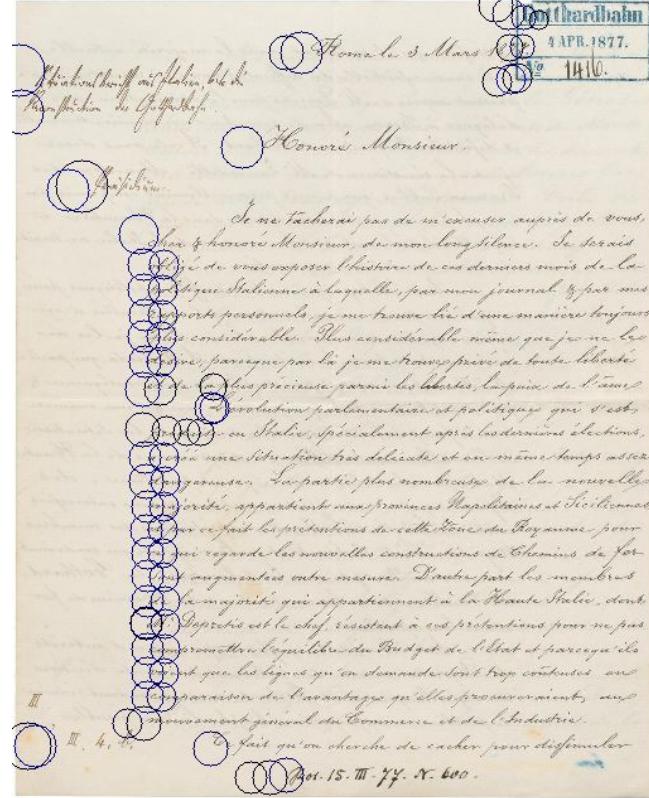
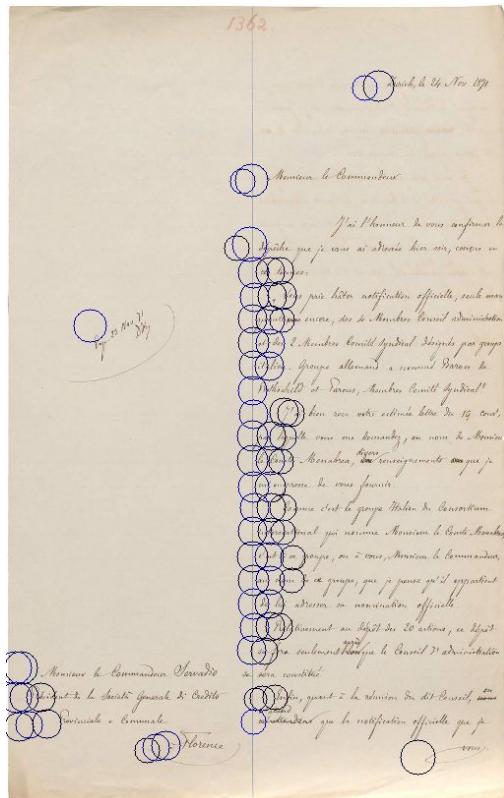
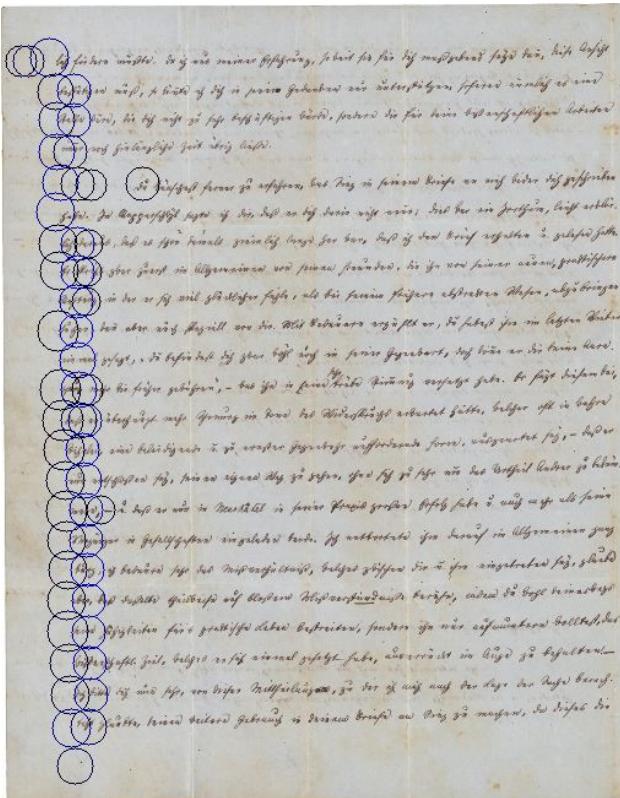


# Start of Line Finder

- Fully Convolutional Neural Network
- One prediction for every 16x16 window
- Predicts: X, Y, Rotation, Scale and Confidence



# Start of Line Finder - Pretraining



# Line Follower

- Recurrent Spatial Transformer CNN
- CNN Regresses the next position (X, Y, Rotation, Scale and Confidence)
- Stops based on confidence or reaching the edge of the page.

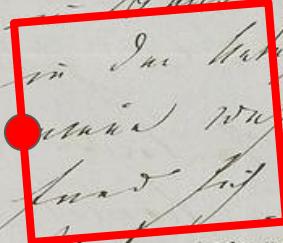


# Line Follower

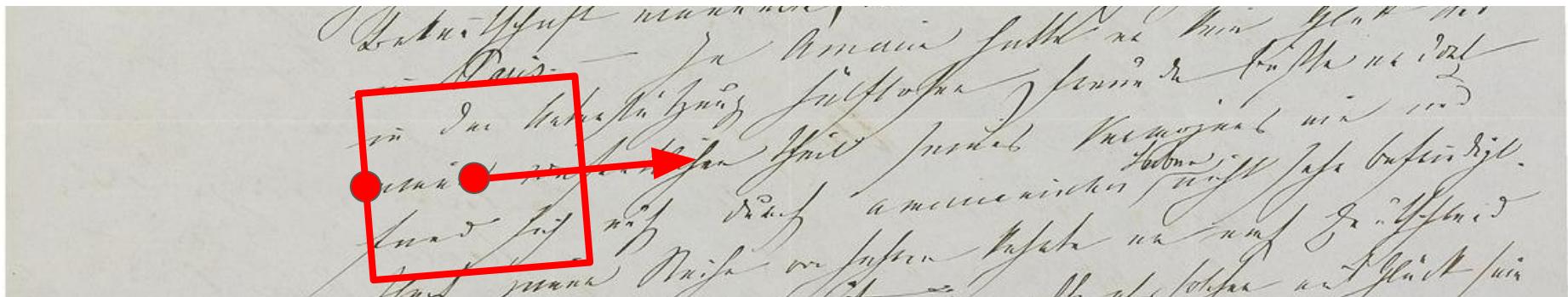
Durch Uppmanns  
in Paris — In einem sehr kleinen  
in der Nähe befindlichen Geschäft  
wurde von dem kleinen Mann  
auf der Straße am nächsten Tag  
eine Menge von Papier auf  
der einen Seite mit

# Line Follower

Dorter Upp manne  
in Paris — In Romantisch wie ein Glanz  
in die Malerei bringt sich ohne Form oder Linie das  
man wünschen kann jenes Principe wir von  
dass ist auf dem amerikanischen Kunstgebiete bestrebt  
dass manche Künste von jenen Töpfen und Formen geprägt  
sind welche aus Holz und Glanz sind

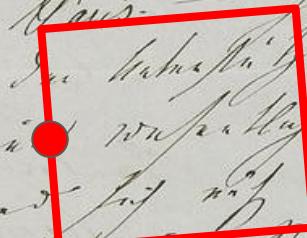


# Line Follower



# Line Follower

Dort auf mancher  
in der — In einem feste ein Glanz  
in der Hölle sind Sichtbar Formen und  
manche wunderliche Formen sind hier  
zu sehen auf dem Lande Amerikanischen haben sich sehr befriedigt.  
Und manche Weise von ihnen haben es zum Ziel gesetzt  
die anderen zu töten und sie zu töten.



# Line Follower

Paris. — In Amiens fand er eine Glashütte  
in der kleinen Stadt Saint-Quentin. Hier wurde  
ein großer Teil des Glases für die  
Fabrik hergestellt. Amiens war ein  
großer Ort mit einer sehr  
großen Menge von Fabriken und  
Handwerksbetrieben.

meine wissenschaftliche Freizeit beschäftigt und ich

# Handwriting Recognition

- CNN-LSTM
- CNN Extracts features over a local window
- LSTM processes features over entire length of the handwriting line

Aufklappbare Schreibmaschine von Augustin Pöhl aus

1851. Es gelingt nun auf die Weise abzurufen,

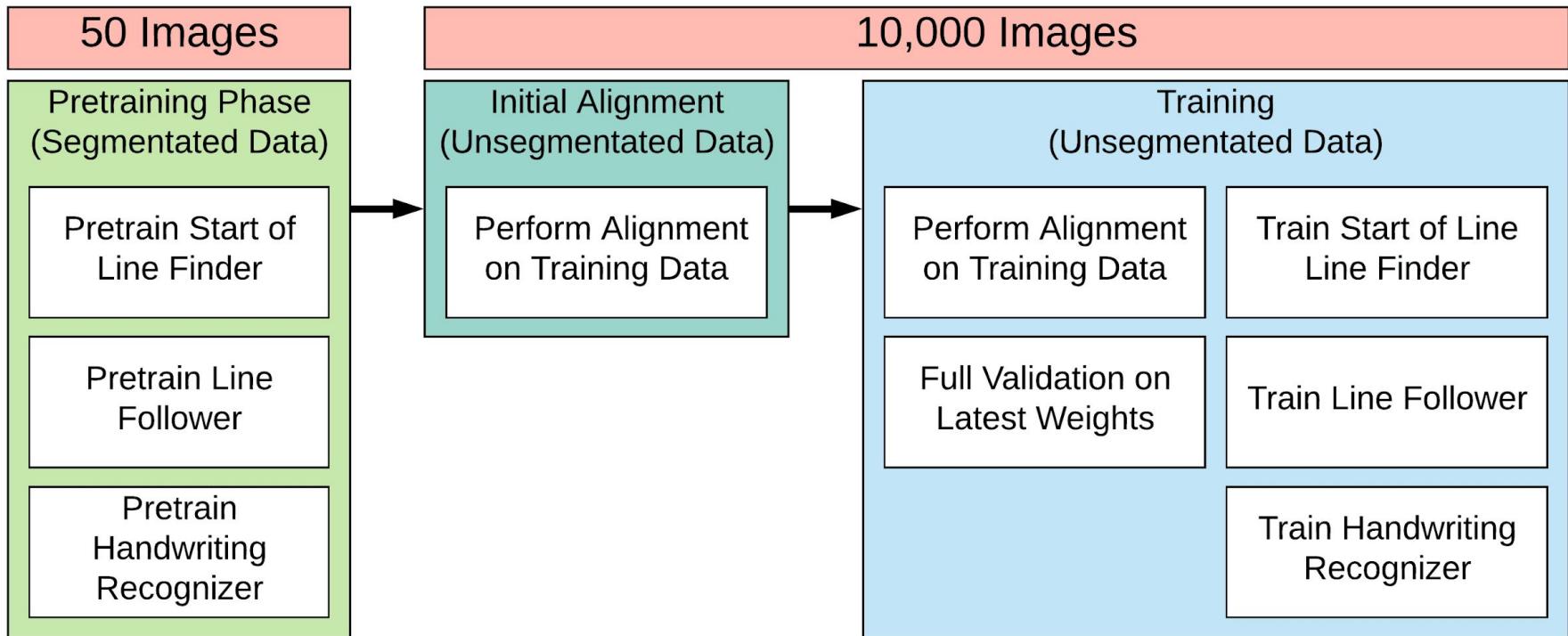
alles; in der Grinde nimmt Gregano zwei auf jeder Seite in alle Fälle ein paar Male in den Mund und kann auf diese Weise auf alle Arten von Briefen schreiben.

wiss wiss; das war ein Erfolg, leicht erklär.

Rechtschreibung - Wenn du nur nicht zuviel auf; ja.

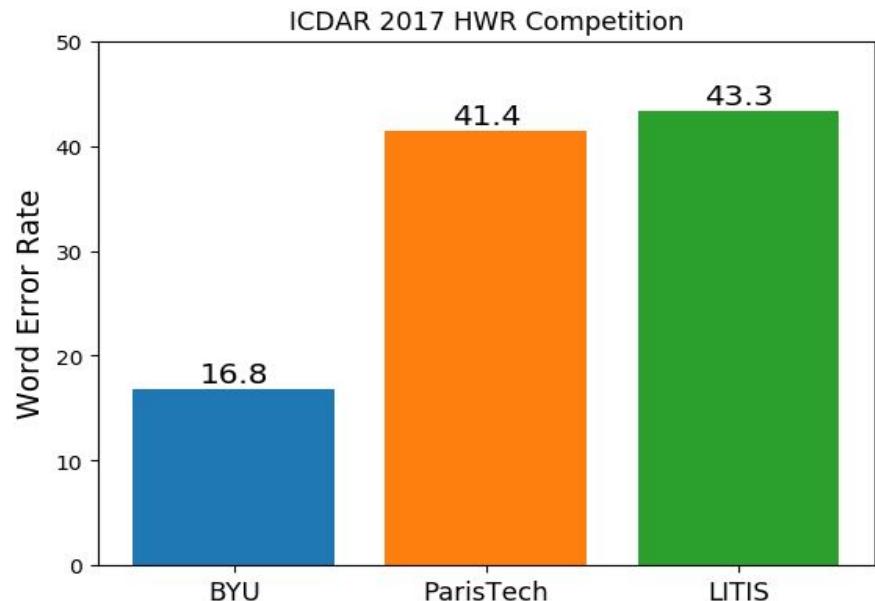
Die Rechtschreibung muss auf Pflichten nach Anordnung veranlaßt geben, als solange die Rechtschreibung der

# Training



# Results: ICDAR 2017 Handwriting Recognition Competition

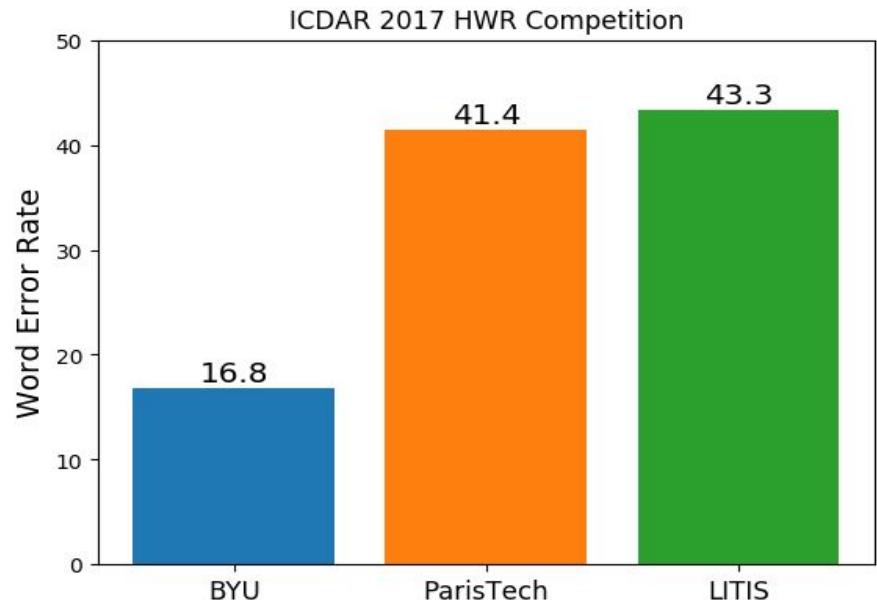
- 50 Images with line-level segmentations and transcriptions
- 10,000 images with only transcriptions
- We won! (Big thanks to FamilySearch and their line segmentation)



# Results: ICDAR 2017 Handwriting Recognition Competition

We Cheated!

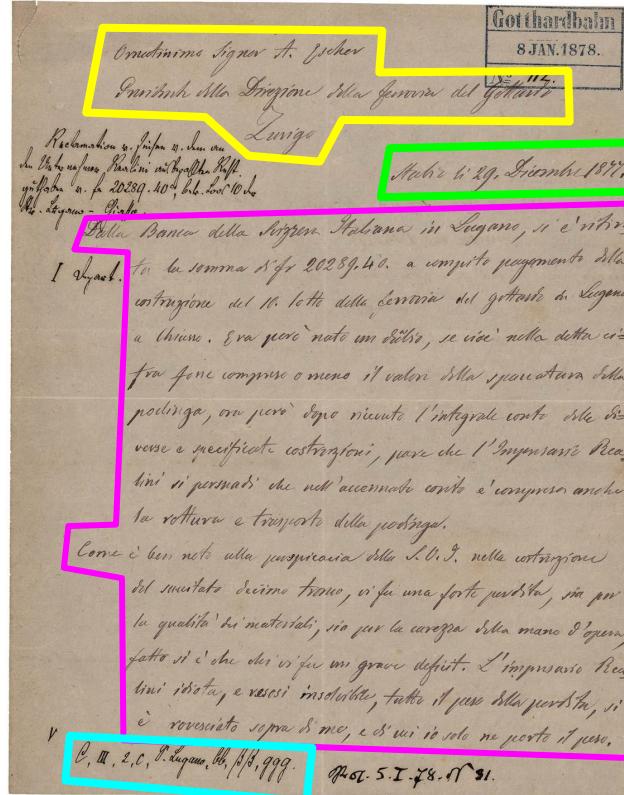
(and so did everyone else)



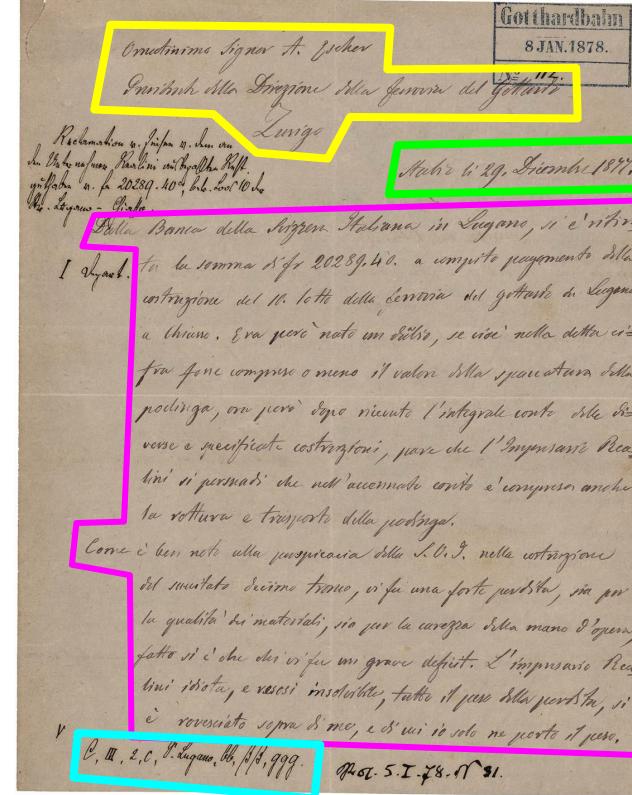
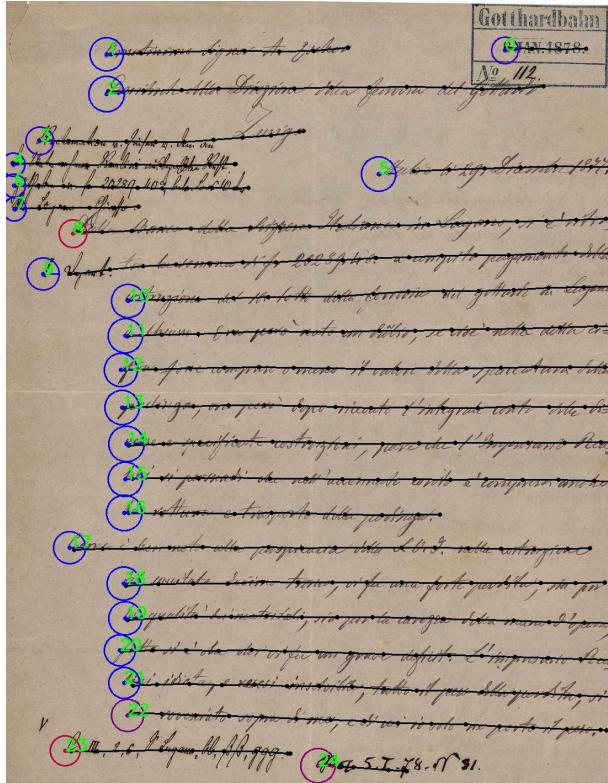
# Results: ICDAR 2017 Handwriting Recognition Competition

## We Cheated!

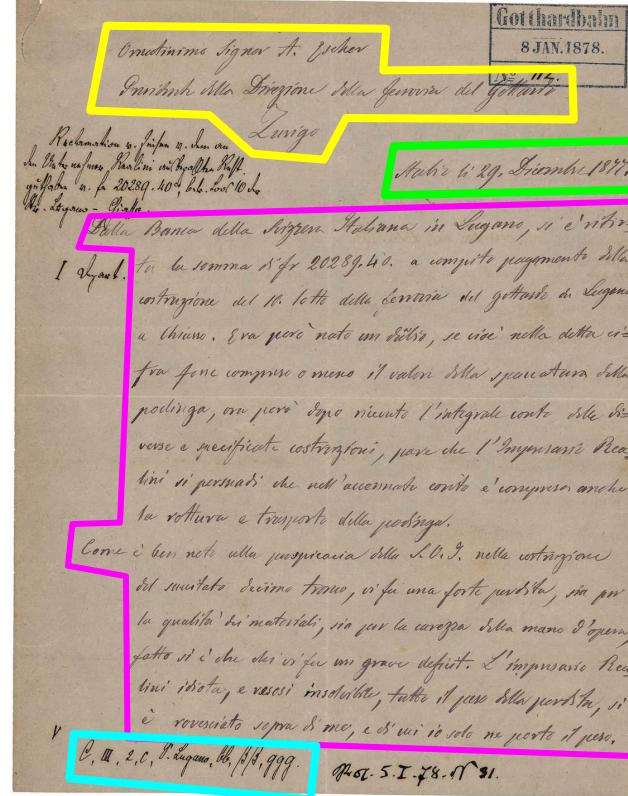
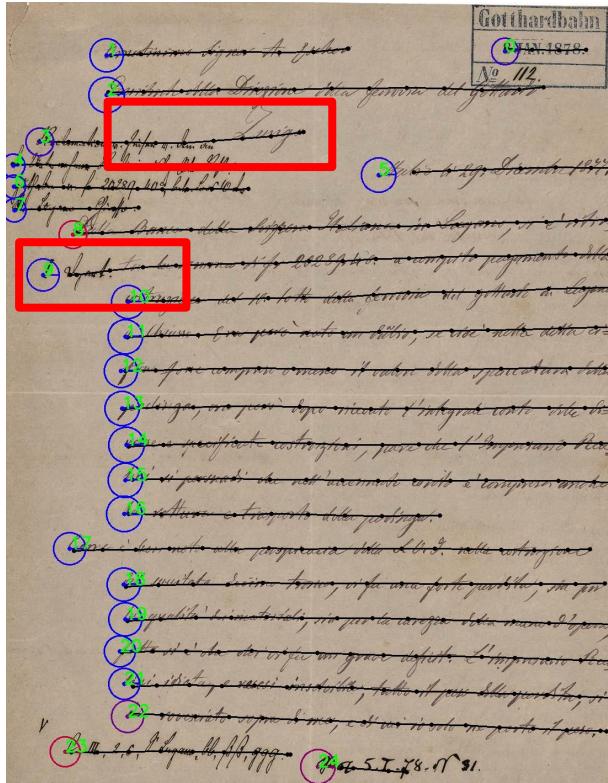
(and so did everyone else)



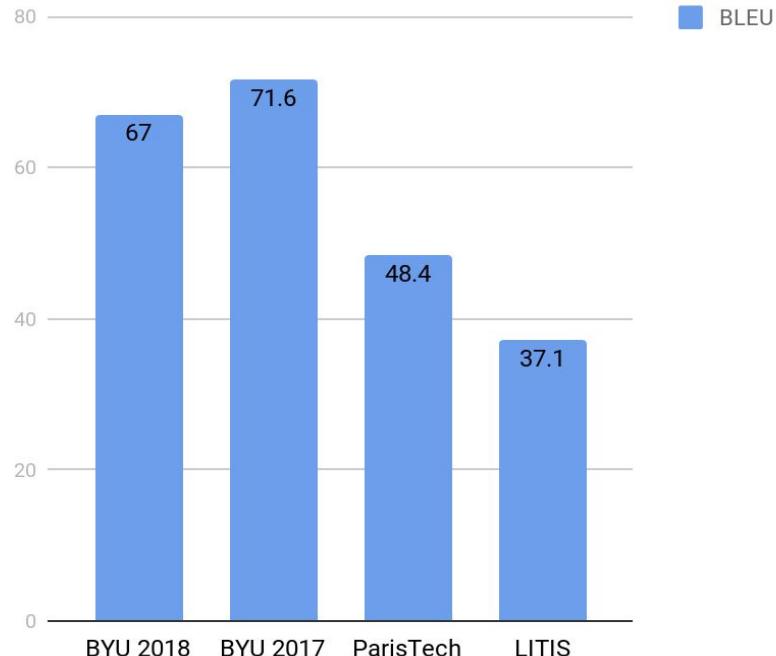
# Results: ICDAR 2017 Handwriting Recognition Competition



# Results: ICDAR 2017 Handwriting Recognition Competition



# Results without “Cheating”: BLEU Score



BONUS:

10,000 images with good line level segmentation data - use to train other algorithms

1. *Thomomys* *Leporinus*  
 2. *Peromyscus* *leucopus*  
 3. *Gambelius*

4. *Peromyscus maniculatus*  
 5. *Peromyscus maniculatus*  
 6. *Peromyscus maniculatus*  
 7. *Peromyscus maniculatus*  
 8. *Peromyscus maniculatus*  
 9. *Peromyscus maniculatus*  
 10. *Peromyscus maniculatus*  
 11. *Peromyscus maniculatus*  
 12. *Peromyscus maniculatus*  
 13. *Peromyscus maniculatus*  
 14. *Peromyscus maniculatus*  
 15. *Peromyscus maniculatus*  
 16. *Peromyscus maniculatus*  
 17. *Peromyscus maniculatus*  
 18. *Peromyscus maniculatus*  
 19. *Peromyscus maniculatus*  
 20. *Peromyscus maniculatus*  
 21. *Peromyscus maniculatus*  
 22. *Peromyscus maniculatus*  
 23. *Peromyscus maniculatus*  
 24. *Peromyscus maniculatus*  
 25. *Peromyscus maniculatus*  
 26. *Peromyscus maniculatus*  
 27. *Peromyscus maniculatus*

1. *Peromyscus maniculatus*  
 2. *Peromyscus maniculatus*  
 3. *Peromyscus maniculatus*  
 4. *Peromyscus maniculatus*  
 5. *Peromyscus maniculatus*  
 6. *Peromyscus maniculatus*  
 7. *Peromyscus maniculatus*  
 8. *Peromyscus maniculatus*  
 9. *Peromyscus maniculatus*  
 10. *Peromyscus maniculatus*  
 11. *Peromyscus maniculatus*  
 12. *Peromyscus maniculatus*  
 13. *Peromyscus maniculatus*  
 14. *Peromyscus maniculatus*  
 15. *Peromyscus maniculatus*  
 16. *Peromyscus maniculatus*  
 17. *Peromyscus maniculatus*  
 18. *Peromyscus maniculatus*  
 19. *Peromyscus maniculatus*  
 20. *Peromyscus maniculatus*  
 21. *Peromyscus maniculatus*  
 22. *Peromyscus maniculatus*  
 23. *Peromyscus maniculatus*

8

Hypothenar Geminatus



~~16~~ aufrechte 77/123

19 16.ii.2.16. Juli 1976:

W. Wattenbach

ISBN 047124534

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

John G.

4. Lauter Drogen können die Lipoproteinfunktion und Lipo-Lipop-Proteine verhindern, aber auch das oben und oben genannte Monoglycerid auf der Lipideinheit. Glyceraldehyd ist ein Lipideinheit, und Chloroform ist ein Lipideinheit. Glyceraldehyd kann mit Lipiden verbinden. Cresol ist eine Lösung, die mit Lipiden verbindet.

5. Bei der Reaktion mit Alkohol, ist die Reaktion mit Wasser gehalten. Was ist die Reaktion mit Wasser? Es ist die Reaktion mit Wasser, die die Reaktion mit Wasser gehalten, und es ist die Reaktion mit Wasser, die die Reaktion mit Wasser gehalten, und es ist die Reaktion mit Wasser, die die Reaktion mit Wasser gehalten.

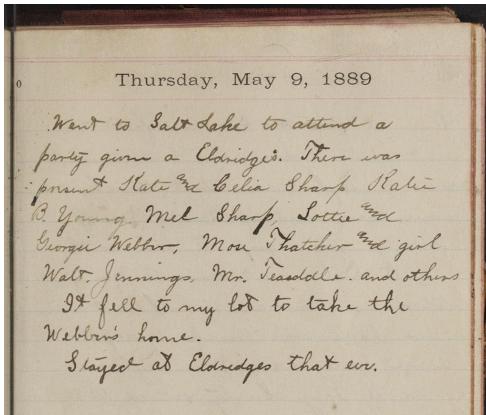
6

13 Berlin 2. 10. Juli 1915.

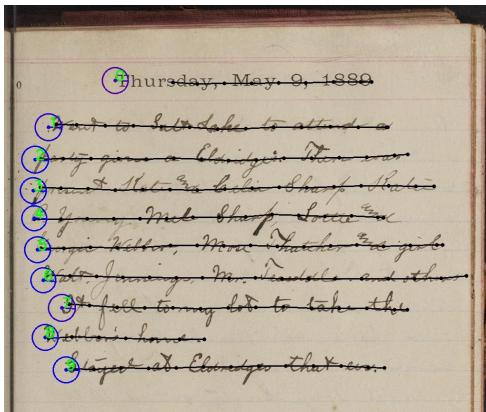
(12) Dr. Wittenbach.

1. *Post, in Lutcher* *in a very fast*  
2. *stream, flowing*  
3. *to Gulf of Mexico*, by land  
4. *Plains, to Gulf of Mexico, this*  
5. *is drainage area of the*  
6. *Mississippi River, in the Gulf of*  
7. *Gulf of Mexico, in the Gulf of*  
8. *Mississippi River, to the Gulf of*  
9. *Mississippi River, to the Gulf of*  
10. *Mississippi River, to the Gulf of*  
11. *Mississippi River, to the Gulf of*  
12. *Mississippi River, to the Gulf of*  
13. *Mississippi River, to the Gulf of*  
14. *Mississippi River, to the Gulf of*  
15. *Mississippi River, to the Gulf of*  
16. *Mississippi River, to the Gulf of*  
17. *Mississippi River, to the Gulf of*  
18. *Mississippi River, to the Gulf of*  
19. *Mississippi River, to the Gulf of*  
20. *Mississippi River, to the Gulf of*  
21. *Mississippi River, to the Gulf of*  
22. *Mississippi River, to the Gulf of*  
23. *Mississippi River, to the Gulf of*  
24. *Mississippi River, to the Gulf of*

# Does it Generalize?



- 0: Thursday, May 9, 1889
- 1: Went to Salt Lake to attend a
- 2: party given a Eldridge's. There was
- 3: present Kate and Celia Sharp Katie
- 4: B. Young Mel Sharp, Lottie and
- 5: Georgie Webber, Mose Thatcher and girl
- 6: Walt. Jennings, Mr. Teasdale. and others
- 7: It fell to my lot to take the
- 8: Webber's home.
- 9: Stayed at Eldridges that eve.



- 0: S2S. N27 d. 2853
- 1: Went e Galt Sahe to attend a
- 2: partiy gine a Cloridgés. Ihre uas
- 3: parent Hatid belia Sharf Halie
- 4: B. Zang Mel Sharf, Lothen
- 5: Peorgie Welher, Mon Thatcherd'giel
- 6: Walt, Grnnengs, Mr. Peanalle. And othens
- 7: Z7 Foll tomy lot to tahe the
- 8: Webbars homl.
- 9: Stanged ab Clanedges that eor.

Thank You